

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«АСТРАХАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

на правах рукописи



ЯСНОВ АНДРЕЙ СЕРГЕЕВИЧ

**НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИХ
РЕШЕНИЙ СУШКИ ПЕЧЕНИ СОМА В ПОЛЕ СВЧ**

4.3.3. Пищевые системы

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор
Нугманов Альберт Хамед-Харисович

Астрахань – 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1 ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ РЫБНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В ТЕХНОЛОГИИ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ И БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ СОЕДИНЕНИЙ	14
1.1 Мировой рынок переработки рыбных отходов и его уровень развития в РФ	14
1.2 Рыбные субпродукты, как ценный источник функциональных материалов	19
1.3 Перспективы использования печени сома в технологии продуктов питания и биологически активных соединений	25
1.4 Техничко-технологическое обоснование процесса микроволновой сушки как перспективного и экономичного способа консервации рыбных субпродуктов	31
ГЛАВА 2 ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	41
2.1 Характеристика объекта исследования	41
2.2 Описание применяемых в работе методов исследования	42
2.3 Математическая обработка полученных результатов	47
2.4 Схема диссертационного исследования	49
ГЛАВА 3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕОБХОДИМЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕЧЕНИ СОМА, КАК ОБЪЕКТА СУШКИ В ПОЛЕ СВЧ	51
3.1 Экспериментальное исследование гигроскопических и теплофизических характеристик, а также плотности объекта обезвоживания	51
3.2 Экспериментальное исследование диэлектрических свойств объекта обезвоживания	65
3.3 Термодинамический анализ статических закономерностей процесса сорбции влаги сухим печеночным продуктом	75

ГЛАВА 4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ И КИНЕТИКИ ПРОВЕДЕНИЯ МИКРОВОЛНОВОЙ СУШКИ ПЕЧЕНИ СОМА В ТОНКОМ СЛОЕ, МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭТОГО ПРОЦЕССА	82
4.1 Исследование кинетики микроволновой сушки печени сома в тонком слое и анализ механизма удаления влаги из него	82
4.2 Адаптация математической модели к объекту исследования и процесса микроволновой сушки, а также ее решение	88
4.3 Описание предлагаемой сушильной установки	95
ГЛАВА 5 ТЕХНОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЫБНОЙ ПЕЧЕНИ СОМА ОБЫКНОВЕННОГО В НАТИВНОМ И ВЫСУШЕННОМ СОСТОЯНИИ	97
5.1 Определение в печени сома некоторых химических элементов и оценка микробиологических показателей в исследуемом продукте	97
5.2 Экспериментальное исследование состава жирных кислот липидов печени сома	101
5.3 Экспериментальное исследование аминокислотного состава белковой составляющей печени сома	106
5.4 Определение витаминов А и Е и оценка антиоксидантной активности в печени сома	110
ГЛАВА 6 НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ	112
6.1 Экономическое обоснование переработки печени сома в сухой порошок для использования в производстве пищевых добавок	117
6.2 Рекомендации по практическому применению результатов диссертационного исследования	123
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	126
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	129
ПРИЛОЖЕНИЯ	145

Приложение А. Сведения об объеме добыче (вылове) водных биоресурсов и производства товарной продукции за 2023-2024 годы в Астраханской области	146
Приложение Б. Патент на полезную модель	150
Приложение В. Акты использования результатов исследования	151
Приложение Г. Техническое условие	153
Приложение Д. Диплом за научной работу по теме диссертации	154
Приложение Е. Серебряная медаль за проект по теме диссертации	155
Приложение Ж. Сертификат о награждении премией «Человек труда» за проведенные исследования по теме диссертации	156
Приложение З. Данные экспериментов по нахождению влажности печени сома (W) при разной массе рыбы	157
Приложение И. Данные экспериментов для построения изотерм сорбции влаги печени сома при 298К	158
Приложение К. Данные экспериментов для построения изотерм сорбции влаги печени сома при 313К	159
Приложение Л. Программа расчета ТФХ печени сома 45% влажности	160
Приложение М. Программа расчета ТФХ печени сома 68% влажности	163
Приложение Н. Математическая модель расчета полей температур при СВЧ сушке мощностью излучения 90 Вт	166
Приложение О. Математическая модель расчета полей температур при СВЧ сушке мощностью излучения 180 Вт	175
Приложение П. Отчет по определению жирно-кислотного состава сырой печени, проведенного на газовом хроматографе Nexis GC-2030AF	184
Приложение Р. Отчет по определению жирно-кислотного состава сухой печени, проведенного на газовом хроматографе Nexis GC-2030AF	185

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Опираясь на стратегический план развития рыбохозяйственной отрасли в нашей стране до 2030 года, утвержденный Правительством РФ 26 ноября 2019 г. № 2798-р, а также на Стратегию развития пищевого машиностроения РФ до 2030 года, утвержденную Правительством РФ 30 августа 2019 г. № 1931-р, следует, что одним из преобладающих его ориентиров в научно-техническом и технологическом аспектах служит рациональное природопользование, которое предопределяет применение высокотехнологичных процедур переработки пищевых сырьевых материалов, а также рациональную целевую утилизацию вторичных ресурсов [30, 7]. Проблему накопления отходов промышленных предприятий поднимал и президент РФ Владимир Владимирович Путин. Во время пленарной сессии Петербургского Международного Экономического Форума в 2025 году президент призвал руководителей промышленных предприятий к запуску специальных проектов по переработке накопленных промышленных отходов, подчеркивая их потенциал для экономического и экологического развития страны.

Одним из продуктов, который в настоящее время утилизируется в качестве отходов, но при этом может представлять производственную ценность является печень сома обыкновенного (*Silurus glanis*). Печень является уникальным продуктом с богатым химическим составом. Биологическая ценность белка, содержание которого в печени сома составляет от 20 до 25%, является одним из значимых критериев пищевых продуктов. Потенциальная ценность белковых комплексов, в частности, печени сома с биологической точки зрения равна 76,69%, что обусловлено высокой степенью сбалансированности незаменимых аминокислотных соединений. Печень включает большое количество полиненасыщенных жирных кислот омега-3 и омега-6, незаменимых аминокислот таких как валин, изолейцин, лейцин, метионин, треонин, триптофан, фенилаланин,

лизин, витамины А и Е, а также макро- и микроэлементы – фосфор, железо, кобальт, цинк и другие элементы.

Традиционный подход к использованию печени сома ограничивается в лучшем случае производством низкокачественных кормов, в худшем печень просто утилизируется или выбрасывается на свалки. Отсутствие специализированных технологий переработки печени приводит не только к утрате ценных витаминов и питательных веществ, но также лишает производителей дополнительной прибыли, и из-за необходимости утилизации оказывает экологическую нагрузку на региональные природные комплексы. В частности, за прошедшие 3 года вылов частиковых видов рыб из внутренних водоемов только Астраханской области остается стабильным и ежегодно составляет ориентировочно 55 тыс. тонн. По данным Волго-каспийского территориального управления Росрыболовство в целях промышленного рыболовства во внутренних водоемах Астраханской области и в Каспийском море промышленниками ежегодно добывается более 5 тысяч тонн сомов [Приложение А]. А если учесть процентное соотношение печени в соме, составляющей от 1,5% до 5% от массы рыбы, то получается, что за период 2022-2024 гг. не был использован потенциал печени порядка 750 тонн.

Вышеизложенные доводы показывают, что печень сома является перспективным сырьем для дальнейшей переработки не только с целью производства пищевой продукции массового потребления, но и как источник для получения различных биологически активных и ценных компонентов, а, следовательно, выявление перспективного способа сушки печени с целью сохранения ее нативных свойств и дальнейшей промышленной переработки актуально и требует научного обоснования.

Степень разработанности. Исследованиям, направленным на изучение производства продуктов пищевого, кормового и технического назначения из вторичного рыбного сырья посвящены работы ученых: Л.С. Абрамова, М.П. Андреева, Л.В. Антипова, Л.С. Байдалинова, Н.П. Боева, О.В. Бредихина, В.А. Гроховского, О.П. Дворянинова, Н.В. Долганова, Е.Е. Иванова, Г.И. Касьянова,

О.Я. Мезенова, М.Д. Мукатова, Л.К. Петриченко, Е.Н. Харенко, Ю.А. Фатыхова, М.Е. Цибизовой, G. Abbas, K.M. Brander, P.B. Crean, J.T.R. Nickerson, R. Stauffer Jay и др.

Исследования в области сушки, термовлажностной обработки и в некоторых смежных областях по исследуемой тематике можно представить работы таких ученых как: А.С. Гинзбурга, А.В. Лыкова, Г.К. Филоненко, П.А. Ребиндера, И.А. Рогова, И.Ю. Алексаняна, Е.П. Кошевого, А.Н. Острикова, Т. Kudra, A.S. Mujumdar, James R. Couper и W. Roy Penny, Gavin P. Towler и Ray K. Sinnott и др.

При изучении процессов и их аппаратурного оформления, составляющих технологию получения продуктов из вторичного рыбного сырья с целью ее усовершенствования, особое внимание уделяется выбору и анализу параметров, влияющих на продолжительность технологических операций для выявления рациональных интенсивных режимов обработки объекта исследования.

Цель и задачи исследования.

Целью работы является научное обоснование и разработка способа микроволновой сушки печени сома обыкновенного (*Silurus glanis*), добытого в Волго-Каспийском бассейне, а также его аппаратурного оформления, для создания технологии сухих пищевых ингредиентов из вторичных биологически ценных рыбных ресурсов.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- проанализировать данные литературных источников на предмет современного состояния и перспектив развития технологии промышленной переработки отходов рыбной промышленности, в частности внутренностей сома обыкновенного, в аспекте выработки из них биологически ценных пищевых ингредиентов;

- определить и математически аппроксимировать зависимости теплофизических, гигроскопических, диэлектрических и плотностных характеристик печени сома, как объекта микроволновой сушки, при реальных температурных и влажностных диапазонах, провести термодинамический анализ статических закономерностей процесса сорбции им влаги;

- изучить и проанализировать кинетические закономерности микроволнового обезвоживания рыбного вторичного сырья и провести их математическую аппроксимацию;

- решить математическую модель микроволновой сушки печени сома обыкновенного, адаптированную к объекту исследования, рекомендовать на ее основе, а также с учетом данных ранее проведенных исследований, рациональные режимные параметры организации процесса обезвоживания вторичного рыбного сырья;

- провести исследования технoхимических показателей печени сома, как вторичного рыбного сырья, обобщить информацию и аккумулировать сведения для практического использования, определить особенности качественного состава веществ, входящих во вторичное рыбное сырье, оценить его безопасность, пищевую и биологическую ценность;

- дать рекомендации по практическому использованию результатов исследований сушки печени сома, а также по аппаратурному оформлению этой процедуры.

Научная новизна работы заключается в том, что впервые:

- для печени сома обыкновенного (*Silurus glanis*), добытого в Волго-Каспийском бассейне, экспериментально установлены и математически описаны зависимости теплофизических, гигроскопических, диэлектрических и плотностных характеристик от влажности в диапазоне от 5% до 68%, адекватных для среднеобъемных температур сырья: 5...25°C – для теплофизических свойств и плотности, 25...40°C – для гигроскопических свойств и 60...100°C – для диэлектрических свойств;

- разработан и научно обоснован рациональный способ микроволновой сушки печени сома в тонком слое, подкрепленный оригинальной математической моделью этого процесса, адаптированной к специфике объекта сушки с учетом объемного подвода энергии от микроволнового излучения частотой 2450 МГц при следующих параметрах: удельная объёмная мощность СВЧ-воздействия 2,14...4,29

МВт/м³, толщина слоя ~1.5 см, конечная влажность ~5%, максимальная температура материала ~70°C, продолжительность обезвоживания ~30 мин;

- установлена взаимосвязь между режимными параметрами микроволновой сушки и его удельной производительностью, экспериментально показано, что увеличение удельной объёмной мощности с 2,14 МВт/м³ (90 Вт) до 4,29 МВт/м³ (180 Вт) приводит к росту удельной производительности сушки печени в 1,5 раза с ~22 кг/(м²·ч) до ~33 кг/(м²·ч);

- доказано, что разработанный режим микроволновой сушки обеспечивает максимальное сохранение нативных свойств и биологической ценности в сухой печени сома, подтверждена сохранность уникального состава жирных кислот (включая полиненасыщенные ω -3 и ω -6), полного спектра незаменимых аминокислот, витаминов А и Е, а также микроэлементного профиля, что открывает возможность ее использования в качестве ценного белково-липидного ингредиента с высокой биологической активностью для создания различных пищевых продуктов и биологически активных добавок к пище.

Теоретическая и практическая значимость.

Теоретическая значимость диссертационного исследования состоит в значительном расширении, обобщении и систематизации информации о химическом составе, пищевой и биологической ценности печени сома, как вторичного рыбного сырья, которая является основой получения новых научных данных как для практического использования, так и в научных целях. Полученные математические зависимости от влажности теплофизических, гигроскопических и диэлектрических характеристик печени сома в заданных температурных диапазонах вносят дополнительный вклад в теорию теплопереноса применительно к рыбным субпродуктам. Результаты термодинамического анализа сорбции влаги и кинетические закономерности микроволнового обезвоживания углубляют понимание механизмов удаления влаги в поле СВЧ и создают основу для рационализации и масштабирования процесса.

Практическая значимость исследования определяется тем, что в ходе исследования разработан рациональный способ микроволновой сушки печени сома

с целью получения сухого пищевого ингредиента, предложены оригинальные технические решения для организации микроволновой сушки рыбного субпродукта по разработанному способу, обеспечивающие минимальные энергозатраты и экологическую безопасность проведения технологического процесса, новизна которых подтверждена патентом на полезную модель № 231633 РФ [Приложение Б].

Полученные результаты исследования и рекомендации по их практическому использованию, представленные в работе, планируется реализовать на пищевых предприятиях Астраханской области (акты использования представлены в приложении) [Приложение В].

В результате теоретических и экспериментальных исследований разработан комплект технической документации ТУ 10.20.22-012-00471704-2025 на производство печени сома сушеной [Приложение Г].

Методология и методы исследования.

В данном научном исследовании использовались как традиционные, так и оригинальные эмпирические методы, и экспериментальные установки. Доля влаги в сырье выявлялась гравиметрическим способом, опирающемся на определение варьирования массы пробы до и после ее сушки. Физическая плотность выявлялась пикнометрическим методом. Теплофизические характеристики находились зондовым экспресс методом, основанном на тепло-инерционных свойствах термодатчика и объекта исследования. Моделирование процесса сушки проводились, опираясь на дифференциальное уравнение теплопереноса, адаптированное к объекту обработки, решение модели осуществлялось методом конечных разностей. Определение гигроскопических характеристик осуществлялись тензометрическим способом. Термодинамический анализ процесса сорбции проводился методом, основанным на определении составляющих в уравнении свободной энергии Гиббса. Достоверность полученных результатов подтверждались статистической обработкой их результатов, при пятикратной повторности опытов.

Положения, выносимые на защиту:

- результаты анализа литературных источников на предмет современного состояния и перспектив развития технологии промышленной переработки отходов рыбной промышленности в РФ, обосновывающие целесообразность разработки способа микроволновой сушки печени сома обыкновенного, добытого в Волго-Каспийском бассейне, а также его аппаратного оформления, с целью создания технологии сухих пищевых ингредиентов из вторичных биологически ценных рыбных ресурсов;

- полученные математические зависимости теплофизических, гигроскопических, диэлектрических и плотностных характеристик печени сома от ее влажности в реальных диапазонах (влажность 5...68%, температура 5...100°C), необходимые для расчета и рационализации процесса микроволновой сушки;

- полученные кинетические закономерности и выявленные особенности процесса микроволновой сушки печени сома в тонком слое (отсутствие периода постоянной скорости, нелинейный отклик на увеличение мощности, предельная температура продукта ~70°C), а также адаптированная математическая модель данного процесса;

- научно обоснованные рациональные параметры проведения микроволновой сушки (удельная объемная мощность СВЧ-воздействия 2,14...4,29 МВт/м³, толщина слоя ~1.5 см, конечная влажность ~5%) и предложение по аппаратному оформлению процесса в виде комбинированной (конвективно-микроволновой) петлевой сушильной установки;

- результаты анализа химического состава, пищевой ценности и безопасности печени сома обыкновенного в нативном и высушенном состоянии, подтверждающая ее высокую пищевую и биологическую ценность и безопасность, а также рекомендации по практическому использованию результатов диссертационного исследования.

Достоверность полученных результатов обусловлена: сходимостью в допустимых для пищевой промышленности модельных и эмпирических данных с данными натурального эксперимента; соответствие полученных научно-технических результатов в данном исследовании общепризнанным и апробированным частным

научным данным; опытно-конструкторским и внедренческим опытом реализации полученных результатов; обоснованной и понятной трактовкой физического смысла описываемых в работе явлений, которая не входит в конфликт с опубликованными результатами исследований по той же тематике.

Апробация результатов диссертационного исследования.

Основные результаты диссертационной работы доложены и обсуждены на различных международных конференциях и форумах, в частности: II Международной научно-практической конференции (г. Петрозаводск, 15 ноября 2022г), LXVI Международной научно-практической конференции «Технические науки: проблемы и решения» (г. Москва, 18 ноября 2022г), Восьмой Международной научно-практической конференции «Современные энергосберегающие тепловые и массообменные технологии (сушка, тепловые и массообменные процессы) СЭТМТ – 2023» (г. Москва, 17-19 октября 2023г), XVIII Международном научно-исследовательском конкурсе «Научная статья года» (г. Пенза, 15 января 2025г), XXIII Международной научно-практической конференции «Природноресурсный потенциал, экология и устойчивое развитие регионов России» (г. Пенза, 20-21 января 2025г), III Международной научно-практической конференции «Актуальные экологические проблемы и экологическая безопасность в современных условиях» (г. Саратов, 20-21 апрель 2025г), 69-я Международная научная конференция Астраханского государственного технического университета, посвященная 95-летию со дня основания АИРХ-АТИРПИХ-АГТУ (г. Астрахань, 26–30 мая 2025г).

Итоги научных изысканий по теме диссертации были удостоены различных наград [Приложения Д, Е]. Результаты исследований диссертации легли в основу достижений, отмеченных премией «Человек труда» на региональном уровне [Приложение Ж].

Публикации. По результатам диссертационного исследования опубликовано 10 научных работ, в их числе 4 работы, которые включены в перечень ВАК РФ, получен 1 патент на полезную модель.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, включающих аналитический обзор литературы, результатов собственных исследований, выводов, заключения, списка литературы (140 наименований) и 16 приложений. Диссертация изложена на 185 страницах. Работа содержит 24 таблиц и 42 рисунка.

ГЛАВА 1 ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ РЫБНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В ТЕХНОЛОГИИ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ И БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Аналитики ожидают, что рынок переработки рыбных отходов будет расти на 2,9% в год в ближайшие 10 лет. К 2033 году он составит уже \$7,2 млрд, что не только увеличит прибыль рыбопромышленников, но и благоприятно скажется на экологии. Среди факторов роста в рыбной отрасли эксперты указывают повышение интереса к производству продуктов с добавленной стоимостью из отходов, спрос на органические и натуральные удобрения, натуральное сырье для кормов, а также инновационные исследования в отрасли производства биологически активных соединений [68]. На сегодняшний момент из отходов производства вырабатывают рыбий жир, муку, коллаген и другие ингредиенты, на которые есть спрос в разных отраслях.

1.1 Мировой рынок переработки рыбных отходов и его уровень развития в РФ

Анализ основных параметров рыбного рынка за последние четыре года показал, что в России наблюдается ежегодное увеличение объема улова рыбы и добычи других водных биоресурсов в среднем на 4,2%. При этом прирост объемов производства обеспечен главным образом за счет производства товарной продукции, что, как следствие, с одной стороны, прогнозирует увеличение потребности в мощностях перерабатывающих предприятий, расширение

ассортимента и роста объемов готовой продукции, а с другой – связано с неминуемым ростом вторичных ресурсов. Опыт работы предприятий показывает, что их объемы могут достигать 70% от исходного рыбного сырья. При этом чешуя, кожа, плавники, внутренности практически полностью не востребуются и представляют собой бросовый материал – реальную угрозу для окружающей среды, а следовательно, здоровья человека [74, 77, 45].

Масштаб проблемы характеризуется тем, что около 30 млн. тонн общего мирового вылова теряется в виде отходов, куда, соответственно, входят и внутренности перерабатываемых рыб, включая их печень [74]. При увеличении доли промышленно перерабатываемой рыбы возрастает и доля таких отходов, однако при рациональном подходе этих потерь можно избежать, поскольку рыбная печень может стать важным источником сырья для пищевой промышленности [32, 31, 42].

В последнее время желание производителей обеспечить локальность переработки рыбного сырья обусловило существенные вложения в рыбопромышленную отрасль и ее логистику [17]. Масса употребления рыбной продукции (РП) в РФ по сведениям из Росстата неизменно находится на уровне примерно 20...22 кг на человека ежегодно с малозаметным падением, что определяется варьированием ее стоимости по причине сезонности, потребительской востребованности, условиями перевозки и хранения, а также добавочными затратами ритейлеров и поставщиков [33, 11].

Стоимостная устойчивость может быть обеспечена обоснованной логистикой и укреплением взаимодействия поставщиков и торговой сферы в регионах, что обуславливает ассортимент розничной продукции и ее цену. Подход к снятию этой проблемы в комплексе должен опираться на обеспечение площадок для взаимных контактов и переговорного процесса, а также логистику, обеспечивающую соблюдение договоров по реализации скоропортящихся продуктов в установленный срок [17].

Современные ориентиры направлены на здоровое питание и его экологическую безопасность, осознанный выбор продуктов при избавлении от

традиционных брендов и восприятию оригинальных, но в большей степени доступных в РФ. В современных условиях в торговой сети наблюдается широкий перечень оригинальных, особенно дальневосточных морепродуктов [17, 38].

Перспектива рыночной сферы РФ обусловлена структурным варьированием экспорта: исключением в ней иностранных поставщиков и рост доли продуктов глубокой обработки сырья. Производители РП живо откликаются на интерес молодого поколения. Так особое внимание уделяется его потребительским предпочтениям, к примеру, для экономии времени замороженной и охлажденной РП молодежь предпочитает РП быстрого приготовления, easy-to-cook и ready-to-eat [138, 129].

Растет спрос на РП аквакультуры не только в РФ, но и за рубежом. Этот ареал индустрии РП считают драйвером ее развития. По обозначенной перспективе Продовольственной и Сельскохозяйственной организацией ООН (ФАО) мировой объем сбыта и переработки рыбного сырья к 2030 г. вырастет на 12,8%, РП аквакультуры на 23% до 103 млн тонн (57% пищевого рыбного сырья по отношению к 53% в современных условиях) [17, 71]. Внимание к аквакультуре повысится, в том числе, по причине падения ее экологического воздействия на внешнюю среду по сравнению с птицеводством и животноводством.

Задача отраслевой научной сферы состоит в том, чтобы обосновать и рекомендовать рациональные пути реализации, восстановления и стабильности рыбных запасов. Это обуславливает устойчивость роста, который невозможен без переработки рыбного сырья по причине повышения цены РП по отношению к цене сырья, а выработка во внешней рыночной сфере обуславливает падение ее рентабельности.

Выпуск продукции глубокой переработки рыбы в России сдерживают ограничения экспорта. Помехи для отрасли назвали представители Ассоциации судовладельцев рыбопромыслового флота (АСРФ), их цитирует «Интерфакс» [52]. В январе-феврале 2024 года выпуск рыбной продукции в РФ увеличился на 14,3% в годовом выражении, до 763 тысяч тонн. По данным Росстата, производство мороженых фарша, сурими и филе морской рыбы увеличилось на 16,7%, до 90

тысяч тонн, а рыбной муки – на 15,7%, до 39,7 тысячи тонн. Несмотря на увеличение показателей доля продукции глубокой переработки осталась на 1,7 процентных пункта ниже 2022 года [52, 51].

В АСРФ объясняют сокращение доли продукции глубокой переработки нестабильной ситуацией на внешних рынках и сокращением спроса на фоне закрытия рынка США и санкций со стороны ЕС и Великобритании. Переориентация на рынки дружественных стран позволяет наращивать объемы экспорта, однако в Китае, странах Африки и Ближнего Востока традиционно потребляют неразделанную рыбную продукцию, отметили эксперты. По словам главы Росрыболовства Ильи Шестакова, в 2023 году объемы ввоза рыбы и морепродуктов на территорию России выросли на 18% в годовом выражении и достигли уровня в 656 тысяч тонн [52]. В денежном выражении показатель увеличился на 6% в сравнении с уровнем 2022 года. Ключевыми поставщиками рыбы и морепродуктов в Россию стали Белоруссия, Фарерские острова, Чили, Китай, Вьетнам, Эквадор, Индия и Перу.

Что касается мирового рынка переработки рыбных отходов, то по прогнозу аналитической компании Future Market Insights, к 2033 году мировой рынок переработки рыбных отходов достигнет \$7,2 млрд. В 2023-м он оценивается в \$5,4 млрд. Рынок будет расти на 2,9% в год в среднем в течение прогнозируемого периода. Росту способствует несколько ключевых факторов, считают они [68]. Например, повышение внимания к созданию продуктов с добавленной стоимостью из рыбных отходов, удовлетворение растущего спроса на органические и натуральные удобрения и натуральные ингредиенты в кормах для домашних животных, использование инноваций в области переработки отходов в энергию для устойчивого развития.

Крупные переработчики активно используют передовые технологии для преобразования рыбных отходов в возобновляемые источники энергии, такие как биогаз и биотопливо, и находят способы превращать отходы в ценные продукты, рыбий жир, коллаген и рыбную муку для их использования в различных отраслях промышленности [139, 126, 131]. Также они сотрудничают с другими отраслями

для улучшения практики обращения с отходами. Например, с аквакультурными фермами в части сбора отходов, с научно-исследовательскими институтами для создания инновационных технологий, с госорганами для обеспечения соблюдения правил обращения с отходами [68, 126]. Отметим, что эффективное управление рыбными отходами снижает риск вреда для экологии, сокращая накопление отходов в водных экосистемах, сохраняя биоразнообразие.

Рост сектора рыбопереработки фиксирует и ФАО. Там ожидают, что к 2031 году около 29% рыбной муки и 47% рыбьего жира будут производиться именно из рыбных субпродуктов. Уже сегодня во многих продуктах питания в качестве сырья используется восстановленная мякоть из каркасов и обрезков рыбы, а современные технологии превращают кости и чешую в пищевые продукты, в том числе в порошки, отмечает ФАО [68].

Например, в последние годы производители лососей наладили экспорт голов лососевых в Юго-Восточную Азию, там этот продукт используется для дальнейшей переработки [68, 104]. Один крупный производитель продуктов питания из Малайзии инвестировал значительные средства в норвежскую компанию, которая закупает у рыбаков и фермеров рыбные отходы для замены ими пальмового масла в косметике и продуктах питания [104]. В некоторых регионах переработчики нашли применение рыбьим челюстям или высушенным плавательным пузырям.

Вьетнамский производитель пангасиуса Sao Mai Group с прошлого года производит из отходов рыбий жир и использует его в производстве растительного масла, маргарина и других продуктов питания. Сингапурская Biomax Technologies Pte Ltd разработала технологию быстрого термофильного сбраживания Biomax – при ее применении органические отходы рыбоводческих хозяйств и рыбоперерабатывающих заводов перерабатываются в удобрения за 24 часа [68, 128, 121].

Таким образом, уровень потребления рыбной продукции в Мировом сообществе, как важной части мирового сообщества, имеет перспективы роста, триггер которого зависит от применения комплексного подхода к развитию

инфраструктуры логистики не только производства и торговли рыбой и морепродуктами, но и в аспекте ее глубокой промышленной переработки.

1.2 Рыбные субпродукты, как ценный источник функциональных материалов

Рыбные субпродукты – это сырье, которое не используется при производстве основного продукта. Субпродукты получают в результате переработки рыбы на промышленном уровне, либо в результате рыболовства, либо в результате аквакультуры [98, 113]. Эти операции по переработке рыбы дают значительные объемы побочных продуктов, только от 40 до 60% рыбы используется в качестве основного продукта, а остальная часть выбрасывается или используется в недостаточном объеме [98]. Количество рыбных субпродуктов зависит от вида, размера рыбы, сезона и зоны промысла и не используются в полном объеме. Субпродукт содержит плавники, жабры, спинные кости, брюшные створки, головы, печень, кожу, икру, внутренности и другие продукты. Внутренности – это самый большой объем побочных продуктов переработки рыбы, который занимает 12...18% от общего объема масса тела. Другими рыбными субпродуктами являются головы – 9...12%, кожа – 1...3%, кости – 9...15% и чешуя – 5% от массы всей рыбы [98, 99, 136].

Рыбные субпродукты представляют собой значимый перспективный ресурс, обладающий высоким потенциалом для извлечения ценных биологически активных веществ с важными функциональными свойствами. Эти ценные соединения могут быть выделены для придания им дополнительной ценности на рынках более высокого класса, например, в качестве ингредиентов для пищевой промышленности. В настоящее время повышение биологической и экономической

значимости переработки рыбных субпродуктов выступает ключевым фактором обеспечения устойчивого производства, направленного на получение экологически чистых и безотходных технологий в сфере рыбопереработки. В нескольких исследованиях изучалась дополнительная ценность рыбных субпродуктов, в том числе для [98]:

- сельского хозяйства (удобрения/силос, компост, пестициды);
- энергии (биотопливо, окислитель);
- корма для животных (мука, масло, протеин, силос, минералы);
- пищевые добавки (масло, белок, минерал, аминокислота);
- продукты питания для человека (желатин, рыбный бульон, рыбный соус, печеночный жир);
- фармацевтические препараты (омега-3 жирные кислоты, кальций, хондроитин, коллаген, биоактивные пептиды).

Высококачественные соединения, которые можно было бы извлекать и использовать для потребления человеком, такие как белки, ферменты, масла, аминокислоты, гидроксиапатит, коллаген и желатин, представляют большой интерес для повышения ценности рыбных субпродуктов. В настоящее время рыбные субпродукты используются промышленностью в основном для производства рыбьего жира и кормов для животных. Коллаген является еще одним важным продуктом из рыбных субпродуктов. Другие виды использования рыбных субпродуктов – производство биотоплива или удобрений, хотя и более ограниченное, чем производство кормов или масла, но эта промышленная деятельность важна для повышения ценности рыбных субпродуктов. Еще одним важным направлением использования рыбных субпродуктов является получение ферментов, поскольку некоторые морские ферменты имеют важное коммерческое применение [113].

Внутренние органы рыбы, составляющие существенную долю рыбных субпродуктов, представляют собой объект повышенного научного интереса в контексте разработки технологий получения продуктов с повышенной добавленной стоимостью. Помимо этого, рыбные внутренности содержат широкий

спектр биохимически значимых соединений, обладающих высокой ценностью для применения в пищевой промышленности. Среди них интенсивно изучаются жир из рыбных внутренностей, протеин, пищеварительные ферменты и производные белка, такие как белковый гидролизат и биоактивный пептид. На сегодняшний день исследовано несколько видов рыб, включая глубоководных, донных, пелагических и пресноводных рыб и, в лабораторных условиях, были протестированы методы получения ценных соединений из рыбных внутренностей [98].

Однако по-прежнему сложно получить все ценные вещества из рыбных внутренностей одновременно, чтобы обеспечить чистое производство с нулевыми отходами. Целью данного обзора является анализ методов получения ценных соединений из рыбных внутренностей, которые могут быть использованы в качестве промышленного пищевого ингредиента. Здесь рассмотрим некоторые новые технологические решения в качестве экологически чистых технологий для дальнейшего развития рыбной отрасли.

Рыбные внутренности получают из содержимого желудка рыбы, которое состоит из кишок, печени, селезенки и поджелудочной железы [112, 55, 14, 29]. Основными компонентами рыбных внутренностей являются вода, белки и липиды. Рыбьи внутренности являются источником белков и липидов (табл. 1.1), и их состав зависит от вида рыбы. Состав рыбных внутренностей по сравнению с мышцами и головой содержит больше липидов и холестерина, больше насыщенных жирных кислот [98]. Как правило, жир является самым важным компонентом рыбных внутренностей после влаги, при этом, для некоторых видов рыб в них содержится больше белка, чем жира (табл. 1.1). Два основных компонента рыбных внутренностей – жир и белок представляют собой серьезную проблему, которую необходимо отделить от получения жира и белка из рыбных внутренностей.

Создание комплексного технологического процесса для получения всех ценных компонентов из рыбных внутренностей, в основном жира и белка, является сложной задачей.

Предлагается одновременный процесс для постепенного выделения ценных компонентов из рыбных внутренностей, включая рыбий жир, белковый концентрат и пищеварительные ферменты.

Таблица 1.1 - Состав рыбных внутренностей (%)

Виды рыб	Влажность	Жир	Белок	Зола	Источник
Золотистый морской лещ (<i>Sparus aurata</i>) Внутренности Печень	47,70 55,50	34,11 25,76	12,89 10,11	1,09 1,08	99, 121
Обыкновенный карп (<i>Cyprinus carpio var. communis</i>)	63,96	22,98	12,03	1,03	99
Пангасиус (<i>Pangasianodon hypophthalmus</i>)	73,30	8,48	15,61	1,77	99
Тунец (<i>Euthynnus affinis</i>)	75,73	11,77	65,04	3,12	131
Желтоперый тунец (<i>Thunnus albacares</i>)	69,66	5,08	21,50	4,46	121
Радужная форель (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	71,65	13,00	15,00	2,73	99, 93
Нигерский парастроматеус	74,00	3,90	14,40	3,40	106
Сазан (<i>Cyprinus carpio</i>)	77,62	13,91	7,52	0,80	84
Сомовые, обыкновенные сомы (<i>Silurus glanis</i>)	83,53	11,42	3,70	1,11	
Щука обыкновенная (<i>Esox lucius</i>)	77,22	13,57	7,91	1,11	
Судак (<i>Sander lucioperca</i>)	78,74	12,01	7,93	0,82	

Белок может быть дополнительно гидролизован для получения гидролизата рыбного белка. Этот гидролизат может содержать значительное количество биологически активных пептидов, которые могут быть дополнительно разделены несколькими способами, например, такими как гель-фильтрационная хроматография. В зависимости от вида рыбы, рыбий жир содержит омега-3 жирные кислоты, которые потенциально могут использоваться в качестве пищевых добавок. Жиры из рыбных внутренностей также являются сырьем для производства биодизельного топлива [98, 55, 83].

В настоящее время исследования по повышению ценности рыбных внутренностей путем экстрагирования масел и выделения белков проводятся отдельно. Первым этапом извлечения всех основных ценных компонентов из рыбных внутренностей является экстрагирование масла (рис. 1.1). Для экстракции

рыбьего жира обычно пользуются растворителем, при этом, такой подход является наиболее распространенным методом экстракции [98].

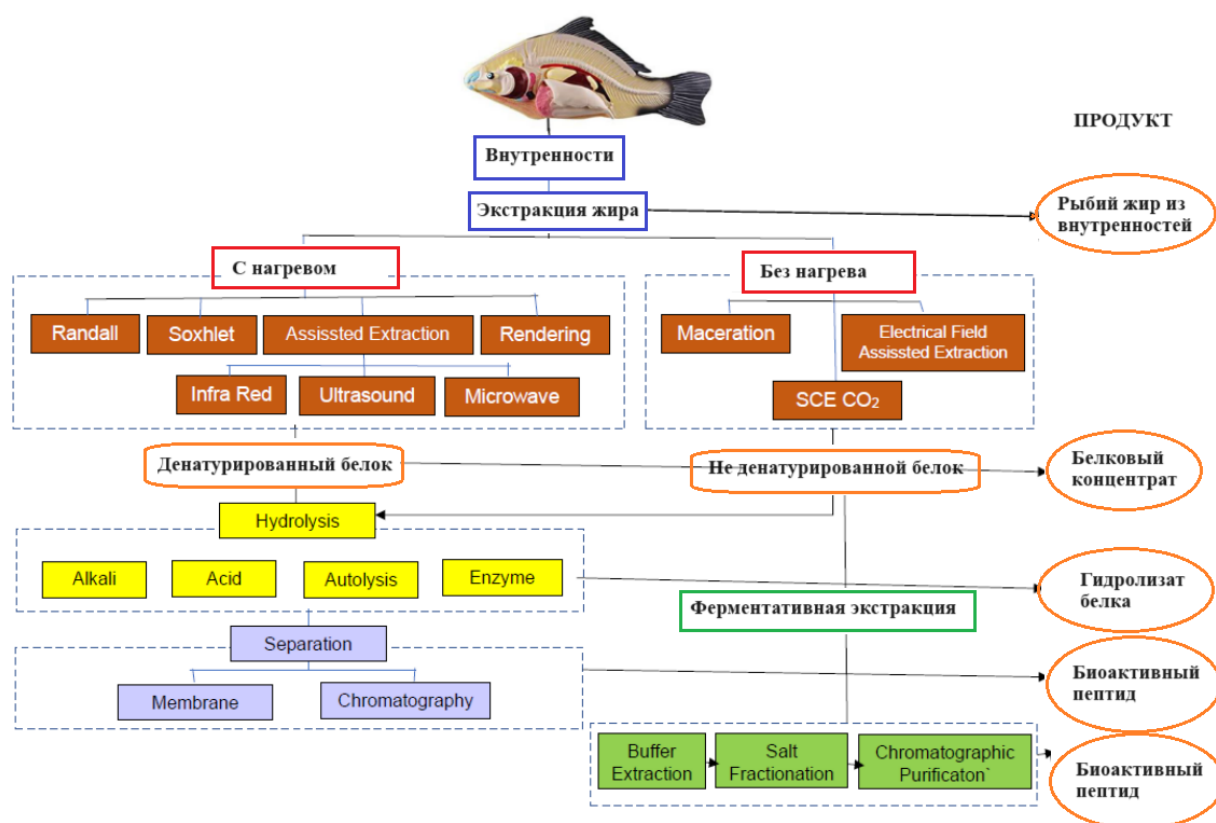


Рисунок 1.1 – Комплексное и одновременное отделение ценных компонентов от рыбных внутренностей [98]

Кроме того, были изучены некоторые новые технологии экстракции рыбьего жира, такие как предварительная обработка под сверхвысоким давлением перед ферментативным гидролизом, инфракрасная обработка с помощью экстракции и традиционный способ силосования путем ферментации или кислотного гидролиза [98]. Согласно исследованиям авторов [125] технология силосования признана наиболее полезной для решения проблем с отходами в рыбоводческой отрасли. Продукт силосования является концентрат рыбного силоса, который содержит высоко-усвояемый белок для кормления животных.

При разработке комплексного и одновременного процесса извлечения всех основных компонентов из рыбных внутренностей основное внимание уделяется сохранению белкового остатка после экстракции рыбных внутренностей жиром. Денатурация белка инактивирует пищеварительные ферменты. Поэтому при экстракции жира из рыбных внутренностей не следует использовать нагревание,

если остаточный белок в дальнейшем используется для выделения ферментов. Поэтому важно сохранить белок в нативном состоянии. Однако, использование при экстракции жира из рыбьих внутренностей допускается нагревание для получения белковых гидролизатов биоактивных пептидов [98].

Остаток от экстракции жира из рыбьих внутренностей в основном состоит из белка. Во многих случаях концентрация белка достаточно высока, известно, например, что после липидной экстракции рыбных внутренностей остается белковый концентрат с содержанием белка 88,4% [98]. В отличие от получения концентрата соевого белка, после липидной экстракции белок концентрируется путем осаждения при изоэлектрическом значении рН, при которой определенная молекула или поверхность не несет электрического заряда. Пищеварительные ферменты включают липазу, протеазу, трипсин и амилазу, отделенные от белка различными методами, например, буферной экстракцией и осаждением солью. Иногда для получения высокой ферментативной активности используется дополнительная очистка.

Помимо экстракции пищеварительными ферментами, гидролизат белка из рыбных внутренностей получают путем кислотного или ферментативного гидролиза [98, 83]. Силосование с помощью культивированной ферментации или кислотного гидролиза позволяет получать гидролизат белка из рыбных внутренностей и жир одновременно. Однако силосование не рекомендуется для выделения пищеварительных ферментов, поскольку в процессе ферментации микробные ферменты гидролизуют белок в кислой форме. Биологически активные пептиды из белкового гидролизата рыбных внутренностей очищаются мембранным или хроматографическим методом. Рыбные пептиды обладают некоторыми биологическими активностями, включая модуляцию липидного гомеостаза, антиоксидантную, противоопухолевую, противовоспалительную, гипотензивную и нейропротекторную активность. Кроме того, эти биоактивные пептиды являются перспективными нутрицевтическими ингредиентами для применения в пищевых продуктах [98, 83, 100].

Все вышесказанное указывает на то, что повышение ценности рыбных внутренностей путем комплексного и одновременного выделения ценных компонентов – это задача, требующая дальнейшего изучения. Некоторые новые технологии подходят для повышения жиро-отдачи при экстракции масла из рыбных внутренностей. Белковый концентрат – это остаток от экстракции масла, который используется в качестве сырья для получения белкового гидролизата из рыбных внутренностей. Характеристика этого гидролизата необходима для того, чтобы его можно было использовать в пищевых целях.

Биоактивные пептиды из гидролизата могут быть выделены с помощью передовых технологий разделения, таких как мембранное или хроматографическое, и эти соединения очень важны для широкого использования в пищевой промышленности. Однако по-прежнему остается сложной задачей не только разработка недорогой, простой и легко масштабируемой технологии извлечения всех ценных соединений из рыбных внутренностей, но и сохранение этого сырья в допустимом технологическом состоянии до того момента, когда оно поступит на переработку.

Особо следует отметить, что печень рыб характеризуется специфическими химическими свойствами, что обуславливает ее потенциал для создания инновационных пищевых ингредиентов с уникальным функциональным назначением. В настоящее время данный ресурс зачастую подвергается смешиванию с прочими рыбными субпродуктами и преимущественно используется для производства рыбной муки или масла, тогда как в ряде случаев печень попросту утилизируется как производственный отход, что свидетельствует о недостаточном использовании ее биохимического потенциала. [83, 93].

1.3 Перспективы использования печени сома в технологии продуктов питания и биологически активных соединений

Отметим, что печень высших существ отвечает в их организме в основном за метаболизм питательных компонентов, проникающих в него. В ней осуществляется метаболизм углеводов и липидных составляющих, азотистый обмен, формируются источники энергии, такие как гликоген, который поддерживает жизнеспособность рыбы на нерестовом этапе при прекращении ее питания. Клеточные структуры печени по отношению к ним в иных органах и тканях имеют полный перечень ферментных комплексов, принимающих участие в аминокислотном обмене [84].

Известны случаи выделения из печени организмов водного происхождения биологически активных веществ (БАВ). В частности, из нее у амфибий выделены и исследованы белковые комплексы, связанные с липидными кислотам, и выявлен перечень аминокислот [132]. Данные белковые комплексы необходимы для метаболизма липидов в ней и применяются, как лекарственные препараты. Известны способы получения ДНКаз из карповой печени [109], в частности аланин-аминотрансферазы, влияющей на приспособление организма к среде обитания [135], супероксид-дисмутазы, глутатион-редуктазы и каталазы в рыбах антарктического происхождения и выявлена взаимосвязь данной ферментной активности с температурой рыбного тела [134].

Лососевая печень тоже является источником ферментных комплексов, включающих глюкозо-6-фосфат-дегидрогеназу, протеиназу, 6-фосфоглюконат-дегидрогеназу, фосфоенолпируват-карбоксикиназу, пируваткиназу, малик-фермент и лактат-дегидрогеназу, применяемых для биохимических тонких процедур [116]. Из данного органа радужной форели *Oncorhynchus mykiss* извлекли триацилглицероллипазу, для которой липолитическая активность растет при наличии цАМФ/АТФ, связанной с магниевым ионом [102]. Из этого органа извлекли и произвели ее очистку ацетил-КоА-карбоксилазу [115]. Причем в нем выявлена степень действия ряда гормонов роста, которая максимальна в течении нереста при максимальном объеме вылова лосося [101]. У атлантического лосося

Salmo salar выявлены и локализованы клеточные структуры, производящие ксеноэстроген и просто эстроген [90], а также обнаружен протеин с антимикробным эффектом –гистон H1 с молекулярным весом примерно равным 22 кДа [127].

К примеру, в ряде органов, в частности, печени японской камбалы *Paralichthys olivaceus* выявлены 2 вида пептида, обогащенного цистеином с большой протаомиеробной способностью [103]. Данная субстанция представляемая, как гепсидин, выявленная раньше, [119] в последствии выявлена в печени ряда позвоночных животных. Она, к тому же, обладает антигрибковой способностью и принимает участие в регулировании в организме доли железа.

Итак, печень ряда животных и хищных рыб содержит значительную долю низкомолекулярных и ферментных субстанций пригодных для производства БАВ пищевого назначения, как премиксов и высокочистых субстанций, так и реагентов для научного изыскания и анализа.

Печень является уникальным продуктом с богатым химическим составом. Биологическая ценность белка, содержание которого в печени составляет от 20 до 25%, является одним из значимых критериев пищевых продуктов. Потенциальная ценность белковых комплексов, в частности с биологической точки зрения равна 76,69%, что обусловлено высокой степенью сбалансированности незаменимых аминокислотных соединений. Печень включает большое количество полиненасыщенных жирных кислот омега-3 и омега-6, незаменимых аминокислот таких как валин, изолейцин, лейцин, метионин, треонин, триптофан, фенилаланин, лизин, витамины А и Е, а также макро- и микроэлементы – фосфор, железо, кобальт, цинк и другие элементы.

Каждый из этих компонентов критичен для организма человека. Недостаток этих компонентов приводит к различным заболеваниям и патологиям, начиная от простой утомляемости и заканчивая серьезными проблемами со здоровьем, такими как анемия, снижение остроты зрения и нарушение роста у детей. Особенно тревожит ситуация с дефицитом витамина А и железа. В своих докладах всемирная организация здравоохранения обращает внимание на то, что каждый третий ребенок

в мире страдает от недостатка витамина А, а более двух миллиардов людей испытывают дефицит железа, приводящий к широко распространенной форме анемии. В России частота встречаемости анемии достаточно высока во всех возрастных группах и составляет от 25,4% до 47,4% у детей дошкольного и школьного возраста, 41,8% – у беременных женщин, 30,2% – у небеременных женщин репродуктивного возраста, 23,9% – у пожилых людей и 12,7% – у мужчин [71].

Перспектива развития аквакультуры в настоящий момент также обусловлена лимитом запасов «дикой» рыбы и иных гидробионтов, что определяет ее лидирующие позиции в мировом масштабе рыбохозяйственного комплекса [63].

В настоящий момент особый интерес проявляется к выращиванию сома обыкновенного совместно с карповыми и иными видами рыб. Он является быстрорастущим малокостным видом с прекрасными вкусовыми ощущениями и устойчивостью к патологиям. Немаловажно то, что данный вид является биологическим санитаром, уничтожающим больную и сорную рыбу в прудовых хозяйствах, как источника негативных патологий [63], а по отношению к щуке и судаку его выращивают при незначительных гидрохимических требованиях в малогабаритных прудах, карьерах и каналах. Зимой сом не употребляет корм даже при температурном росте, что обуславливает его совместимость с карповыми и иными видами мирных рыб. При этом он может есть лягушек, отходами птицефабрик и т. д. [63].

По сведениям от интернет-издания «За рубежом» в 2021 г масса выращивания сома составляла 1 млн тонн на 2,6 млрд. долларов США. Согласно информации, приведенной публикации «Сомоводство: широкие возможности для большой страны» [75], повышение объемов выращивания сома стартовало в 90-х годах прошлого века, по причине реализации правительственного заказа на инкубаторы для сеголетков, в результате чего в рыночной сфере сформировался генетический фонд. В 2005...2015 г.г. объем выращивания поднимался на 20% ежегодно, а в 2016 г. наблюдался его спад по причине роста стоимости кормовой продукции [75].

В РФ превалирует сом обыкновенный или европейский (*Silurus glanis*), произрастающий в естественных условиях. В мировой практике, в том числе в российской, интенсивно производится сом клариевый африканский или мраморный. Однако, несмотря на длительную практику выращивания сома клариевого масштабное его выращивание не налажено до настоящего момента.

Стоит отметить самые известные разновидности сома: канальный (*Ictalurus punctatus*), пангасиус (*Pangasius hypophthalmus*), клариевый (*Clarias gariepinus*) и обыкновенный. В советскую эпоху доступным для населения и промысловым служил сом обыкновенный при вылове от 7,8 до 27,8 тыс. тонн, а искусственное производство не проводилось [6]. С 2005 по 2014 г. вылов сома зафиксировалось на уровне 8,5...10,0 млн. тонн, а к 2014 г. наблюдалось падение вылова до 5 млн. тонн, при резком повышении аквакультуры. Так с 2005 по 2014 г. производство сома повысилось с 1,5 до 4,7 тыс. тонн [6].

Согласно другому источнику [5], в 2023 году почти весь улов сома в России приходился в естественной среде обитания, в 2022 году было выловлено около 6717 тыс. тонн обыкновенного и африканского сома. Для сравнения, в 2017 году объем производства сома в рыбоводческих хозяйствах составил лишь 132 тонны [44].

По данным Волго-каспийского территориального управления Росрыболовство в целях промышленного рыболовства во внутренних водоемах Астраханской области и в Каспийском море промышленниками ежегодно добывается более 5 тысяч тонн сомов [Приложение А].

Хотя эксперты отрасли еще в 2014...2015 годах отмечали производство около 200 тонн, что очень сильно разнится с данными из источника [6]. Поэтому работа основывалась на данных о добыче обыкновенного сома в РФ на уровне 7,5 млн тонн, кроме того, выращивание этого вида рыбы искусственным способом обладает хорошими перспективами [63].

Если принять во внимание, что печень сома обыкновенного составляет порядка 1,5% от общей массы рыбы [63], то только печени, как высокопитательного вторичного сырья может скапливаться около 112,5 тыс. тонн, которое необходимо сохранить, а это весомая цифра, чтобы ее не учитывать, тем

более при низком уровне промышленного производства в нашей стране высокотехнологичной пищевой продукции. Принимая во внимание заключение о том, что печень сома обыкновенного, может служить перспективным сырьем для получения биологически активных добавок, то правильное проведение операции консервации этого вида рыбных отходов требует научно-обоснованного подхода.

В работе [85], посвященной переработке печени рыб лососевых рациональным методом ее консервации для продолжительной сохранности качества и дальнейшей производственной обработки предлагается сублимационное обезвоживание, которое подразумевает дорогое и сложное техническое обеспечение. Здесь же приведены результаты изучения выработки высушенной лососевой печени при упрощенных методах влагоудаления на циклонных аппаратах, однако, следует отметить, что у такого подхода имеется существенный недостаток, заключающийся в том, что таким образом можно успешно сушить только хорошо сыпучие материалы, не обладающие заметным адгезионно-когезионными свойствами и в противном случае нужна предварительная подсушка продукта. В связи с вышеизложенным, как наиболее эффективная альтернатива ранее применяемым сушильным технологиям, предлагается в качестве перспективного способа консервации печени сома, использовать для удаления влаги энергию высокочастотного (СВЧ) излучения.

Данное предложение обосновывается тем, что при удалении влаги из материала при СВЧ подводе энергии не наблюдаются ее потери по причине ее выхода из самого объекта обезвоживания, при этом все тепло поглощается в слое материала. Магнетроны имеют большой КПД примерно 85%, причем основная его составляющая, до 80%, уходит на СВЧ парообразование. В ряде сушилок реализуется и остаток в 20% КПД. Тепло, не трансформированное в СВЧ поток, трансформируется в тепло на генераторах СВЧ волн, с которых сквозь воздухопровод поступает на объект обезвоживания, что обуславливает дополнительный конвективный энергоподвод [18].

1.4 Техничко-технологическое обоснование процесса микроволновой сушки как перспективного и экономичного способа консервации рыбных субпродуктов

Основным преимуществом СВЧ обезвоживания по отношению к иным методам влагоудаления служит объемный энергоподвод к объекту при определенной пропускательной способности в зависимости от его параметров. Энергия проходит не от поверхности объекта теплопроводностью, а при формировании внутренних источников тепла, причем при снижении температуры (T) на поверхности по причине парообразования, T во внутренних слоях может превысит поверхностную. Этот факт усиливает термо- и просто диффузионный поток влаги, направленный изнутри материала к его периферии. Это обуславливает и рост внутреннего давления (P) паровой среды и осуществление бародиффузии [88, 67, 50].

СВЧ (микроволновое) излучение является волной электромагнитной природы с длиной от 1 м до 1 мм и частотой от 300 МГц до 30 ГГц, что обуславливает его специфику [67]. По частотному спектру данные волны находятся между инфракрасными и радиоволнами. От радиоволн СВЧ волны заимствовали повышенную пропускательную способность по отношению к инфракрасным. При этом трансформация энергии электромагнитного поля в тепловую при СВЧ значительно эффективнее по сравнению с радиоволновым излучением [88, 67, 50].

Современное развитие науки и техники позволило снизить стоимость СВЧ оборудования и открыло широкие перспективы его развития в особенности при необходимости объемного прогрева материала, в частности, при его обезвоживании [67].

Природа нагревания под действием СВЧ лучей следующая: в первую очередь T повышается в полярных диэлектрических материалах, в частности, в водной среде. Ее полярные молекулярные структуры располагаются так, чтобы дипольный вектор ориентировался против вектора напряженности окружающего его поля, иными словами, уподоблялся компасной стрелке в магнитном поле. При перемене направления напряженности окружающего поля диполи переориентируются множество раз со сверхвысокой частотой, взаимодействуя с близлежащими также колеблющимися диполями, что обуславливает тот факт, что кинетическая энергия диполей в диэлектрическом материале и его T повышаются [50].

Тот факт, что для испарения одной молекулы водной среды тратится существенная энергия, обуславливает высокую энергоемкость искусственного обезвоживания. Можно выделить основные пути роста эффективности сушилок без учета их конструктивных особенностей и способа влагоудаления [50, 10]:

- уменьшение непроизводительных энергозатрат;
- реализация обезвоживания другими, кроме сушки, путями при возможности;
- энергетическая рекуперация.

Данные действия можно реализовать при СВЧ влагоудалении, при котором по отношению к иным методам не предусматривает теплоотдачу от нагревательного устройства. Так, при конвективном энергоподводе повышается T теплоносителя посредством нагревательного устройства, и далее тепловая энергия от него подводится к материалу, что обуславливает дополнительные тепловые потери на всех стадиях данной цепочки. Так как магнетронный КПД сравнительно большой (до 85%), ориентировочно 80% энергозатрат направляется на СВЧ парообразование. В аппаратах для обезвоживания, производимых компанией «Ингредиент», 20%-ый остаток не трансформированной в тепло СВЧ энергии выделяется на генераторах микроволн в форме тепловой энергии, от которых сквозь воздухопроводы поступает к материалу посредством конвективного энергоподвода [60].

В варианте СВЧ обезвоживания наблюдается объемное испарение и создаваемое по этой причине внутреннее P приводит к бародиффузии, которая в случае большой влажности W материала (более 80%) приводит к отведению до 30% влаги. Так как выдавленную воду не надо испарять, ее удаление не требует затрат тепла без затрат энергии, причем такую водную среду можно использовать в промышленных и коммерческих целях [60].

Стоит отметить, что образованный при сушке пар несет в себе существенную тепловую энергию, затраченную на парообразование. В аппаратах «Муссон» данная энергия применяется после утилизации для дополнительного конвективного обезвоживания материала [60], что дает возможность ориентировочно на 20% увеличить их производительность. При рабочей частоте 2.45 ГГц генератора СВЧ волн можно обезвоживать при равномерном прогреве объекты с размером поперечного сечения до 0,1 м. При поверхностных способах энергоподвода необходимо более тонкое диспергирование материала, формирование его тонкого слоя и периодическое перемешивание при пересыхании поверхностного слоя и формировании корки, тормозящей внутренний влагоперенос [88, 67, 50].

Реализация СВЧ энергоподвода возможна при разрежении в аппарате при снижении T материала по причине падения T кипения воды и ее насыщенных паров при снижении P (рисунок 1.2).

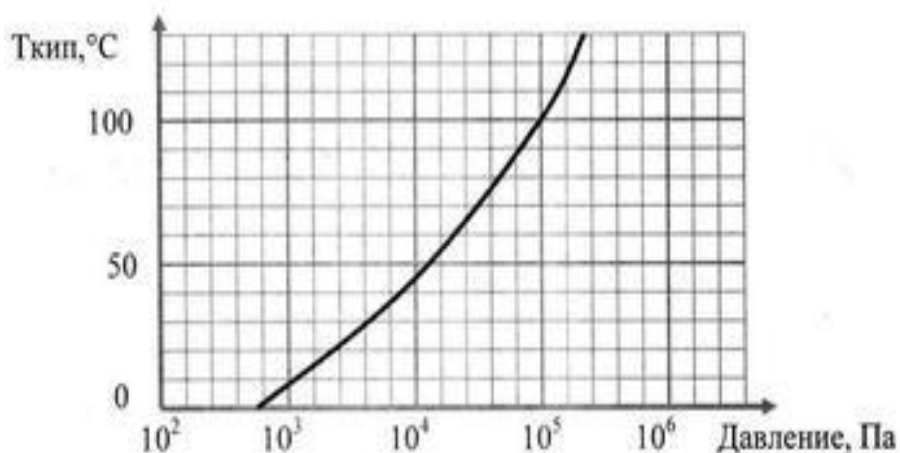


Рисунок 1.2 – Закономерность варьирования T кипения воды от P [60]

При влагоудалении при разрежении в камере, оно осуществляется интенсивно без контакта с кислородом, что исключает окислительные реакции в материале и по этой причине внешний вид и цветовая гамма сухих материалов более приближены к нативным.

Поглощательная способность СВЧ излучения материалом находится в прямой пропорции от тангенса угла диэлектрических потерь и его диэлектрической проницаемости (ДП), информация о которой способствует пониманию функционирования известных, созданию и конструированию оригинальных электромагнитных и электронных устройств. ДП является физическим показателем способности продукта проводить электрический ток. При большой ДП ток плохо протекает в материале, и он служит хорошим изолятором. При малой ДП, наоборот, материал служит хорошим проводником тока. В таком ракурсе водная среда в материале, предназначенная парообразования имеет большое преимущество. Ее ДП составляет 81 по отношению к обезвоженному объекту, где ДП не больше 3. Диэлектрические потери в водной среде тоже заметно больше. В итоге, при подводе СВЧ энергии она максимально поглощается в местах с наибольшей W , что обуславливает более равномерное ее распределение в объеме материала [60].

К тому же СВЧ лучам приписывают стерилизующий эффект против кишечных палочек, стафилококков и иных негативных микроорганизмов, что обусловлено интенсивным ростом T в материале при диэлектрическом повышении T протеинов микроорганизмов. Наблюдается «тепловой удар» микроорганизмов при их гибели.

Для обозначенных целей максимально приемлем интервал длин волн 0,3...0,003 м. С целью индустриальной реализации СВЧ обезвоживания пищевых объектов допускается часты в рамках 915 ± 25 и 2450 ± 50 МГц.

Известен барабанный вакуумная СВЧ аппарат, показанный на рисунке 1.3 для обезвоживания штучных продуктов при влагоудалении под действием градиентов P , T и W , где вода закипает при 50...60°C.

Принцип работы микроволновой вакуумной сушилки следующий [62]. В корпусную часть 2 подают объект обезвоживания сквозь люк 9 в стационарном

кожухе 1. При функционировании аппарата в него поступает нагретый воздушный сушильный агент сквозь запредельные трубопроводы 8, Пароудаление тоже проводят по ним. Активизируют магнетроны 7 при вращательном движении на консолях 3 корпусной части 2.

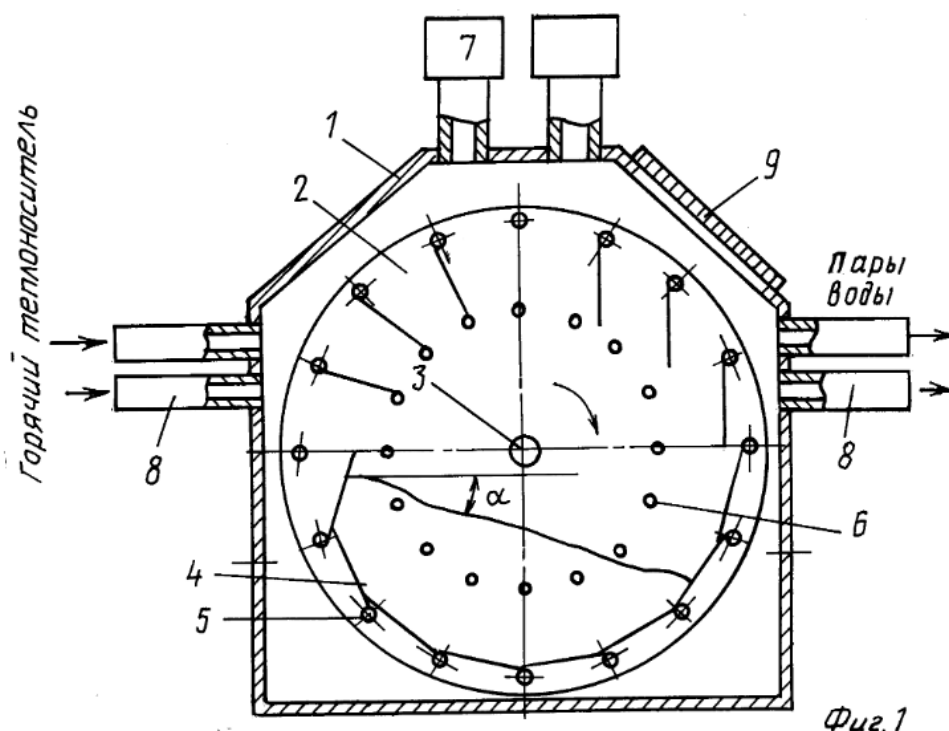


Рисунок 1.3 – Барабанная микроволновая сушилка [62]

В процессе работы верхний линейный уровень загрузки материала находится под углом α к горизонтали самопроизвольно перемешивается. Лопасты 4 вверху корпусной части 2 провисают на шарнирных элементах 5. СВЧ энергоподвод от магнетронов свободно подводится к материалу. Фиксирующие элементы 5 лимитируют удары лопастей по материалу при их трансфере из нижнего полуцилиндра части 2 в верхний. Выгрузка материала проводится при совмещении выгрузочного люка 11 на вращающейся части 2 с люком 10 на стационарном кожухе 1. Такой вариант функционирования аппарата позволяет ускорить процесс при сохранности формы материала по причине самопроизвольного перемешивания под влиянием гравитации [62].

Интересен шнековый СВЧ аппарат для обезвоживания сыпучих материалов, показанный на рисунке 1.4 [48].

Данный аппарат представляет из себя обечайку 6 с приводом 8 шнекового узла 7, над которым установлены генераторы СВЧ излучения 5, а также их воздухопровод 2 и внешний воздуховода 3. Снаружи обечайки установлена воздуходувка 4, подающая сушильный агент к материалу. Также аппарат обеспечен отсеком загрузки 1 и управляющим блоком [48].

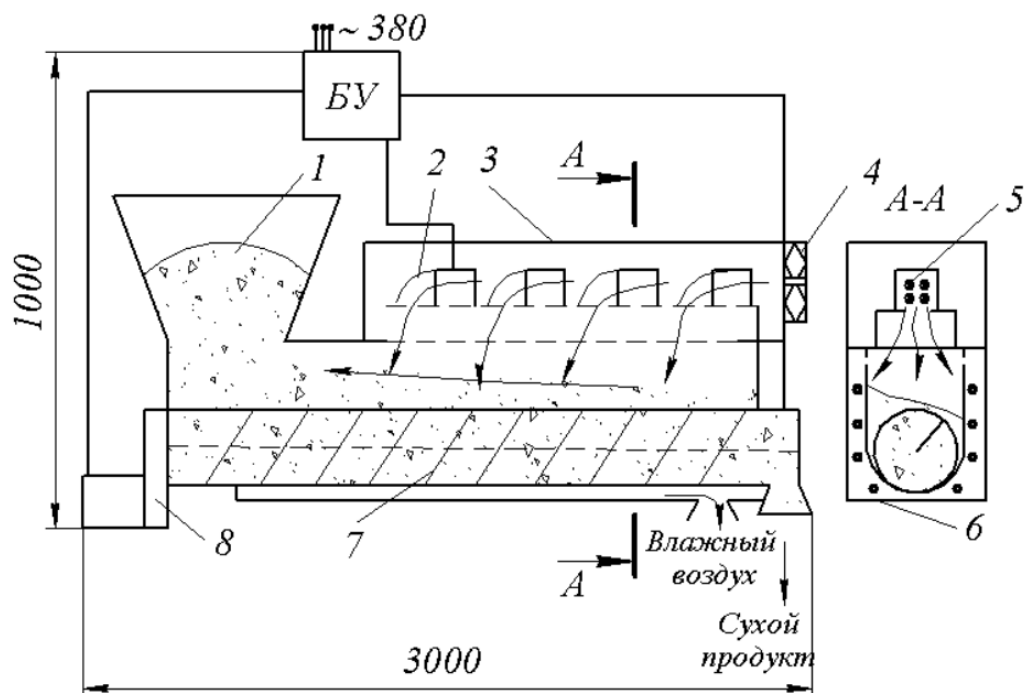


Рисунок 1.4 – Шнековая микроволновая сушилка [48]

К позитивным сторонам такой конструкции можно причислить ее простоту, низкую итоговую W материала и сравнительно низкую энергоемкость.

Привлекателен шахтный аппарат для обезвоживания сыпучих материалов под действием СВЧ излучения (рисунок 1.5).

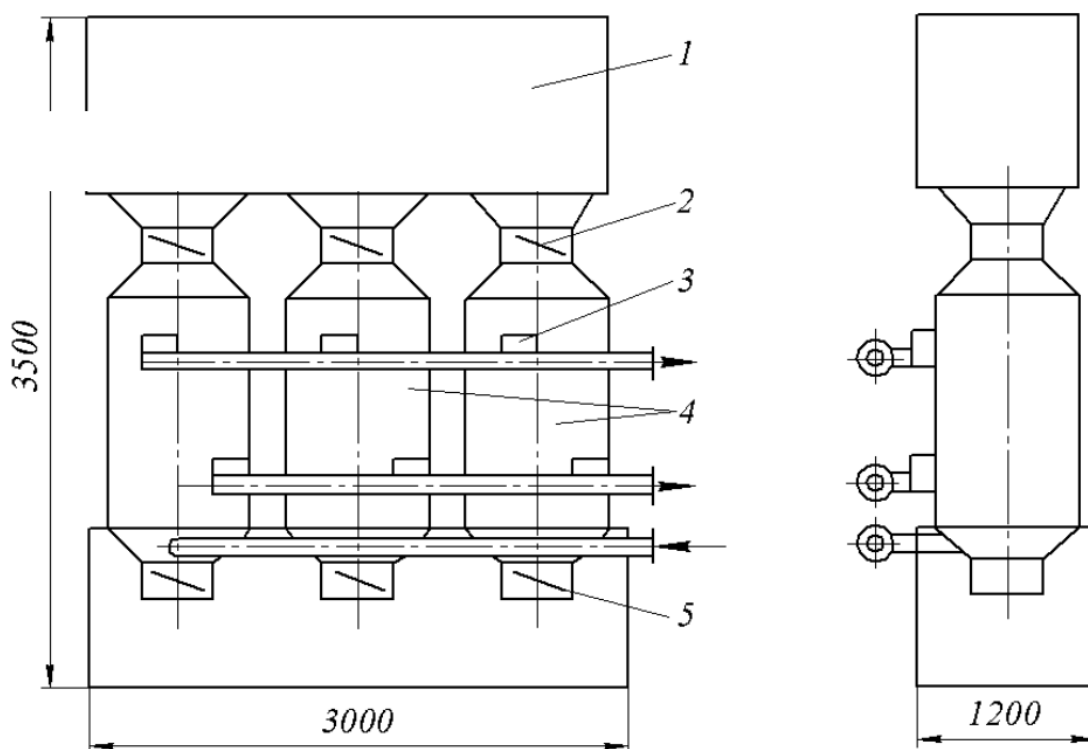


Рисунок 1.5 – Шахтный аппарат для обезвоживания сыпучих материалов [48]

Данный агрегат состоит из 4-х вертикально установленных шахтных отсеков 4 с укрепленными на них генераторами СВЧ 3 и охлаждающей системой в виде воздухопроводов. Обезвоживаемый сыпучий продукт поступает сквозь бункерный узел 1 посредством заслонок 2, а отводится посредством шиберных элементов 5. Каждый из шахтных отсеков функционирует по схеме: загрузка – микроволновое облучение – продувка – выгрузка. Для продувки предназначена нагретая воздушная среда из охлаждающей генераторы СВЧ излучения системы [48].

Достоинства сушилок шахтного типа в их простоте и компактности конструкции, высокой степени использования объема рабочей камеры в варианте с выносными охладительными колонками, в возможности регулировать в широких пределах продолжительность нахождения высушиваемого сырья в сушильной камере.

Становится очевидным, что принципиально не одно из вышперечисленных сушильных устройств не подойдет для обработки печени, вследствие радикальных отличий такого сырья, как объекта сушки от тех требований, которые предъявляются к сырью для их использования (используются для влагоудаления из сыпучих материалов), при этом использование СВЧ энергии для удаления влаги из

этого субпродукта остается привлекательным. В таком случае возможно использование других типов сушильных устройств, которые являются гибкими к их усовершенствованию, а именно к изменению в их конструкции или установки дополнительного узла, позволяющего использовать для обработки сырой печени микроволновой энергии. К таким сушильным устройствам вполне можно причислить петлевые конвективные сушилки.

Петлевые сушилки непрерывного действия, принципиальная схема которых представлена на рисунке 1.6, используются для обезвоживания пастообразных объектов, которые впрессовываются в ячеистую конвейерную ленту и фиксируются посредством адгезионных сил.

Работа таких сушилок связана с тем, что основной ее элемент – конвейерная гибкая лента 2 формируется в петли, что приводит к росту ее нахождения и обезвоживания продукта в зоне влагоудаления. Продукт в ячейках контактирует с теплоносителем с обеих открытых сторон, перемещающимся ортогонально движению ленты по слою продукта (на рисунке 1.6 ориентация перемещения теплоносителя представляется ортогонально плоскости рисунка). Толщина слоев продукта идентичная высоте ячеек не превышает 20 мм для эффективного 2-стороннего обезвоживания без пересыхания поверхностного слоя в отличие от одностороннего энергоподвода в аппаратах камерного типа. Пастообразный материал запрессовывается в ячейки посредством внутренне обогреваемых валков 4, а сухой продукт вбивается из ячеек ударным механизмом 6. Измельченный в крошку продукт поступает в бункерный узел и отводится шнековым узлом.

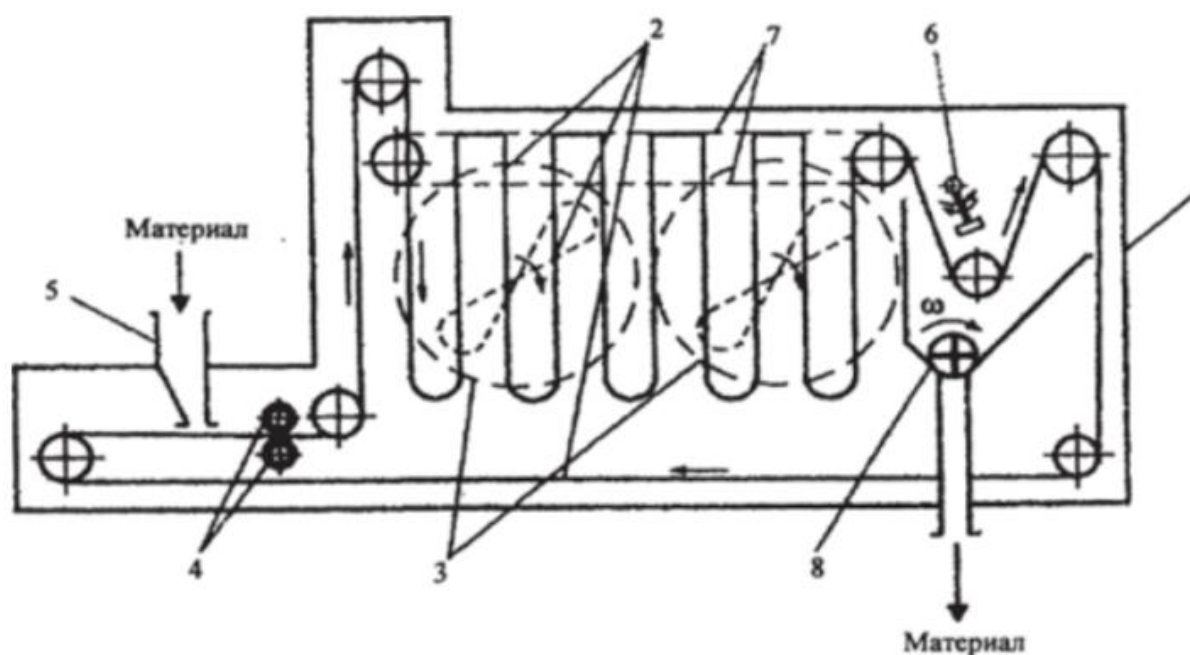


Рисунок 1.6 – Схема петлевой сушилки с конвективным энергоподводом:

1 – корпус аппарата; 2 – бесконечная сетчатая лента; 3 – вентиляторы поперечной подачи сушильного агента; 4 – обогреваемые изнутри полые валки для впрессовывания пасты в сетку; 5 – бункер влажного материала; 6 – ударное устройство для удаления сухого материала из ленты; 7 – цепной конвейер для передвигания сетчатой ленты; 8 – приемный бункер и шнек для выгрузки высушенного материала.

Негативными сторонами петлевых аппаратов служат габаритность и существенные затраты при эксплуатации. Так вот включение в конструкцию сушилки узла СВЧ воздействия на пасту на первой петле позволит существенно уменьшить громоздкость конструкции и снизить эксплуатационные расходы за счет того, что при использовании СВЧ-устройства градиенты T , P и W односторонне ориентированы, что обуславливает уменьшение длительности обезвоживания, при этом, СВЧ-устройства являются компактными.

Из системного изучения негативных и позитивных сторон способов влагоудаления и их технического обеспечения следует, что максимально адаптированными к печени являются аппараты с комбинированным подводом тепловой энергии посредством СВЧ излучения и конвективного воздействия сушильным агентом, которые целесообразно совершенствовать для повышения эффективности десорбции.

Таким образом, научное обоснование технологии и технических решений сушки рыбной печени, являющейся одной из составляющей отходов

рыбопереработки, за счет исследования технoхимической характеристики обрабатываемого и высушиваемого сырья, разработки рациональных режимных параметров управления этим процессом, а также его аппаратурного оформления, с целью получить продукт высокого качества с определенными органолептическими, физико-химическими и структурно-механическими показателями является актуальной темой диссертационного исследования.

ГЛАВА 2 ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В печени существ высшей степени организации осуществляется, в первую очередь, метаболизм питательных субстанций, поступивших в организм. В ней осуществляется азотистый обмен, метаболизм жиров и углеводной составляющей, накапливается энергоноситель, в частности, гликогена, играющий существенную роль на нерестовом этапе развития рыбы в момент прекращения употребления пищи. По отношению к клеткам иных органов и тканей клеточные структуры печени включают комплекс ферментов, способствующих аминокислотному обмену. Благодаря чему данный орган, характеризующийся уникальными физико-химическими свойствами, представляет собой перспективное сырье для создания инновационных питательных компонентов с повышенной биологической ценностью. В современных технологиях его преимущественно используют в сочетании с прочими рыбными субпродуктами, что отражает комплексный подход к рациональному перерабатыванию биоотходов рыбной промышленности.

2.1 Характеристика объекта исследования

Субпродукты рыбного происхождения, в частности, внутренности интересны, как источник комплекса ценных компонентов, перспективных для применения в пищевой индустрии. В приведенном исследовании объектом изучения послужила печень сома обыкновенного (ПСО) (*Silurus glanis*), причем анализировались как нативная, так и обезвоженная при сверхвысокочастотном (СВЧ, микроволновом (МВ)) энергоподводе (рис. 2.1).

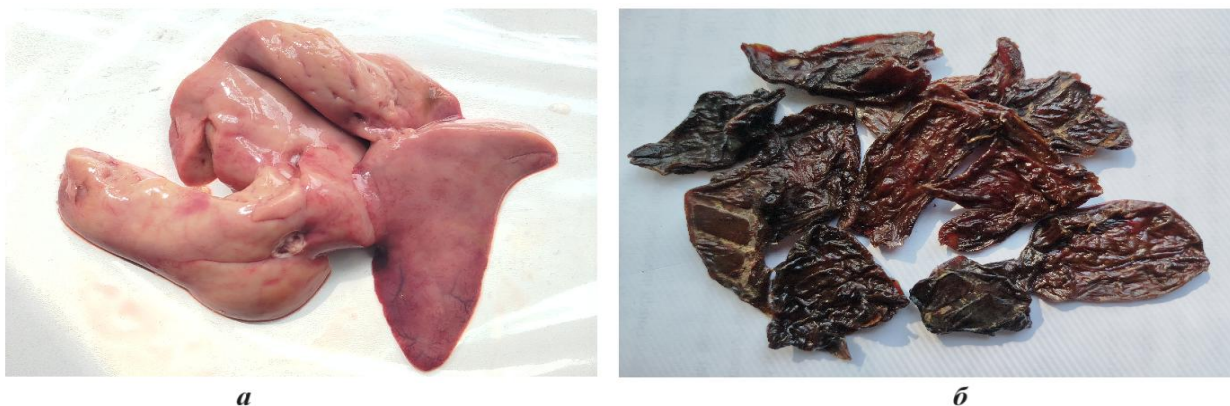


Рисунок 2.1 – Печень сома обыкновенного:
а – сырой образец; б – высушенный образец

Живой сом обыкновенный весом от 0,5 кг до 1,2 кг был приобретен на специализированном рыбороторговом рынке г. Астрахань и в течение двух часов доставлен на предприятие ООО «Интехпрод», оснащенное необходимым оборудованием для обработки рыбы и выделения ее субпродуктов. ПСО, полученная в производственных условиях, оперативно подвергли замораживанию и выстаивали при $T = -20^{\circ}\text{C}$ до диспергирования и изучения. Впоследствии пробы дефростировали и диспергировали посредством мясорубки «Торгтехмаш МИМ-600 М», а далее часть ПСО хранили при $T = -25^{\circ}\text{C}$, а другую часть высушивали при МВ энергоподводе посредством опытного стенда для изучения разных вариантов обезвоживания [37] и диспергировали в блендере.

2.2 Описание применяемых в работе методов исследования

1) Доля влаги (влажность, W) в ПСО выявлялась гравиметрическим способом, опирающемся на определение варьирования массы пробы до и после ее сушки при 105°C . В нашем варианте для нахождения W ПСО реализован термогравиметрический анализатор W МХ-50, где посредством галогенового

радиационного излучателя с рефлектором оперативно и равномерно повышалась T пробы.

2) Для изучения соотношения между равновесными значениями W и относительной влажности внешней среды (φ) в эксикаторе при $T = const$ применялся тензометрический способ. По которому навески анализируемого материала с известной W выдерживались в эксикаторной емкости с серноокислым раствором варьируемой концентрации, причем фиксированным концентрации и T отвечает фиксированная величина φ . Навеска по окончании варьирования массы в равновесных условиях взвешивалась и определялась равновесная W_p как: $W_p = \frac{G_2 - G_1(1 - W_{образца})}{G_2}$, где $W_{образца}$ – исходная для навески, кг/кг, G_1 – исходная масса пробы; G_2 – масса в состоянии равновесия, кг.

3) Физическая плотность ρ исследуемого сырья определялась пикнометрическим способом. Пикнометр представляет собой стеклянный сосуд определенного объема. При этом масса навески – m , а пикнометра, заполненного до риски эталонной жидкой средой – m_1 . При внесении в заполненный пикнометр навеска вытеснит объем жидкой среды, идентичный объему навески. Отводим вытесненную среду до риски. Масса пикнометра с жидкостью и навеской обозначим, как m_3 . Тогда масса вытесненной среды соответствует $(m_1 + m - m_3)$, а ее объем $V = \frac{m_1 + m - m_3}{\rho_0}$. Откуда для навески $\rho_{ТВ} = \frac{m}{V} = \frac{m}{m_1 + m - m_3} \cdot \rho_0$.

4) Для проведения экспериментальных исследований по нахождению теплофизических характеристик рыбной печени применялся разработанный В.В. Красниковым и др. [36, 60] способ сравнительно оперативного нахождения теплофизических характеристик (ТФХ) жидкообразных веществ, базирующийся на термической инерции термодатчика, который дает возможность определить в комплексе коэффициент теплопроводности λ , температуропроводности a и удельную теплоемкость c_M . Схема опытного стенда показана на рисунке 3.7. T водо-ледяной композиции в бумажной емкости доводится $1 \dots 4^\circ\text{C}$ и активизируется программный продукт ThermoChart, который отражает при помощи термометра «ЛТ-300» T на дисплее ЭВМ [21]. Далее навеска с T внешней среды погружается в

емкость, над которой устанавливается бумажная емкость с водо-ледяной смесью и термощупом. Далее пробивается доньшко бумажной емкости зондом, который входит в зону замера T навески. Изменения T регистрируются с помощью специализированного программного обеспечения. Эксперимент многократно повторяется (не менее пяти циклов) для повышения достоверности данных, после чего полученные результаты обрабатываются и систематизируются в табличной форме, а расчет ТФХ проводится согласно методике, изложенной в работе [36].

5) С целью эмпирического нахождения c_M ПСО при варьировании W реализован калориметрический способ [35], который имеет определенные достоинства по отношению к адиабатическому калориметру, а именно: простоту конструкции установки, быстрая замена исследуемых образцов и заданная для исследуемого материала инженерная точность определения теплофизической величины. Данный подход базируется на выявлении константы калориметрической установки – K , отражающей потери тепла с минимальной погрешностью и высокочувствительную схему замеров варьирования T около 2°K . Продолжительность эксперимента составляет всего несколько минут. Конструкция опытного стенда (рис. 3.8) включает термический и измерительный отсеки, первый из которых является термосом с пробами, а второй – измерительным со схемами питания и замеров силы тока и напряжения в нагревательном узле и, кроме того, схемами замера T и ее отражении в течении процедуры. K , выявляемая по табличной теплоемкости водной среды, зависит от T , поэтому необходима серия опытов при варьируемой T в заданном интервале. Такие данные имеются для $25\dots 40^\circ\text{C}$ в работе [35], а по причине малой вариативности K в таких рамках варьирования T можно считать ее равной $15,3$ Дж. Итоговое соотношение для c_M , найденной посредством стенда, показанного на рисунке 3.8, Таким образом, итоговая формула для определения теплоемкости принимает вид: $C_M = \frac{U \cdot I \cdot \Delta\tau - K}{M_{\text{обр}} \cdot \Delta T}$, где U – разность электрических потенциалов на нагревательном устройстве, В; I – сила тока, А; $\Delta\tau$ – продолжительность варьирования T пробы на ΔT , с; $M_{\text{обр}}$ – масса пробы, кг.

6) Величина насыпной плотности сухого измельченного материала определялась следующим образом. Сухая измельченная печень, имеющая влажность на уровне 5%, всыпалась в мерный сосуд, до риски, обозначающей объемом 100 мл, затем взвешивалась тара вместе с материалом, а так как масса тары величина известная, то за ее вычетом находилась масса навески, отношение которой к известному объему и давала необходимый результат.

7) Для определения диэлектрических свойств исследуемого рыбного субпродукта применялась измерительная установка с использованием метода резонаторных возмущений на частоте 2,45 ГГц, принципиальная схема которой представлена на рисунке 3.15. Установка для оценки диэлектрических характеристик включает в себя микроволновой анализатор, состоящий из генератора микроволнового излучения, приемного устройства и системы сбора данных с интерфейсом USB, а также открытый коаксиальный зонд, выполненный из высококачественной нержавеющей стали. Полипропиленовые трубки, диаметром 12 мм и высотой 75 мм, использовались для размещения в них исследуемого материала постоянного объема в соответствующую полость. Исходя из определенной резонансной частоты и объемных долей пустой и заполненной полости, комплексная диэлектрическая проницаемость была рассчитана с помощью прилагаемого программного обеспечения (Measurement Kit, Vials v3.01).

8) Опытные серии по обезвоживанию ПСО проводились посредством микроволновой установки Samsung MS23J5133AT/BW с предельной мощностью (N) 800 Вт при частоте (f) 2450 МГц. Предварительно замороженную ПСО выдерживали при комнатной T в эксикаторной емкости до повышения T не более 5 °С. В дальнейшем навеску ПСО массой 40...45 г подвергали обезвоживанию с использованием СВЧ при мощности энергоподвода N , равной 90, 180, 270 и 360 Вт. При этом увеличение мощности выше указанных значений способно вызвать критические изменения, связанные с термической обработкой ПСО. В процессе вакуумной сушки образец периодически взвешивали по мере влагоудаления с интервалом 180 с для $N = 90$ Вт, 120 с для 180 Вт, 60 с для 270 и 360 Вт. Обезвоживание завершали при W равной примерно 5%. T сухой ПСО охлаждали в

эксикаторной емкости и упаковывали в полиэтиленовые пакеты. Каждый опыт пятикратно дублировался, а по средним W построили кривые обезвоживания, как зависимость W от времени сушки. Кинетические закономерности влагоудаления выявляли посредством методов планирования опытных серий при соблюдении технологических лимитов и статистической обработки эмпирических результатов.

9) Количественное определение микроэлементов и тяжелых металлов в печени сома осуществлялось с использованием спектрофотометра «Hitachi» (Япония) с графитовой кюветой для анализа арсена, кадмия и свинца, а также пламенного спектрографа «Nippon Larrel Asp» для комплексного спектрального анализа элементов. В качестве образцов использовалась размороженная печень сома, хранение которой осуществлялось при $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ не дольше месяца, причем высушенная ПСО при $W < 6\%$ хранилась при низких T не дольше 6-и месяцев.

10) Общее содержание липидов в печени сома определялось посредством следующей процедуры: навеску пробы ПСО массой 2 г помещали в коническую колбу объемом до 100 мл, после чего добавляли 10 мл бензиновой или дихлорэтановой фракции. Емкость герметично закрывали корковой пробкой и повторно взвешивали для точного определения массы растворителя. Экстракция липидной фракции осуществлялась в течение 1 часа при периодическом встряхивании смеси пробы и растворителя с целью обеспечения максимальной экстракции. Далее полученную композицию подвергают фильтрации через фильтровальную бумагу, а фильтрат переливают в сухую емкость, предварительно взвешенную. Взвесив емкость с фильтратом, находят его массу. Далее растворитель отгоняют, к примеру, на песочной бане, а остаток обезвоживают при $100\dots 105\text{ }^{\circ}\text{C}$. После этого емкость с липидной фракцией охлаждают в эксикаторной емкости и взвешивают. Доля липидной фракции x , %, рассчитывалась по формуле:

$$x = \frac{GG_1}{(G_2 - G_1)g} \cdot 100,$$

где массы G – растворителя; G_1 –липидов; G_2 –фильтрата; g – пробы ПСО, г.

11) Исследование аминокислотного состава белка содержащего печени сома как в сухом, так свежем технологическом состоянии проводилось следующим образом. Белок из обезжиренных проб рыбной печени гидролизовали 6 М

раствором соляной кислоты 24 часа при 110°C в сушильном шкафу BINDER RE 53 (BINDER GmbH, Германия). Полученные гидролизаты были изучены методом ионообменной хроматографии с применением постколоночной дериватизации на аминокислотном анализаторе Sykam S433 (Sykam GmbH, Германия) в ступенчатом режиме двух Na-цитратных буферов в соответствии с инструкцией производителя. В процессе хроматографического анализа расход элюента составил 0,45 мл/мин, нингидрина – 0,25 мл/мин, температура колонки – 60°C. Использовали колонку для ионообменной хроматографии (модель ТВЕС.414538.005-01) 4.6 x 150 мм, заполненную катионообменной смолой с размером частиц 7 мкм. В качестве образцов использовалась размороженная печень сома, хранение которой осуществлялось при -25 °C не дольше месяца, а сухая ПСО при $W < 6\%$ хранится при низкой T не дольше 6 месяцев.

12) Идентификация и количественный анализ витаминных комплексов, включая А и Е, проводились с использованием высокоэффективной обращенно-фазной жидкостной хроматографии в соответствии с требованиями ГОСТ 32043 – 2012 «Методы определения витаминов А, D, Е. Основная методологическая процедура заключалась в экстракции указанных витаминов из исследуемого образца с применением изопропилового спирта в качестве экстрагирующей среды, с последующим точным определением их содержания посредством хроматографического анализа. Кроме того, в анализируемых пробах дополнительно оценивалась их антиоксидантная активность по методике Глевинда, основанной на взаимодействии с устойчивым свободным радикалом α -дифенил- α -пикрилгидразина (DPPH) в качестве субстрата. При этом эталонным антиоксидантом являлся дипептид карнозин (антиоксидант средней силы), обладающий умеренной антиоксидантной способностью.

2.3 Математическая обработка полученных результатов

1) С целью нахождения коэффициента теплоотдачи α в неограниченном пространстве при свободной конвекции традиционно применяют соотношение в обобщенных переменных (безразмерных критериях): $Nu = B \cdot (Gr \cdot Pr)^n$, где Nu , Gr , Pr – числа Нуссельта, Грасгофа и Прандтля, а B и n коэффициенты, получаемые опытным путем для определенных условий физического подобия, величины которых присутствуют в теплофизических справочниках, в частности, произведение Gr и Pr . Погрешность нахождения Нуссельта в таком варианте находится в пределах 10...15%. Для уменьшения погрешности целесообразно корректировать известные зависимости для конкретных условий теплообмена.

2) Математическая модель совместного тепло- и массопереноса под воздействием МВ излучения, преобразованная и построенная, опираясь на положения и допущения, обоснованные в работах профессора И.Ю. Алексаняна, является результатом совмещения дифференциального уравнения переноса тепловой энергии и опытного соотношения влагопереноса. Для нахождения нестационарных полей концентраций в тонком слое рыбного сырья дифференциальное уравнение, адаптированное к объекту сушки посредством принятых условий однозначности, решали известным численным методом конечных разностей, основанным на аппроксимации производных функции разностными аналогами. При этом непрерывная задача трансформируется в дискретную по разностной схеме и состоит в решении системы линейных или нелинейных соотношений.

3) Статистическая обработка экспериментальных данных велась по следующему алгоритму: результаты замеров табулируются и находится средняя величина замера из 5 дублей опыта; находятся значения единичных отклонений, а также их значения во второй степени, рассчитываются среднеквадратичные отклонения при исключении явных промахов; рассчитываются среднеквадратичные отклонения среднего значения; находятся критерий Стьюдента при доверительной вероятности 0,95; выявляются погрешности замеров

их относительной ошибки.

4) Программные продукты являются неотъемлемой частью современных исследований в различных сферах. Они не только ускоряют процессы обработки, но и облегчают трудоемкие процессы анализа данных и помогают качественно визуализировать результаты исследований. В исследовании, для решения алгебраических и дифференциальных уравнений, вывода таблиц и графиков, при анализе полученных результатов, использовались следующие программные продукты: MathCAD, Microsoft Excel, Graph и Measurement Kit.

2.4 Схема диссертационного исследования

Как правило, в законченном диссертационном исследовании реализуется не единичный метод, а целый комплекс взаимообусловленных методик, дополняющих друг друга в плане выявления механизмов изучаемых процессов, что позволяет всесторонне изучить и проанализировать поставленную научно-практическую проблему. Очевидно, что выбранные методы должны быть логично скомпонованы в единый алгоритм исследования, опирающийся на системный подход к решению поставленных задач, обуславливающий целостность всего диссертационного исследования.

Данное исследование связано с переработкой ПСО, служащей одной из главных составляющих субпродуктов рыбного происхождения и представляющей интерес с коммерческой точки зрения, как источник ценных веществ. За счет исследования технoхимической характеристики обрабатываемого и высушиваемого сырья, разработки рациональных режимных параметров управления процессом влагоудаления, а также его аппаратного оформления, вырабатывается порошковый рыбный продукт высокого качества с заданными

органолептическими, физико-химическими и структурно-механическими показателями. На рисунке 2.2 представлена схема диссертационной работы, посвященной научному обоснованию технологии и технических решений сушки рыбной печени, являющейся одной из составляющей отходов.

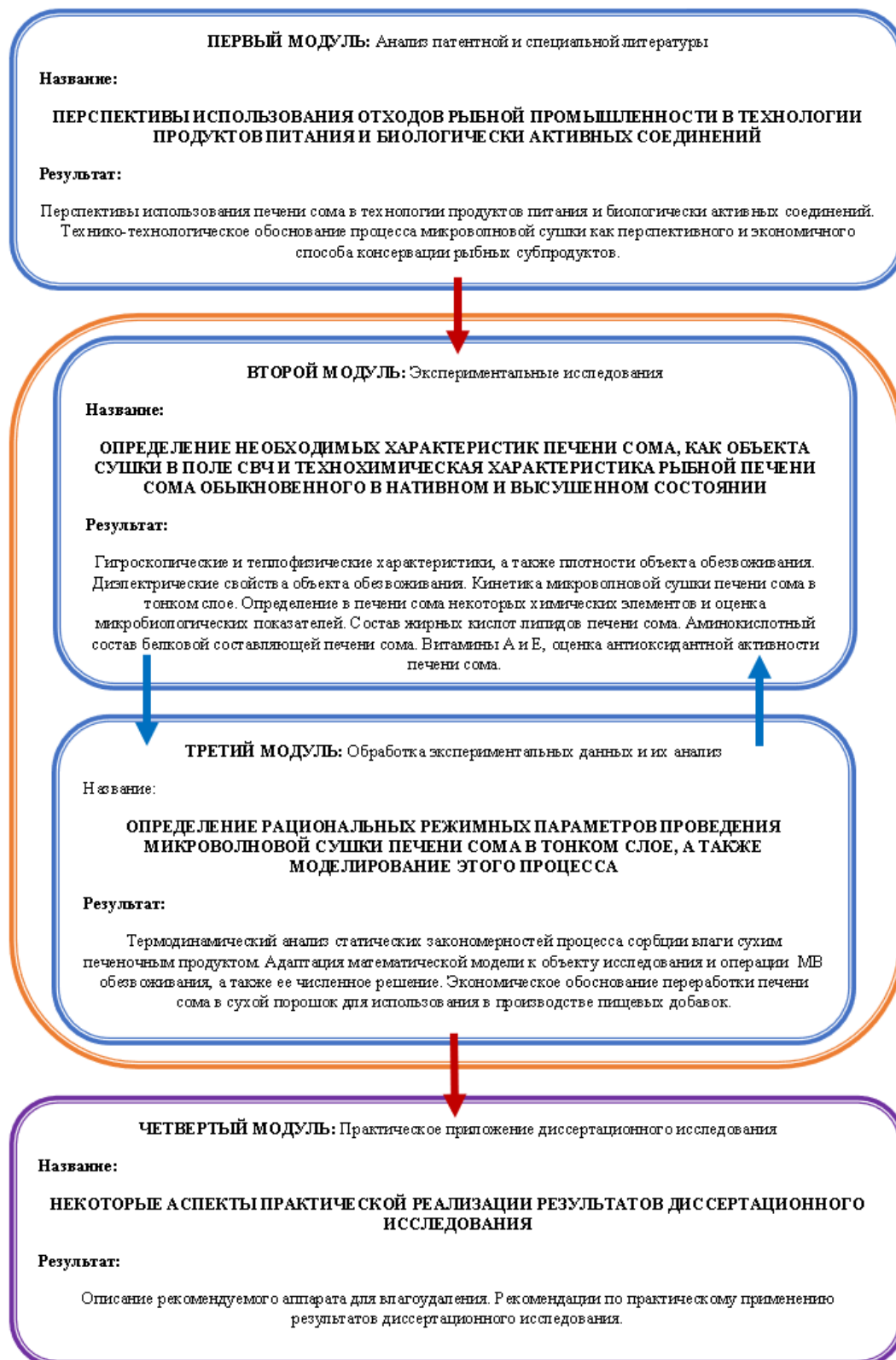


Рисунок 2.2 – Схема диссертационного исследования

ГЛАВА 3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕОБХОДИМЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕЧЕНИ СОМА, КАК ОБЪЕКТА СУШКИ В ПОЛЕ СВЧ

Все преимущества сухих натуральных продуктов из различного пищевого сырья, в том числе и рыбной природы, обусловлены их физико-химическими параметрами, которые влияют на качественные показатели высушенных материалов, определяют скорость и специфику внутреннего тепло- и влагопереноса и обмена на границе фазового раздела при сушке, ее рациональных режимов для термолабильных продуктов, а также ее моделирование невозможны без учета структурных, оптических при СВЧ обработке и теплофизических (ТФХ) характеристик ПСО.

3.1 Экспериментальное исследование гигроскопических и теплофизических характеристик, а также плотности объекта обезвоживания

Условия динамического равновесия между образцом и контактирующей с ним паровоздушной средой устанавливаются, когда параметры двухфазной системы стабилизируются в процессе влагообмена при постоянных внешних влияющих факторах. В таком случае W образца обусловлена энергией связи влаги с сухим остатком в нем, а также T и φ над его поверхностью. Изотермическая кривая сорбции или десорбции (ИС) является зависимостью между W_p и φ при $T = const$ в системе. Такая закономерность не имеет корректного теоретического математического описания, поэтому ее выявляют эмпирически [65].

Вода в продуктах пищевого назначения является их существенной составляющей, отвечающей за структурную организацию, консистенцию, биохимические и микробиологические преобразования и, как следствие изменение стабильность при хранении сухого материала. Существуют прямые и косвенные, по количеству сухого вещества после влагоудаления, электропроводимости, диэлектрической проницаемости, степени преломления излучения др., методы нахождения W [3, 40, 41].

В таблице 3.1 и показаны эмпирические данные по нахождению W ПСО [Приложение 3].

Таблица 3.1 - Данные по нахождению W ПСО при разной массе рыбы

Наименование	W в ПСО, %					Среднее
	1	2	3	4	5	
Сом, весом 0,54 кг	68,12	67,53	67,69	68,21	67,60	67,83
Сом, весом 0,89 кг	67,92	69,24	68,73	68,54	71,27	69,14
Сом, весом 1,19 кг	66,89	68,44	68,15	67,53	68,04	67,81
Среднее значение						68,26

Анализ данных, приведенных в таблице 3.1, демонстрирует, что вариации веса выловленной рыбы в диапазоне от 0,5 до 1,2 кг не оказывают значимого воздействия на влажностный показатель печени, извлеченной из сома в процессе разделки. Следовательно, учитывая отсутствие существенной корреляции, дифференцированное распределение внутренних органов по массе рыбы представляется нецелесообразным с методологической и практической точек зрения.

Гигроскопические параметры (ГП) ПСО выявлялись тензометрическим методом [65, 3, 41, 54, 82, 20].

W_p находилась по описанному во второй главе соотношению, как:

$$W_0 = \frac{G_2 - G_1(1 - W_{обр})}{G_2}, \quad (3.1)$$

Исследование ГП служит для характеристики ПСО и выбора ее W для хранения в сухом виде [65, 41, 82].

При выявлении статических закономерностей и построении ИС учтен тот факт, что [3, 41, 54, 82, 20] в опыте активность воды A_w и φ идентичны по причине выравнивания парциального P пара над образцом и в среде эксикаторной емкости при равновесных условиях. По окончании опытной серии построены изотермические кривые сорбции ПСО при 298К и 313К, показанные на рисунках 3.1, 3.2. Эмпирические данные, полученные в ходе экспериментов приведены в [Приложение И] и [Приложение К] соответственно. Как видно, особенно в полулогарифмической координатной сетке, ИС можно разбить на 3 стадии (рис. 3.3, 3.4).

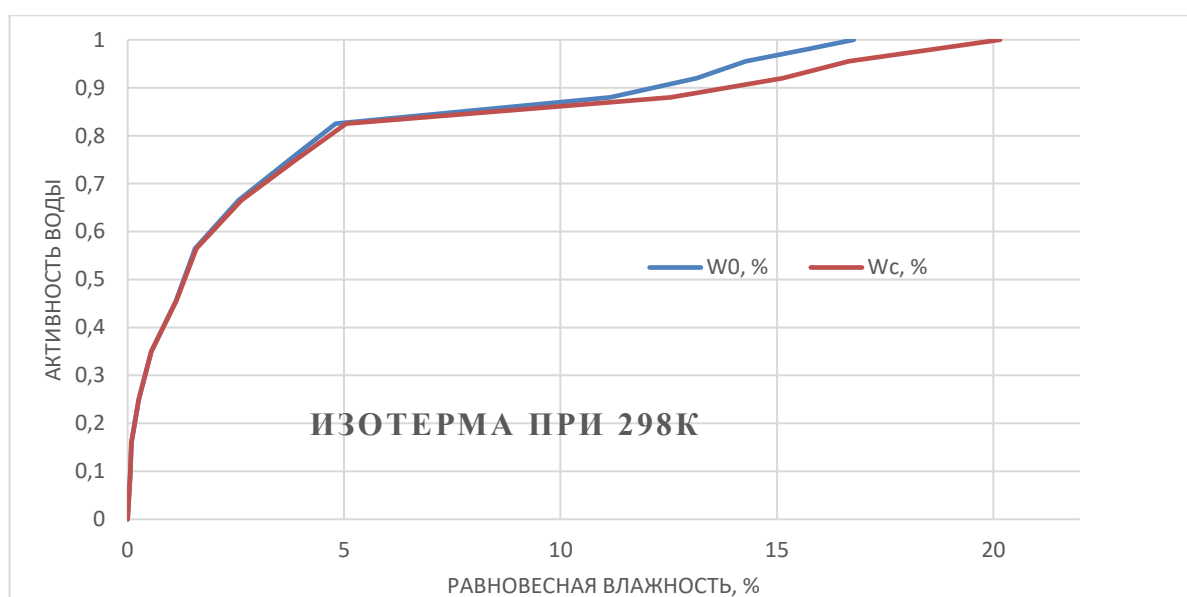


Рисунок 3.1 – Изотермическая кривая сорбции при 25 °C (298 К):
 W_0 – влажность ПСО; W_c – ее влагосодержание по отношению к сухому остатку

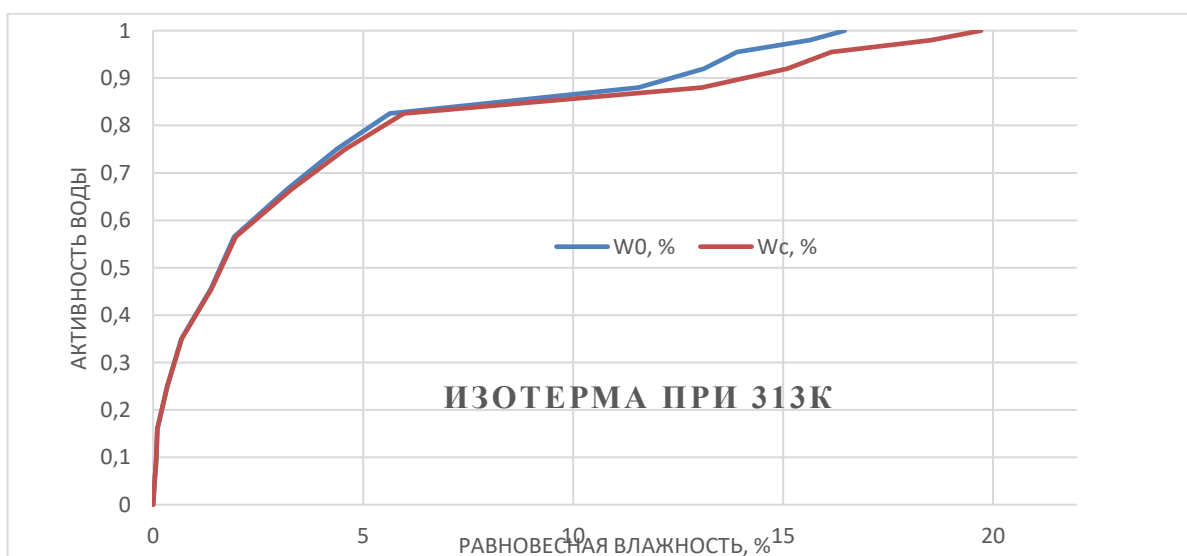


Рисунок 3.2 – Изотермическая кривая сорбции при 40 °C (313 К)

Анализ изотерм, представленных на рисунка 3.1 и 3.2 показывает, что при температуре 40 °С процентное конечное содержание сорбируемой влаги в исследуемом сырье снижается по сравнению с изотермой, построенной при 25°С, т.е. с 16,77% до 16,47%. Наблюдаемое явление вполне объяснимо, т.к. физическая сорбция, как любой экзотермический процесс, в целом ухудшается с ростом температуры [27].

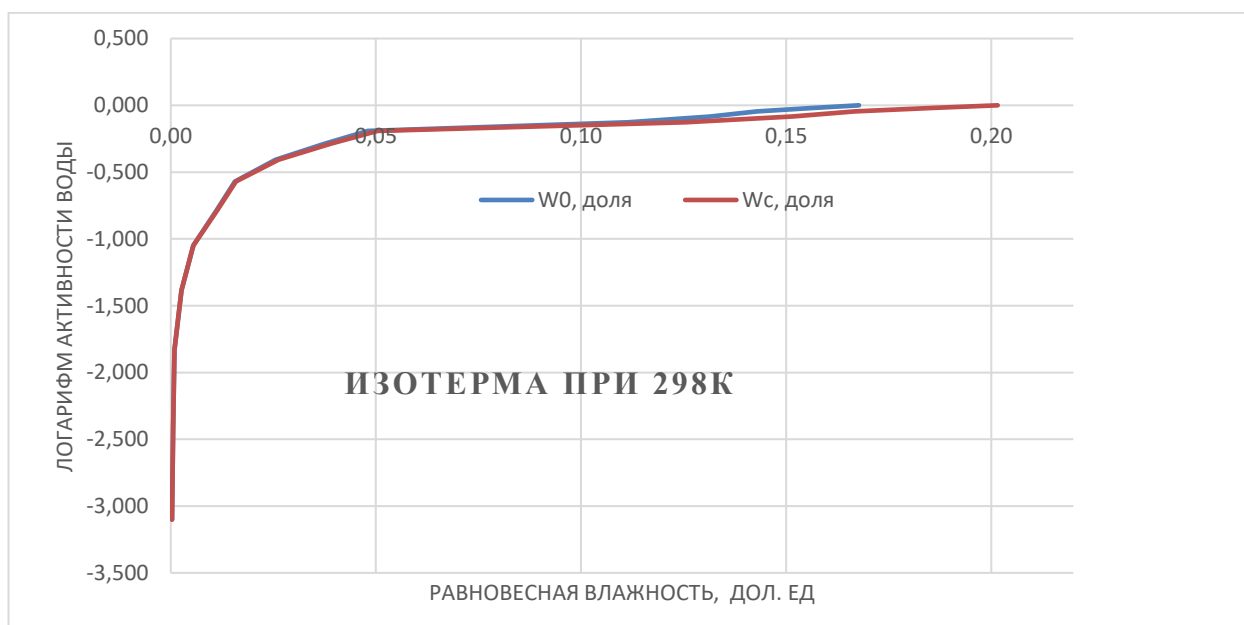


Рисунок 3.3 – ИС при 25 °С в полулогарифмической сетке

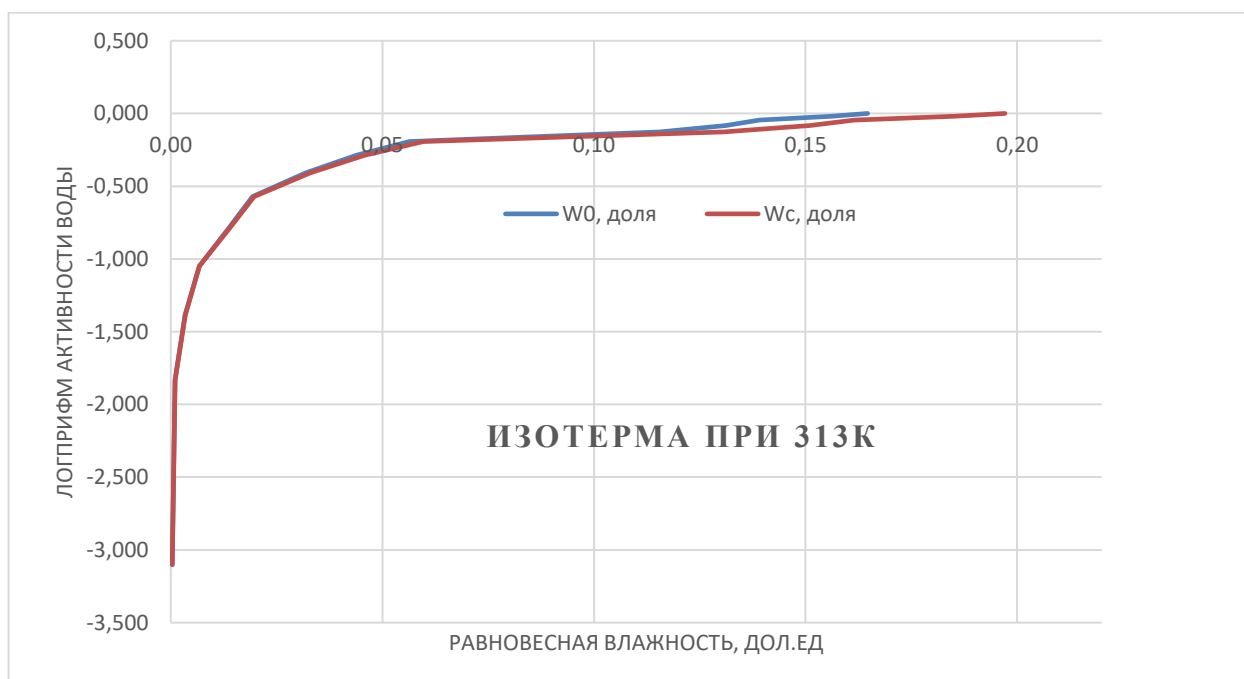


Рисунок 3.4 – ИС при 40 °С:

На ИС (рис. 3.3, 3.4) просматриваются точки перегиба, обуславливающие видоизменение сорбционного механизма. На рисунке 3.3 эти точки соответствуют

значениям равновесной влажности 0,54% и 3,75%, а на изотерме (рис 3.4) – 0,67% и 4,38%, что позволяет разбить их на три участка.

Оценка состояния влаги в исследуемом материале и связанных с ним параметров массопереноса осуществляется посредством анализа адсорбционных процессов, протекающих на границе раздела фаз «влажный воздух – твердое тело». Современное обобщение и систематизация знаний в данной области опирается на положения молекулярно-адсорбционной теории, которая служит фундаментом для понимания механизмов взаимодействия влаги с поверхностью твердых тел [3, 54, 12]. Она предусматривает 5 типов ИС. ИС 1-го типа соответствуют линейному соотношению между концентрацией сорбированного вещества и давлением, что характерно для сорбции газа при условии подчинения процесса поглощения закону Генри. Второй тип изотерм отвечает системам, в которых образуется лишь мономолекулярный слой адсорбированного на поверхности сорбента вещества. Изотермы третьего типа характерны для такой полимолекулярной адсорбции, при которой энергия взаимодействия молекул сорбента и сорбата (E) выше энергии взаимодействия молекул сорбата между собой (E^ξ), т.е. $E > E^\xi$. Четвертый тип изотерм соответствует полимолекулярной адсорбции в случае, если $E < E^\xi$, а пятый тип – в случае если $E \ll E^\xi$ [79]. В варианте ПСО ИС относятся к III-му виду, характерному для белковых биополимеров, что обусловлено тем, что при сорбции при перманентном росте φ наблюдается адсорбция водных молекул на активных протеиновых центрах и по этой причине организуются грозди молекул, что определяет трансформацию макромолекулярных протеиновых структур при развороте глобул или смещении боковых цепочек. В итоге освобождаются новые центры, связывающие добавочные молекулярные порции. Вода при этом способствует формированию водородные связи с гидроксильными группами, что дает возможность объекту изучения, в частности, за счет E при $W_0 \leq 0,54\%$, (рис. 3.3) не зависеть от T до 1-ой характерной первой точки на ИС.

Макромолекулярные конформационные трансформации обусловлены существенным уровнем необратимости, о чем свидетельствует повышенная W ПСО при поглощении влаги в рамках $0,54 \leq W_0, \% \leq 3,75$ (рис. 3.3). На данной

стадии происходит накопление адсорбированной влаги, сопровождаемое тепловыми молекулярными колебаниями, нарушающими конформацию протеиновых цепей, которые переходят в энергетически более стабильные состояния. Водные молекулы при этом еще не ориентированы пространственно, что обуславливает развитие полимолекулярной адсорбции. По мере дальнейшего проникновения, вода проникает в межмолекулярные поры сорбента, вызывая его набухание за счет теплового движения молекул. При значениях влажности в диапазоне при $3,75 \leq W_0, \% \leq 16,77$ осуществляется свободное движение мономерных протеиновых остатков, связанных в цепи с поверхностными гидратными прослойками, что уменьшает E в сорбенте.

На 1-ой из обозначенных стадий адсорбируется мономолекулярный слой, который сильно связан с сухим скелетом, что минимизирует микробиологическую активность. По этой причине для обезвоженного ПСО за итоговую W (5%) в рамках $3,78 \leq W_0 \leq 4,38$ (рис. 3.3, 3.4). На ИС явно просматриваются переходы от одной стадии к другой, что обусловлено превалированием того или иного характера связи воды с сухим скелетом ПСО, то есть адсорбционного, структурного и др.

В работе Филоненко Г.К. и др. [82] рекомендован подход к математической интерпретации ИС, посредством 2-х соотношений. На ИС при 25 °С (рис. 3.3) выделяют первый участок – от W_0 до W_m и 2-ой – от W_m и далее. W_0 на ИС свидетельствует о том, что переход от мономолекулярной к полимолекулярной адсорбции. W_0 соответствует 1-ой точке перегиба. Влага монослоя до этой точки не удаляется при обезвоживании и, как следствие не подлежит математическому описанию. W_m является переходной от адсорбционной к капиллярной и структурной связи (рис. 3.5).

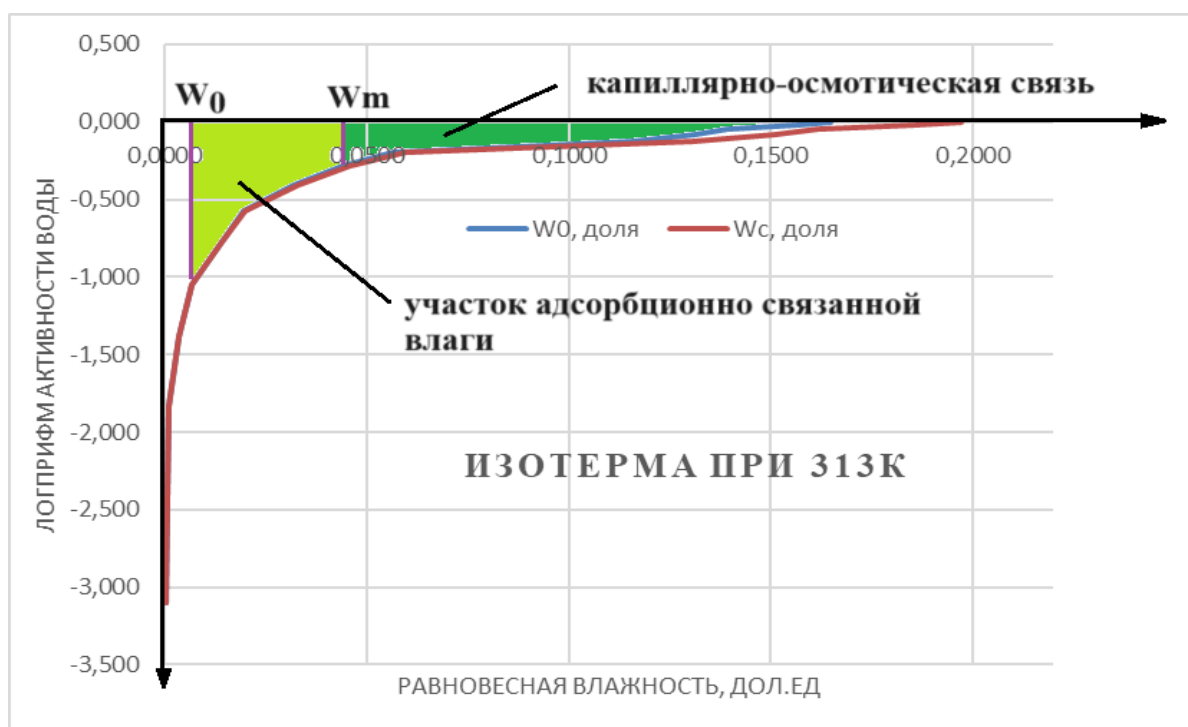


Рисунок 3.5 – Выделение стадий обезвоживания

Отметим, что ρ ПСО в рамках T от 5 до 25 °С меняется малозаметно и по этой причине ее варьированием можно пренебречь [19, 9, 34].

В процессе сушки ρ меняется линейно ввиду ее аддитивности в зависимости от W , поэтому определяем ее величину только для сырой и высушенной ПСО при W , равной 68 и 5%.

Опытные данные по ρ сведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 - ρ сырой и высушенной ПСО

Наименование	ρ , кг/м ³
Сырая печень из сома, имеющего влажность 68%	1036±4
Порошок, полученный методом микроволновой сушки сырой печени, имеющий влажность 5%	746±3

На рисунке 3.6 показана закономерность варьирования ρ ПСО при T в рамках 5...25 °С.

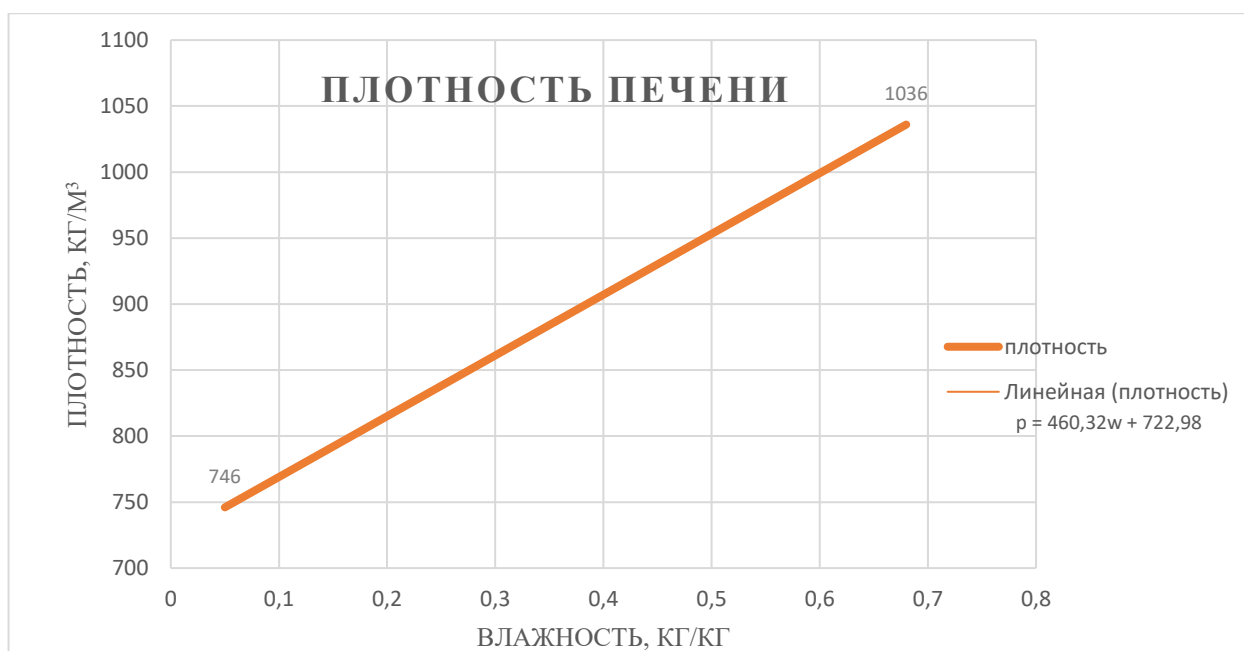


Рисунок 3.6 – Закономерность варьирования ρ ПСО при T в рамках 5...25 °С

Кривая плотности, представленная на рисунке 3.6, линейно аппроксимирована для диапазона влажности: $0,05 \leq W \leq 0,68$ кг/кг. Полученная аппроксимация сохраняет свою достоверность и применяется в интервале температур от 5 °С до 25 °С.

$$\rho = 460,32W + 722,98. \quad (3.2)$$

Выявление ТФХ проводили на опытном стенде, показанном на рисунке 3.7.

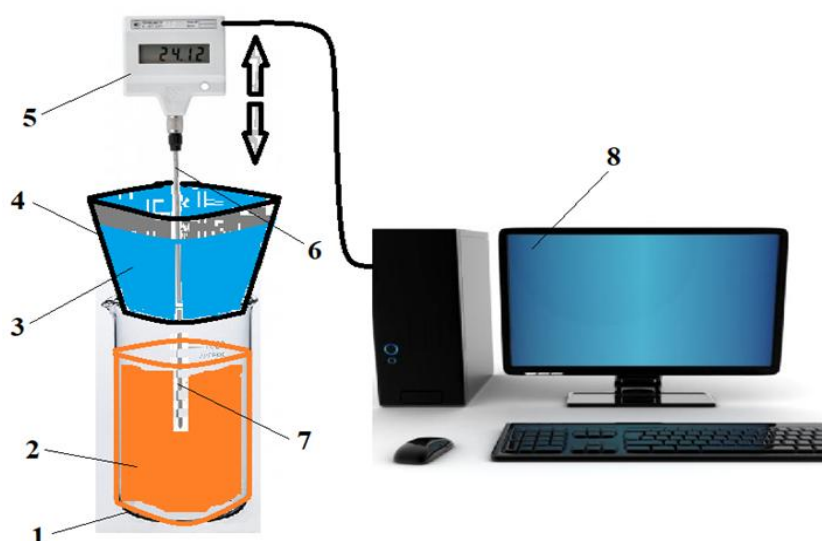


Рисунок 3.7 – Схема опытного стенда:

1 – стакан для исследуемого материала; 2 – материал, имеющий температуру внешней среды; 3 – вода со льдом для поддержания низкой температуры, близкой к 0°С; 4 – бумажный стакан; 5 – ЛТ-300; 6 – шуп измерительный в начальном положении; 7 – шуп измерительный в конечном положении; 8 – ЭВМ с программой ThermoChart

ТФХ ПСО в рамках от 5°C до 25°C меняется малозаметно и по этой причине ее варьированием можно пренебречь и найти их зависимость лишь от W . Детально определение ТФХ для ПСО приведено в [Приложении Л] и в [Приложении М]. Для нативной ПСО с W , равной 68% и 45% были получены следующие средние значения ТФХ, которые приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 - Опытные данные по ТФХ ПСО

$W, \%$	$c_M, \text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$	$a \cdot 10^7, \text{м}^2/\text{с}$	$\lambda, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$
68	3660	1,129	0,4280
45	2780	1,061	0,2740

В рамках $0,05 \leq W \leq 0,68$ кг/кг варьирование c_M ввиду ее аддитивности можно считать линейным, поэтому достаточно знать ее величину при двух W в отличие от не аддитивной λ , эмпирические значения которой в крайних и промежуточной точках по W аппроксимированы параболической зависимостью. Величины λ для промежуточной и исходной W приведены в таблице 3.3, а ее величина для итоговой W можно воспользоваться справочными данными [21].

Отметим, что a определяется, как $a(W) = \frac{\lambda(W)}{c_M(W)\rho(W)}$ [21].

c_M ПСО определяли посредством опытного стенда, показанного на рисунке 3.8.

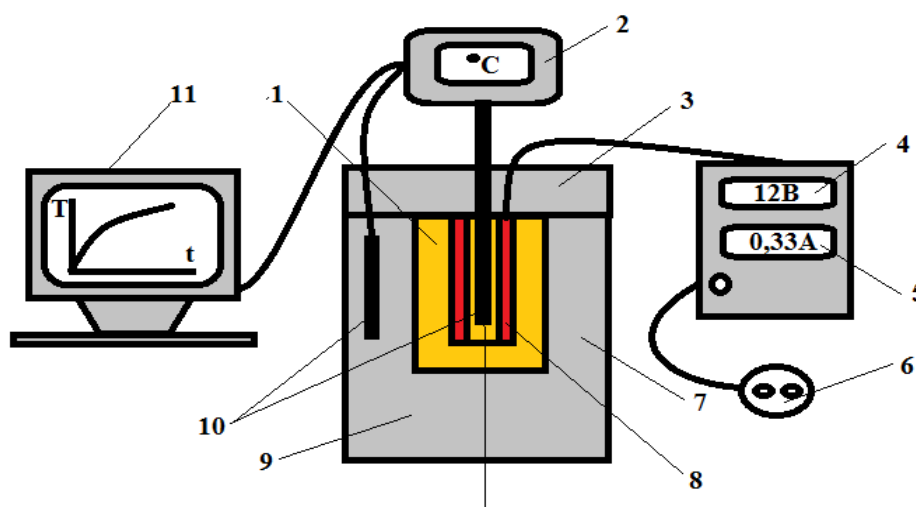


Рисунок 3.8 – Принципиальная схема опытной установки для определения теплоемкости жидких и приближенным к ним материалов:

- 1 – исследуемый материал; 2 – дисплей термодатчика; 3 – крышка калориметра; 4 – вольтметр; 5 – амперметр; 6 – источник питания; 7 – калориметр (термос); 8 – электронагреватель; 9 – теплоизоляционный материал; 10 – термопары; 11 – ЭВМ.

Опытные данные по c_M сведены в таблице 3.4. c_M ПСО за рамками и внутри выбранного диапазона можно найти путем экстра и интерполяции.

Таблица 3.4 - Опытные данные по c_M ПСО

$W, \%$	$c_M, \text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$
68	3660 (табл. 3.3)
60	3374
55	3256
50	3103
45	2780 (табл. 3.3)

На рисунке 3.9 показана закономерность варьирования c_M при T от 5 до 25°C W от 0,05 до 0,68 кг/кг.

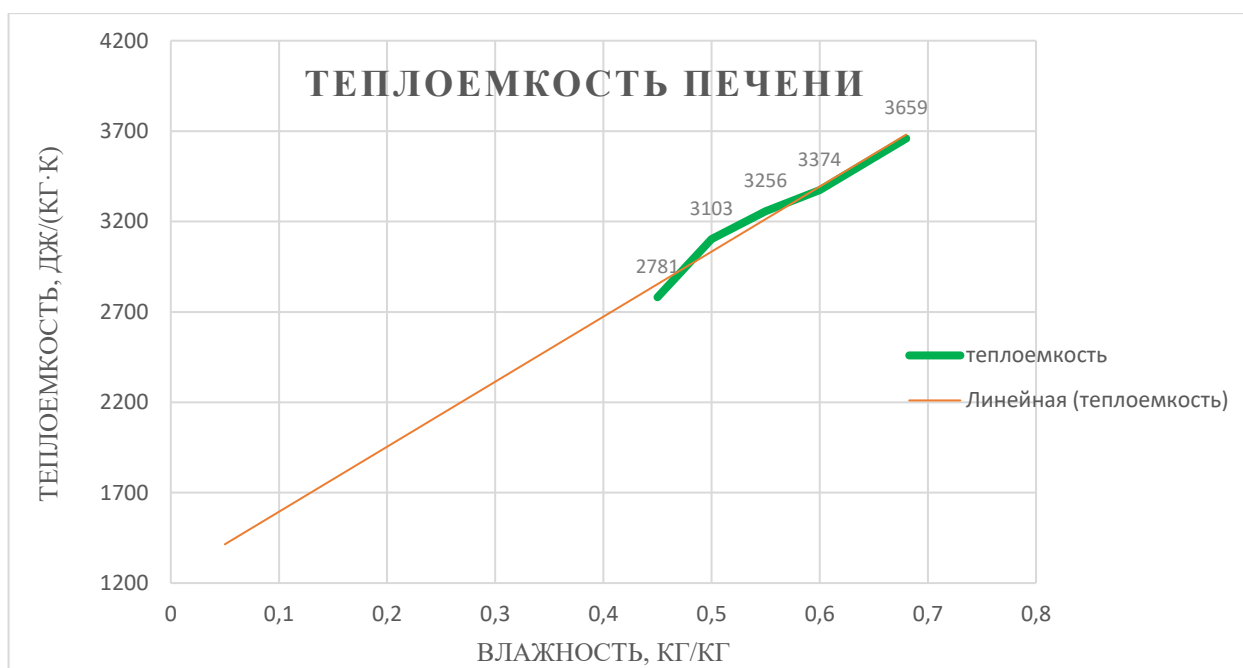


Рисунок 3.9 – Закономерность варьирования c_M при T от 5 до 25°C

Закономерность на рисунке 3.9 в рамках $0,05 \leq W \leq 0,68$ кг/кг описана, как:

$$c_M = 3596,5W + 1234,9 \quad (3.3)$$

Изучив справочные данные по продуктам рыбного происхождения [21] можно прийти к заключению о том для высушенного ПСО отклонение величин λ не существенно в зависимости от способа обезвоживания – от 0,035 при сублимационной сушке до 0,115 Вт/(м·К) при конвективном влагоудалении. Для ПСО при МВ сушке примем λ , равную 0,110 Вт/(м·К) ближе к конвективному

влагоудалению, что обусловлено большой пористостью и долей воздуха с меньшей λ у сублимированных материалов. Зная λ ПСО при W , равных 68%, 45% и 5% можно выявить и математически описать закономерность варьирования λ в зависимости от W .

На рисунке 3.10 показана данная закономерность при T в рамках от 5 до 25 °С.

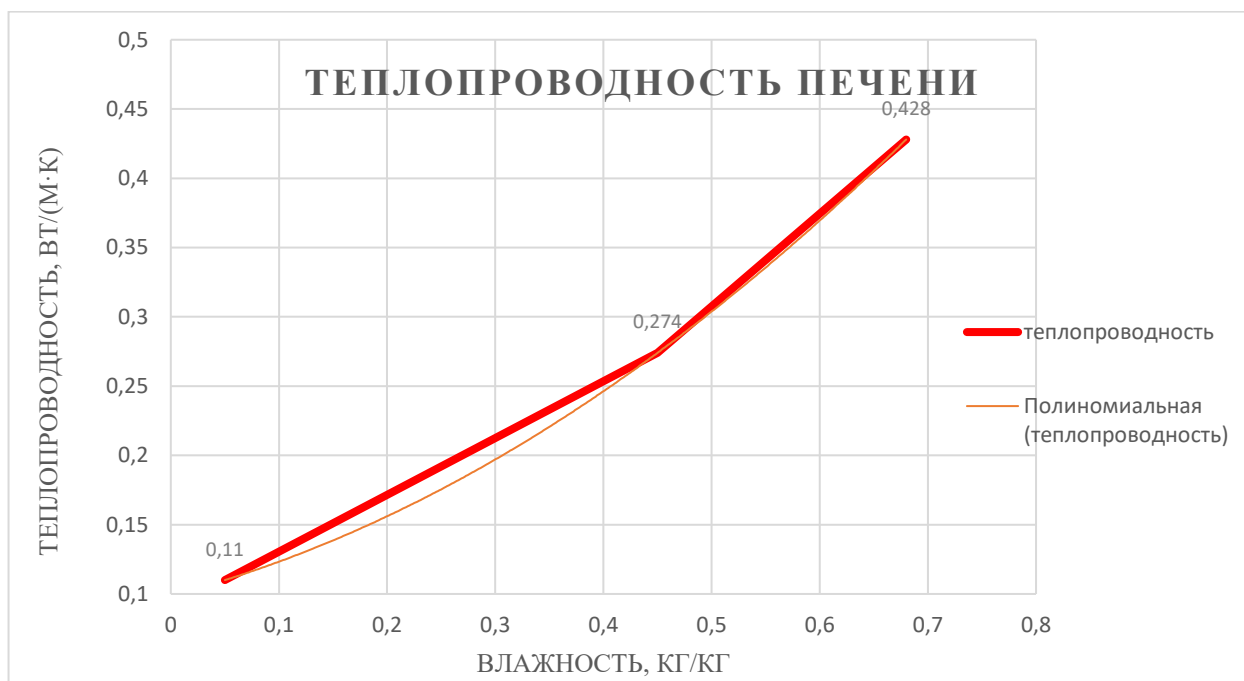


Рисунок 3.10 – Закономерность варьирования λ в зависимости от W

Математическая интерпретация данной закономерности выглядит, как:

$$\lambda = 0,412W^2 + 0,204W + 0,0988 \quad (3.4)$$

Как указывалось выше, a с учетом (3.2, 3.3, 3.4) определяют, как:

$$a(W) = \frac{\lambda(W)}{c_M(W)\rho(W)} \quad (3.5)$$

На рисунке 3.11 показана данная закономерность при T в рамках от 5 до 25 °С.

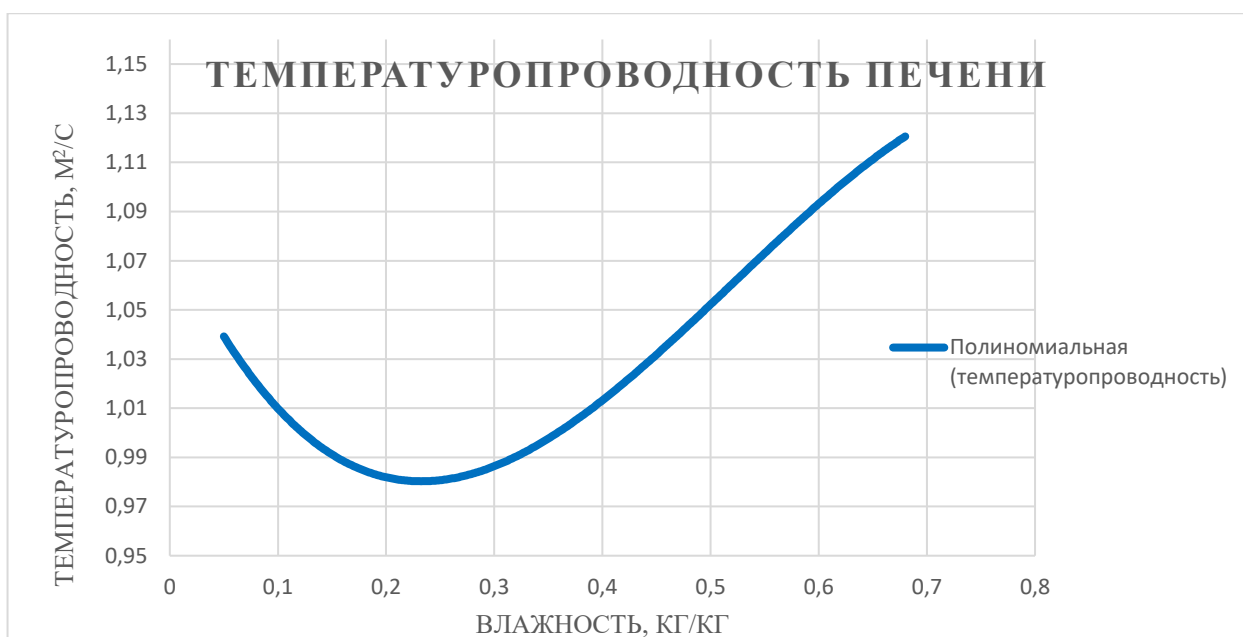


Рисунок 3.11 – Закономерность варьирования a в зависимости от W

Кривая зависимости, a от W , построенная по уравнению 3.5, для удобства использования математически описана полиномом третьей степени для диапазона влажности: $0,05 \leq W \leq 0,68$ кг/кг и справедлива в интервале температур от 5°C до 25°C :

$$a = -1,6929W^3 + 2,6396W^2 - 0,9532W + 1,0805 \quad (3.6)$$

Таким образом, получены графические и математические зависимости плотности (3.2) и теплофизических характеристик (3.3, 3.4 и 3.6) печени сома от ее влажности в заданном температурном диапазоне, которые необходимы для выбора рациональных режимных параметров влагоудаления.

Для проведения дальнейших аналитических исследований требуются значения коэффициентов теплоотдачи α от продукта к воздуху, определение которых является весьма сложной задачей [28, 26]. При МВ сушке ПСО она взаимодействует с паровоздушной средой при ее естественной конвекции с T близкой к объекту влагоудаления от 60 до 100°C . При этом теплообмен между фазами негативно влияет на процесс сушки, вследствие отвода тепла от ПСО. Он описывается законом Ньютона-Рихмана, включающем α .

$$\alpha = \frac{Q}{F(t_c - t_{\text{ж}})}, \quad (3.7)$$

где Q – тепловой поток, Вт; F – контактная площадь, м²; t_c – для поверхности образца, °С; $t_{ж}$ – для внешней паровоздушной среды, °С.

С целью нахождения α используют (см. главу 2) соотношение:

$$Nu = B \cdot (Gr \cdot Pr)^n, \quad (3.8)$$

Варьирование произведения Gr и Pr приведены в таблице 3.5 [1, 86].

Таблица 3.5 - Эмпирические константы для уравнения 3.8

Пределы варьирования	Корреляционные соотношения для Nu
$(Gr \cdot Pr) < 10^4$	Отсутствие конвекции, $Nu = 0,5$
$10^4 \leq (Gr \cdot Pr) \leq 10^7$	$Nu = 0,54 \cdot (Gr \cdot Pr)^{1/4}$
$10^7 < (Gr \cdot Pr) \leq 10^{11}$	$Nu = 0,15 \cdot (Gr \cdot Pr)^{1/3}$

При выборе определяющего размерного параметра L в числах Nu и Gr используют ряд соображений [28]. В исследуемом варианте термообработки тепловоспринимающими служат внутренние поверхности стенок МВ печи, что определяет целесообразность выбора L как ее длину, так как при обезвоживании в тонком слое, она лимитирует воздействие МВ поля. Для обезвоживания при МВ облучении величина его воздействия варьируется в пределах от 0,25 до 0,60 метра, что обусловлено спецификой используемого типа магнетрона и отражает разнообразие параметров электромагнитного поля, формируемого данным источником.

Далее проиллюстрирована последовательность определения α в исследуемом варианте сушки ПСО с исходной $T = 10^\circ\text{C}$, плотно связанной с диэлектрической поверхностью.

1. Определяют из справочных данных физические параметры воздушной среды в заданном температурном диапазоне, например в интернет-источнике [81], скриншот страницы, где присутствует необходимая информация, представлена на рисунке 3.12.

Температура °С	Плотность, ρ кг/м ³	Удельная теплоёмкость, C_p кДж / (кг · К)	Теплопроводность, λ Вт / (м · К)	Кинематическая вязкость, ν (м ² / с) x 10 ⁻⁶
0	1,293	1,005	0,0243	13,30
20	1,205	1,005	0,0257	15,11
40	1,127	1,005	0,0271	16,97
60	1,067	1,009	0,0285	18,90
80	1,000	1,009	0,0299	20,94
100	0,946	1,009	0,0314	23,06

Температура °С	Коэффициент температурного линейного расширения, α (1 / К) x 10 ⁻³	Число Прандтля, Pr -
0	3,67	0,715
20	3,43	0,713
40	3,20	0,711
60	3,00	0,709
80	2,83	0,708
100	2,68	0,703

Рисунок 3.12 – Физические свойства воздуха при его различных температурах

2. Находим кинематическую вязкость η воздушной среды при определенной T :

$$\eta = \frac{\mu}{\rho}, \quad (3.9)$$

где μ – динамическая вязкость воздушной среды, Па·с; ρ – ее плотность, кг/м³.

3. Находим Gr , как:

$$Gr = \frac{9,81 \cdot \beta \cdot L^3}{\eta^2} \cdot \Delta t, \quad (3.10)$$

где β – показатель линейного расширения при росте T , 1/К;

4. Находим произведение Gr и Pr , по которому выбираемо соотношение для вычисления критерия Nu (табл. 3.5).

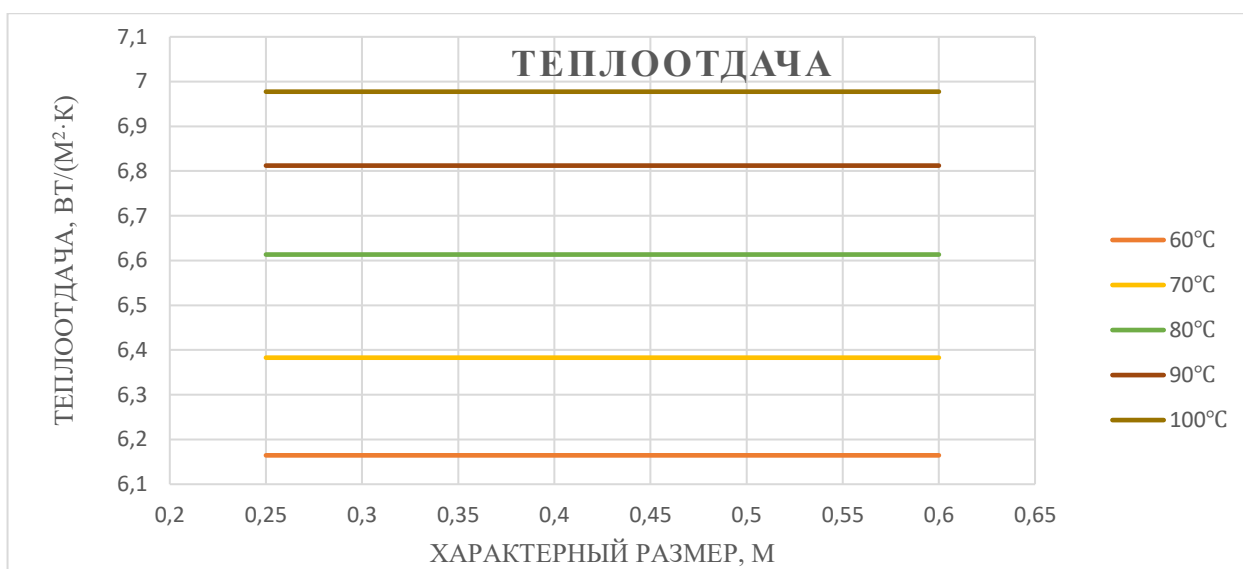
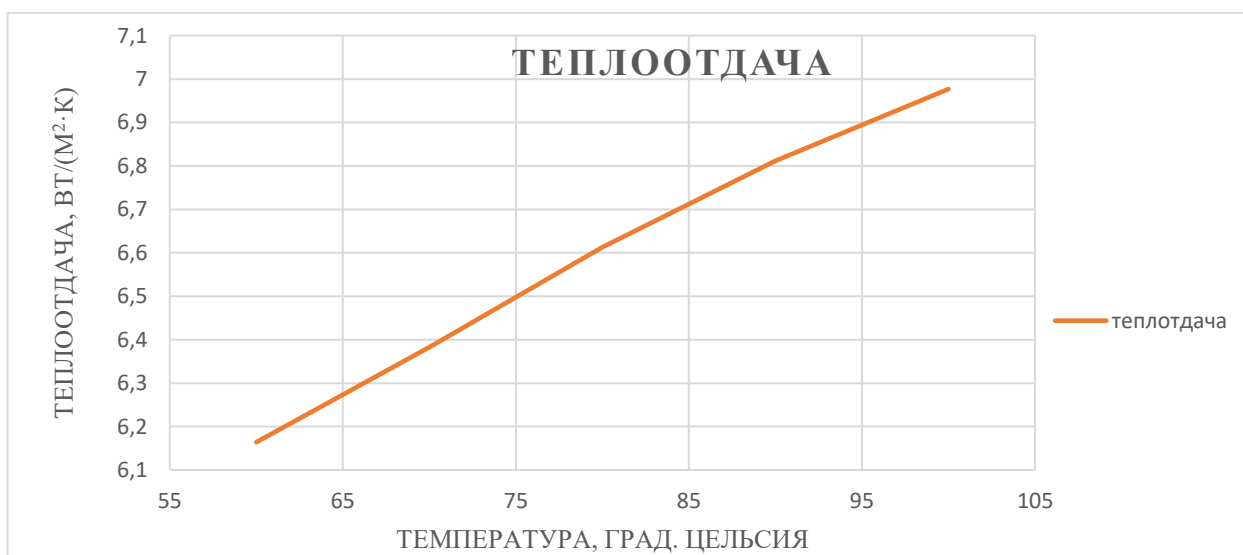
5. Определяем Nu .

6. Находим α , как:

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{L}, \quad (3.11)$$

где λ – для воздушной среды, Вт/(м·К).

Результаты определения α для ПСО показаны на рисунках 3.13, 3.14.

Рисунок 3.13 – Зависимость α для ПСО от L и T Рисунок 3.14 – Зависимость α для ПСО от T

Из приведенных зависимостей вытекает то, что α для ПСО практически не зависит от L при МВ сушке и обусловлен в основном T внешней среды.

3.2 Экспериментальное исследование диэлектрических свойств объекта обезвоживания

Помимо всесторонних исследований рациональных технологических условий процесса сушки с использованием микроволн, важно знать, как рассматриваемый объект обезвоживания взаимодействует с электромагнитным полем, в котором он подвергается его воздействию, чтобы обеспечить надлежащую конструкцию микроволнового генератора при промышленной реализации сушильной технологии. Данное взаимодействие описывается комплексной диэлектрической проницаемостью материала ε , Ф/м [114, 133], представленное следующими уравнениями:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r; \quad (3.12)$$

$$\varepsilon_r = \varepsilon_r' + i\varepsilon_r''; \quad (3.13)$$

$$\tan \delta = \frac{\varepsilon_r''}{\varepsilon_r'}. \quad (3.14)$$

В уравнении (3.12), ε_0 , (Ф/м) относится к диэлектрической проницаемости в безвоздушном пространстве, а ε_r – к комплексной диэлектрической проницаемости. Уравнение (3.13) описывает действительную составляющую комплексной диэлектрической проницаемости, то есть диэлектрическую проницаемость ε_r' , которая отражает энергию, аккумулируемую в материале при воздействии электрического поля. Мнимая же часть ε_r'' , умноженная на мнимую единицу $i\varepsilon_r''$ характеризует преобразование этой энергии в тепловую форму. Отношение мнимой части к действительной, выражаемое через тангенс угла диссипации $\tan \delta$ (3.14), служит ключевым параметром для оценки способности пищевой матрицы поглощать микроволновую энергию и эффективно рассеивать тепло молекулам окружающей среды. Именно данный показатель определяет эффективность микроволнового нагрева. Кроме того, $\tan \delta$ доказывает существенное влияние на величину глубины проникновения микроволновой мощности $d_{\text{пр}}$ (в метрах), которая определяется как расстояние, на котором энергетическая плотность снижается до значения $1/e$ от мощности, поступающей на поверхность обрабатываемого материала:

$$d_p = \frac{c}{2\pi f \sqrt{2\varepsilon_r' [\sqrt{1 + \tan^2 \delta} - 1]}} \quad (3.15)$$

где c – скорость света в вакууме, м/с; f – частота излучения, Гц.

Очевидно, что химический состав, физическая структура, частота излучения, температура и влажность влияют на большинство диэлектрических свойств (DP) пищевого сырья. Для исследуемой печени диэлектрическая проницаемость и проводимость в значительной степени зависят от содержания в ней влаги, при этом, конечно же, влияют частота МВ излучения, T , ρ и толщина слоя ПСО, которые варьируются при МВ обезвоживании по причине физических и биохимических преобразований, в частности, при варьировании W , T и доли солей, которые могут повлиять на его взаимодействие с диэлектрическим полем [133]. Таким образом, эти факторы необходимо учитывать при характеристике диэлектрических свойств исследуемого рыбного субпродукта, поэтому целью данного исследования является наблюдение прямого влияния температуры и влажности на DP выбранных рыбных отходов на частоте микроволнового излучения 2,45 ГГц.

Следует отметить, что частота работы микроволновой печи на уровне 2.45 ГГц выбрана не случайно, она рационально влияет на глубину прогревания пищевого продукта, основной составляющей которого является вода. Известно, что наилучшее поглощение электромагнитных волн водой происходило бы на частоте 20 ГГц, однако, глубина прогревания поверхностного слоя воды на этой частоте составляет менее чем 1 миллиметр, т.е. в этом случае нижние слои, например, супа оставались бы холодными, даже когда на поверхности влага из него уже активно испаряется. При взаимодействии же волн с частотой 2.45 ГГц с водой, коэффициент поглощения воды в 4 раза меньше, чем при падении волн с частотой 20 ГГц, зато глубина прогревания поверхностного слоя воды на этой частоте составляет 1,3 сантиметра, что позволяет нагревать больший участок блюда. Именно поэтому такая частота признана оптимальной [133, 64].

Анализ работ по исследованию DP для различных пищевых объектов показал, что для описания изменения диэлектрической проницаемости ε_r' , и ее мнимой части ε_r'' , в интервале температур от 60°C до 100°C и влажности от 95% до

5% можно применить линейную закономерность [133, 110, 111, 137, 96]. В процессе микроволновой сушки получается порошок из ПСО, при варьировании DP в течение операции обезвоживания в основном по причине варьирования W и T . В таком варианте достаточно найти опытным путем ε_r' , и ε_r'' для сырой и высушенной ПСО при линейной аппроксимации их зависимости между крайними величинами ε_r , отвечающими W , равной 68% и 5% в интервале T от 60 до 100 °С.

Для определения DP применялась установка для измерения диэлектрика с использованием метода резонаторных возмущений на частоте 2,45 ГГц, принципиальная схема которой представлена на рисунке 3.15. Устройство для измерения DP состоит из «микроволнового анализатора», состоящего из микроволнового генератора, микроволнового приемника и системы сбора данных USB, а также «открытого коаксиального зонда», изготовленного из высококачественной нержавеющей стали. Полипропиленовые трубки, диаметром 12 мм и высотой 75 мм, использовались для размещения в них исследуемого материала постоянного объема в соответствующую полость. Исходя из определенной резонансной частоты и известных объемных долей пустой и заполненной полости, комплексная диэлектрическая проницаемость была рассчитана с помощью прилагаемого программного обеспечения (Measurement Kit, Vials v3.01).



Рисунок 3.15 – Устройство для измерения диэлектрика

Для определения ε_r' , и ε_r'' у конечного сухого продукта, помещенного в измерительную полость, необходимо учесть, что он представляет собой смесь

сухих частиц с воздухом. Следовательно, измеренные данные необходимо было оценить с помощью уравнения смешивания воздуха и частиц, т.к. необходимо иметь надежные данные о характеристиках чистого сухого порошка. Основываясь на исследовании DP, представленное в источнике [133], можно использовать, предложенное в нем, комплексное уравнение смешения, которое подходит для изучаемой сухой печени:

$$\sqrt{\varepsilon_m} = x_1\sqrt{\varepsilon_1} + x_2\sqrt{\varepsilon_2}, \quad (3.16)$$

где ε_m относится к диэлектрическим свойствам воздушно-материальной смеси, ε_1 и ε_2 соответствуют воздушной ($\varepsilon_1 \approx 1$) и материальной фазам, а x_1 и x_2 относятся к их объемным долям в образце.

Преобразуем уравнение 3.16 с учетом, что $\varepsilon_1 \approx 1$ для сухого образца:

$$\varepsilon_r' = \left(\frac{\sqrt{\varepsilon_m} - x_1}{x_2} \right)^2. \quad (3.17)$$

Для выявления объемных долей x_1 и x_2 в сухой измельченной печени необходимо определиться со значением ее насыпной плотности ρ_n . Данный показатель является важной характеристикой дисперсных материалов и широко используется при расчетах структурных и объемных соотношений компонентов. Насыпная плотность учитывает не только объем частиц материала, но и пространство между ними, поэтому насыпная плотность гораздо меньше, чем физическая, а тем более истинная. Величина ρ_n определялась следующим образом. Сухая измельченная печень, имеющая влажность на уровне 5%, высыпалась в мерный сосуд, до риски, обозначающей объемом 100 мл, затем взвешивалась тара вместе с материалом, а так как масса тары величина известная, то за ее вычетом находилась масса навески, отношение которой к известному объему и давала необходимый результат.

Далее по известным значениям ρ (табл. 3.2) и ρ_n для сухой измельченной печени можно выявить объемные доли x_1 и x_2 .

Результат исследования ρ_n для сухой измельченной печени представлен в таблице 3.6.

Таблица 3.6 - Результат исследования ρ_n для сухой измельченной печени

Номер опыта	Масса сырья, г	Объем заполненного пространства, мл	Величина ρ_n , г/мл
1	38,5	100	0,385
2	37,4		0,374
3	36,0		0,360
4	35,9		0,359
5	34,2		0,342
Среднее значение			364 кг/м³

Анализ результатов, представленных в таблице 3.6, показывает, что усредненная масса сырья в объеме 100 мл будет равна 36,4 г, а чистый объем, который занимает только продукт будет составлять: $\frac{36,4}{0,746} = 48,79$ мл, тогда объем занимаемым воздухом будет составлять: $100 - 48,79 = 51,21$ мл. Отсюда следует, что $x_1 = 0,5121$, а $x_2 = 0,4879$.

Результат экспериментальных исследований по определению ε_r' и ε_r'' , через величину $\tan \delta$, для образцов исходной сырой печени с влажностью 68% и конечного высушенного продукта с влажностью 5% проводили измерения с применением метода резонаторных возмущений на частоте 2,45 ГГц в температурном диапазоне от 60 °С до 100°С представлен в таблицах 3.7, 3.8.

Такой подход позволяет получить высокоточные данные о диэлектрических свойствах материала при различных степенях гидратации и температурных режимах, что имеет принципиальное значение для обоснования режимов микроволновой обработки и моделирования процессов тепло- и массообмена в исследуемом сырье.

Таблица 3.7 - Результат экспериментальных исследований по определению ε_r' , и ε_r'' через величину $\tan \delta$ для исходной сырой печени

Температура, °С	Диэлектрическая проницаемость ε_r'	$\tan \delta$	Мнимая часть ε_r''
60	73,12	0,194	14,19
70	70,89	0,203	14,39
80	68,14	0,223	15,19
90	67,28	0,230	15,47
100	65,27	0,249	16,25

Таблица 3.8 - Результат экспериментальных исследований по определению ϵ_r' , и ϵ_r'' через величину $\tan \delta$ для конечного сухого продукта

Температура, °С	Диэлектрическая проницаемость ϵ_m	Диэлектрическая проницаемость ϵ_r'	$\tan \delta$	Мнимая часть ϵ_r''
60	6,14	16,23	0,259	4,20
70	5,86	15,30	0,309	4,73
80	5,69	14,74	0,336	4,95
90	5,37	13,69	0,374	5,12
100	5,32	13,53	0,386	5,22

На рисунках 3.16 и 3.17 представлены графические зависимости диэлектрической проницаемости ϵ_r' , и ее мнимой части ϵ_r'' объекта исследования от содержания влаги в нем в рамках W от 0,05 до 0,68 кг/кг, а T от 60 до 100 °С.

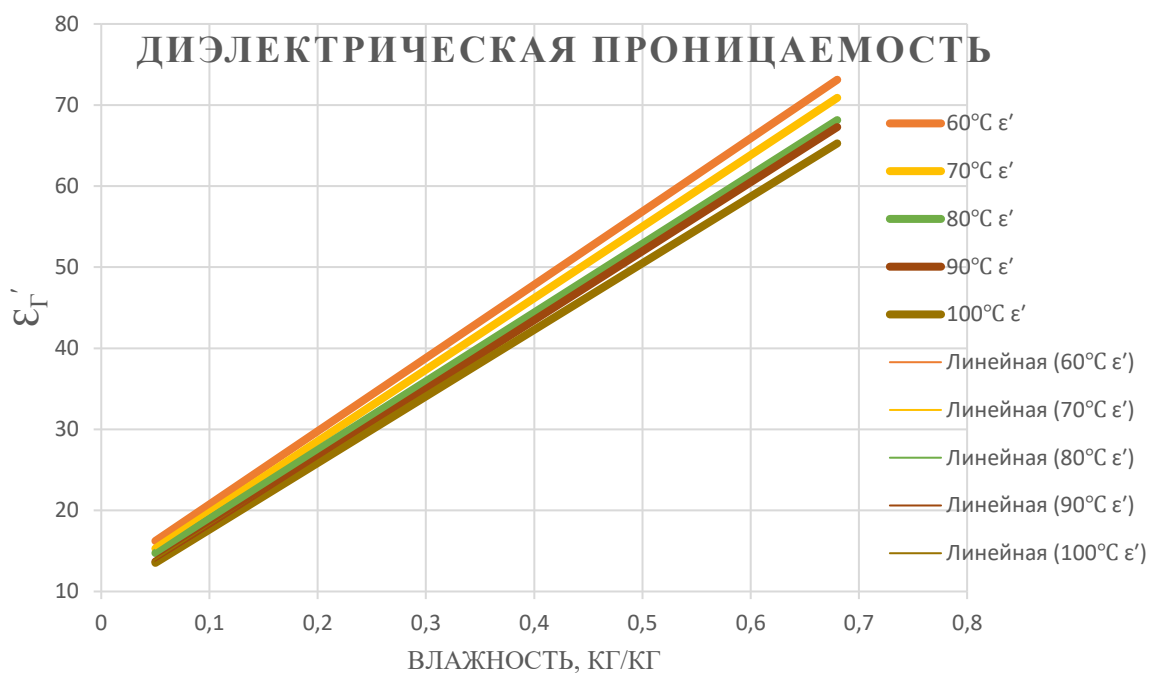


Рисунок 3.16 – Закономерность варьирования ϵ_r' в зависимости от W и T ПСО

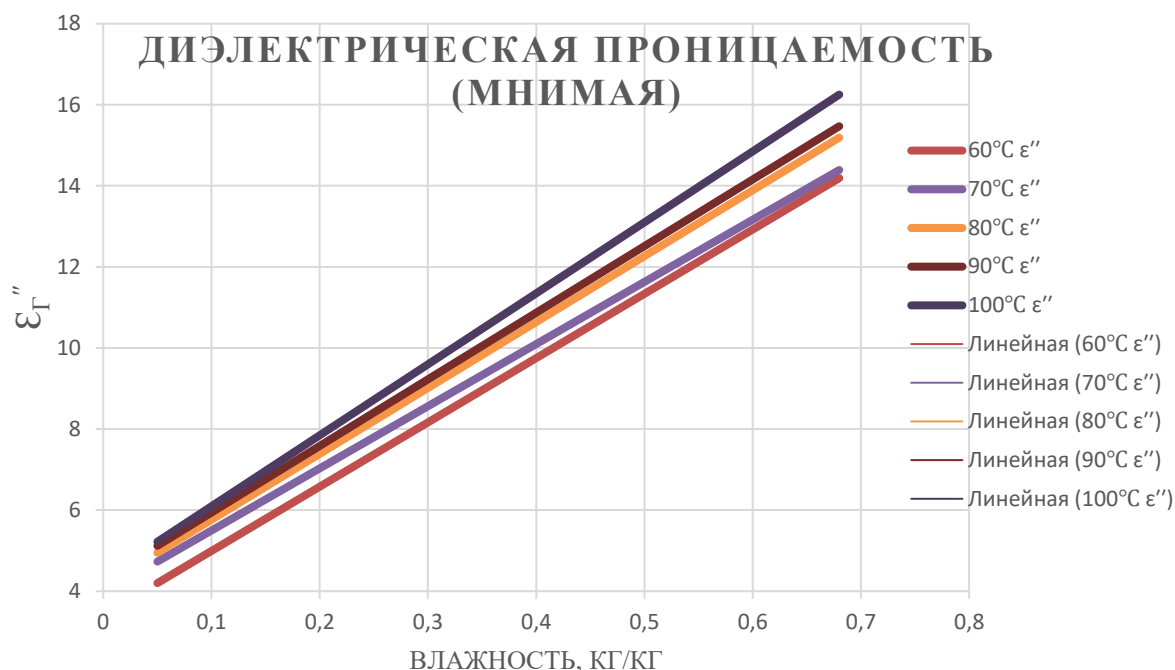


Рисунок 3.17 – Закономерность варьирования ϵ_r'' в зависимости от W и T ПСО

Анализ графических зависимостей ϵ_r' от влажности и температуры печени сома показал устойчивую тенденцию к росту этого показателя с увеличением влажности субпродукта при всех температурах (рис. 3.16). Данное явление можно объяснить увеличением количества свободной воды в сырье, доступной в матрице, т.е. приближением ϵ_r' к свойствам чистой воды, для которой $\epsilon_r' = 80$ [133]. Диэлектрические потери ϵ_r'' также увеличиваются с увеличением влажности во всем его диапазоне (рис. 3.17). При этом значение ϵ_r' на всем диапазоне влажности с повышением температуры падает (рис. 3.16), в отличие от значения ϵ_r'' , которое, наоборот, с повышением температуры растет (рис. 3.17). В данном случае присутствие свободной воды приводит к тому, что ϵ_r' уменьшается с повышением температуры, в то время как при более низких уровнях влажности, где содержание связанной воды значительно, то и диэлектрические потери ϵ_r'' будут увеличиваться с ростом температуры [133].

Все представленные на рисунках 3.16 и 3.17 графические зависимости диэлектрической проницаемости ϵ_r' , и ее мнимой части ϵ_r'' объекта исследования от содержания влаги в нем в рамках W от 0,05 до 0,68 кг/кг и T от 60 до 100 °C были аппроксимированы линейной зависимостью.

Соотношениями 3.18...3.22 описаны графики зависимости ε_r' от W в рамках от 0,05 до 0,68 кг/кг, для T 60, 70, 80, 90 и 100 °С.

$$\varepsilon_r' = 90,302W + 11,715; \quad (3.18)$$

$$\varepsilon_r' = 88,238W + 10,888; \quad (3.19)$$

$$\varepsilon_r' = 84,762W + 10,502; \quad (3.20)$$

$$\varepsilon_r' = 85,063W + 9,4368; \quad (3.21)$$

$$\varepsilon_r' = 82,127W + 9,4237; \quad (3.22)$$

где W – влажность образца, кг/кг.

Уравнениями 3.23...3.27 представлены графические зависимости мнимой части диэлектрической проницаемости ε_r'' от влажности в диапазоне от 0,05 до 0,68 кг/кг, соответственно для температур 60°С, 70°С, 80°С, 90°С и 100°С.

$$\varepsilon_r'' = 15,857W + 3,4071; \quad (3.23)$$

$$\varepsilon_r'' = 15,333W + 3,9633; \quad (3.24)$$

$$\varepsilon_r'' = 16,254W + 4,1373; \quad (3.25)$$

$$\varepsilon_r'' = 16,429W + 4,2986; \quad (3.26)$$

$$\varepsilon_r'' = 17,508W + 4,3446; \quad (3.27)$$

где W – влажность образца, кг/кг.

Далее, на рисунке 3.18 представлен расчет глубины проникновения микроволновой мощности в исследуемую печень сома d_p на которой она снижается до величины $1/e$ мощности, попадающей на поверхность обрабатываемого материала и, которая, для удобства восприятия представлена в сантиметрах в рамках варьирования T от 60 до 100 °С при исходной и итоговой W ПСО. Расчетная глубина проникновения отвечает прогнозу ситуации в зависимости от T и W , т.е. при более низких уровнях влажности может быть достигнута более высокая глубина проникновения, поскольку высокая диэлектрическая проницаемость воды отвечает за поглощение энергии на поверхности.

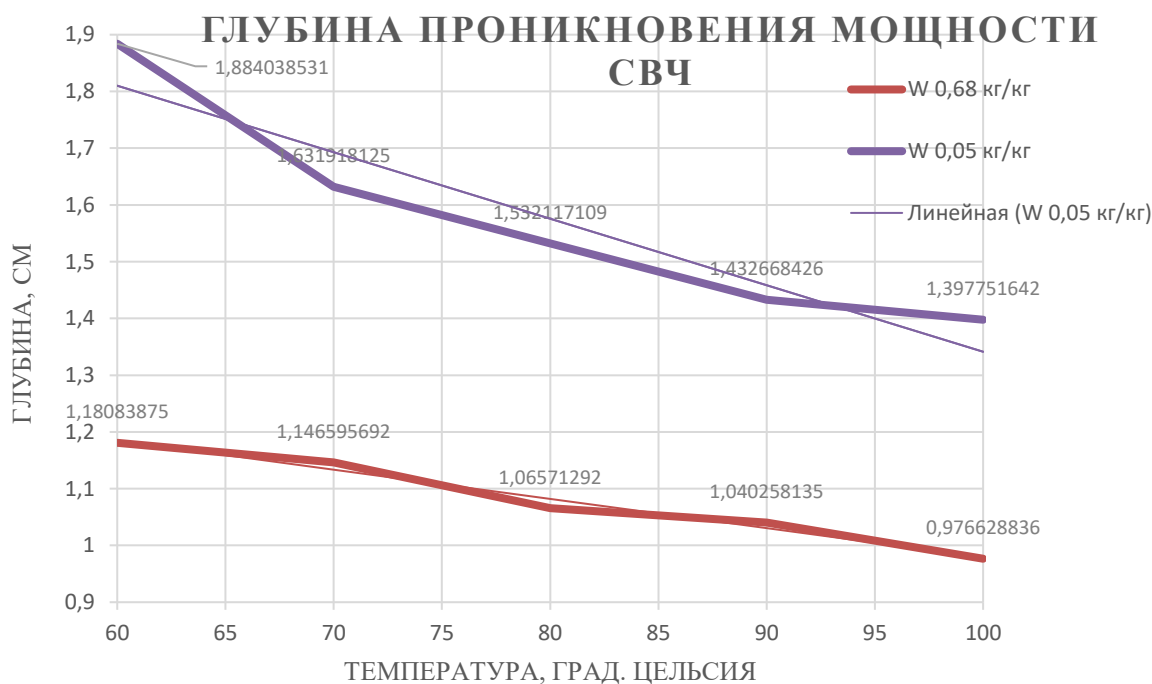


Рисунок 3.18 – Расчет глубины проникновения микроволновой мощности в исследуемую печень сома

Уравнениями 3.28 и 3.29 представлены линейные графические зависимости глубины проникновения микроволновой мощности в исследуемую печень сома d_p (см) от ее температуры в диапазоне от 60°C до 100°C, соответственно для влажности 0,68 кг/кг и 0,05 кг/кг.

$$d_p = -0,0051T + 1,4938; \quad (3.28)$$

$$d_p = -0,0117T + 2,5132; \quad (3.29)$$

где T – температура образца, °C.

Представленное выше экспериментальное исследование диэлектрических свойств объекта обезвоживания необходимо для понимания механизма энергопоглощения пищевой матрицы печени сома и теплообмена во время процесса обезвоживания с использованием микроволнового излучения. Полученные результаты были сопоставлены с литературными данными по подобным рыбным продуктам и не выявили кардинальных с ними противоречий. Растущий интерес к переработке рыбного сырья с помощью микроволновых технологий открывает необходимость в дальнейших исследованиях диэлектрических свойств различных пищевых продуктов.

3.3 Термодинамический анализ статических закономерностей процесса сорбции влаги сухим печеночным продуктом

Учитывая, что изучаемая операция влагоудаления протекает особенно трудно в гигроскопическом ареале W целесообразно осуществить термодинамический анализ статики данного процесса для определения влияния механизма связывания воды с сухим скелетом ПСО на энергоемкость сушки и качественные показатели высушенной ПСО.

Для начала обратим внимание на известные термодинамические понятия, в частности, энергетические показатели связи влаги с сухим веществом и их математическую интерпретацию без анализа молекулярной структурной организации изучаемой субстанции [65, 3, 41, 54].

Потенциалом переноса Θ воды в парообразном состоянии в паровоздушной среде служит химический потенциал μ . В гигроскопическом ареале Θ ориентировочно идентичен μ по модулю [40, 54]:

$$|\Theta| = |\mu| = RT \ln A_w, \quad (3.30)$$

где R – универсальная газовая константа, $R = 8,314$ Дж/(моль·К); T – для термодинамической системы, К.

Таким образом, химический потенциал μ представляет собой функцию температуры T и влажности W , определение которой для конкретного состояния зависит от выбора исходной точки отсчета, то есть нулевой величины, принимаемой при $T = \text{const}$ и $\varphi = 1$. В данном контексте эта базовая величина соответствует химическому потенциалу воды в свободном состоянии μ_0 . Вследствие этого, для произвольного состояния влажного материала при любом значении относительной влажности φ движущая сила процесса сорбции может быть выражена следующим образом: $\Delta\mu = \mu - \mu_0$.

С учетом [3, 40, 54] для определения характера и энергии взаимодействия молекул воды с сухим каркасом образца, в качестве работы обратимого отрыва одного моля адсорбированной воды при постоянной T используют математическую зависимость, учитывающую термодинамические параметры системы.

$$\Delta\mu = E_c = \left(\frac{\partial\Delta F}{\partial W_0}\right)_T = RT \frac{p_s}{p_u} = -RT \ln A_W, \quad (3.31)$$

где под E_c подразумевают свободную энергию моля адсорбированной воды; p_s – P паровой среды над плоской поверхностью водной среды в свободном состоянии; p_u – оно же при такой же T над образцом в равновесном состоянии при данной W , Па, W_0 в данном случае равна равновесной W_p на ИС.

Математическая обработка ИС дает возможность оценить варьирование термодинамических параметров, опираясь на соотношение Гиббса-Гельмгольца при $P, T = const$ [3, 54]: $\Delta F = \Delta E - T\Delta S$ ($\Delta E, \Delta S$ – варьирование внутренней энергии (энтальпии) и энтропии, взяв производную от которой по W_0 при $P, T = const$) имеем:

$$\left(\frac{\partial\Delta F}{\partial W_0}\right)_{T,P} = \left(\frac{\partial\Delta E}{\partial W_0}\right)_{T,P} - T \cdot \left(\frac{\partial\Delta S}{\partial W_0}\right)_{T,P}, \quad (3.32)$$

где энтропийное слагаемое $T \cdot \left(\frac{\partial\Delta S}{\partial W_0}\right)_{T,P}$ для биополимеров с существенной долей структурной (или энтропийно связанной) влаги имеет заметную величину.

Итак, посредством (3.31) можно определить зависимость варьирования свободной энергии Гиббса и ее составляющих от T образца и его W_0 в гигроскопическом ареале для 3-х стадий.

Для 1-ой: $0 \leq W_0, \% \leq 0,54$.

$$\frac{\partial\Delta F}{\partial W_0} = -RT \ln A_W = -RT(1624,894W_0 - 9,373),$$

$$\frac{\partial\Delta F}{\partial W_0} = 23222 - 4025791W_0. \quad (3.33)$$

Для 2-ой: $0,54 \leq W_0, \% \leq 3,75$.

$$\frac{\partial \Delta F}{\partial W_0} = -RT \ln A_W = -RT(24,817W_0 - 1,212),$$

$$\frac{\partial \Delta F}{\partial W_0} = 3004 - 61486W_0. \quad (3.34)$$

Для 5-ей: $3,75 \leq W_0, \% \leq 16,77$.

$$\frac{\partial \Delta F}{\partial W_0} = -RT \ln A_W = -RT(2,226W_0 - 0,374),$$

$$\frac{\partial \Delta F}{\partial W_0} = 927 - 5515W_0. \quad (3.35)$$

Взяв производную от (3.35) по T , получаем:

$$\frac{\partial}{\partial T} \left(\frac{\partial \Delta F}{\partial W_0} \right)_{T,P} = - \left(\frac{\partial \Delta S}{\partial W_0} \right)_{T,P}. \quad (3.36)$$

С учетом 3.31 имеем:

$$\left(\frac{\partial \Delta S}{\partial W_0} \right)_{T,P} = \frac{-\partial(RT \ln A_W)}{\partial T} = -R \frac{\partial(T \ln A_W)}{\partial T}. \quad (3.37)$$

Для комплексного решения соотношения (3.37) $\ln A_W$ должен зависеть от T , что возможно имея ИС при варьируемых T , допуская для упрощения решения задачи, что смещение ИС по T происходит линейно. В таком варианте обобщенная закономерность $\ln A_W = f(W_0, T)$ выглядит, как:

$$\ln A_W = (aT + b)W_0 + (cT + d). \quad (3.38)$$

Получим зависимости (рис. 3.3) для 3-х стадий при 298К.

1-ая:

$$\ln A_W = 1624,894W_0 - 9,373. \quad (3.39)$$

2-ая:

$$\ln A_W = 24,817W_0 - 1,212. \quad (3.40)$$

3-ая:

$$\ln A_W = 2,226W_0 - 0,374. \quad (3.41)$$

Сделаем то же самое (рис. 3.4) при 313К.

$$\ln A_W = 1599,476W_0 - 9,37. \quad (3.42)$$

$$\ln A_W = 26,799W_0 - 1,35. \quad (3.43)$$

$$\ln A_W = 2,777W_0 - 0,458. \quad (3.44)$$

Определим эмпирические коэффициенты для 1-ой стадии, решая системы уравнений:

$$\begin{cases} 298a + b = 1624,894 \\ 313a + b = 1599,476 \end{cases} \text{ и } \begin{cases} 298c + d = -9,373 \\ 313c + d = -9,370 \end{cases}$$

a	-1,694
b	2129,854
c	0
d	-9,423

Имея коэффициенты для 1-ой стадии находим $T \frac{\partial \Delta S}{\partial W_0}$.

$$T \frac{\partial \Delta S}{\partial W_0} = 23097 - 2774714W_0. \quad (3.45)$$

Аналогично для 2-ой.

$$\begin{cases} 298a + b = 24,817 \\ 313a + b = 26,799 \end{cases} \text{ и } \begin{cases} 298c + d = -1,212 \\ 313c + d = -1,350 \end{cases}$$

a	0,132
b	-14,548
c	-0,009
d	1,513

$$T \frac{\partial \Delta S}{\partial W_0} = 9757 - 159016W_0. \quad (3.46)$$

Для 3-ей:

$$\begin{cases} 298a + b = 2,226 \\ 313a + b = 2,777 \end{cases} \text{ и } \begin{cases} 298c + d = -0,374 \\ 313c + d = -0,458 \end{cases}$$

a	0,037
b	-8,728
c	-0,006
d	1,297

$$T \frac{\partial \Delta S}{\partial W_0} = 5069 - 32656W_0. \quad (3.47)$$

С учетом (3.32) имеем варьирование внутренней энергии.

Для 1-ой стадии:

$$\frac{\partial \Delta E}{\partial W_0} = 46319 - 6800505W_0. \quad (3.48)$$

Для 2-ой:

$$\frac{\partial \Delta E}{\partial W_0} = 12761 - 220502W_0. \quad (3.49)$$

Для 3-ей:

$$\frac{\partial \Delta E}{\partial W_0} = 5996 - 38171W_0. \quad (3.50)$$

Опираясь на полученные соотношения построен график, показанный на рисунке 3.19, который иллюстрируют ключевые закономерности исследуемого процесса.

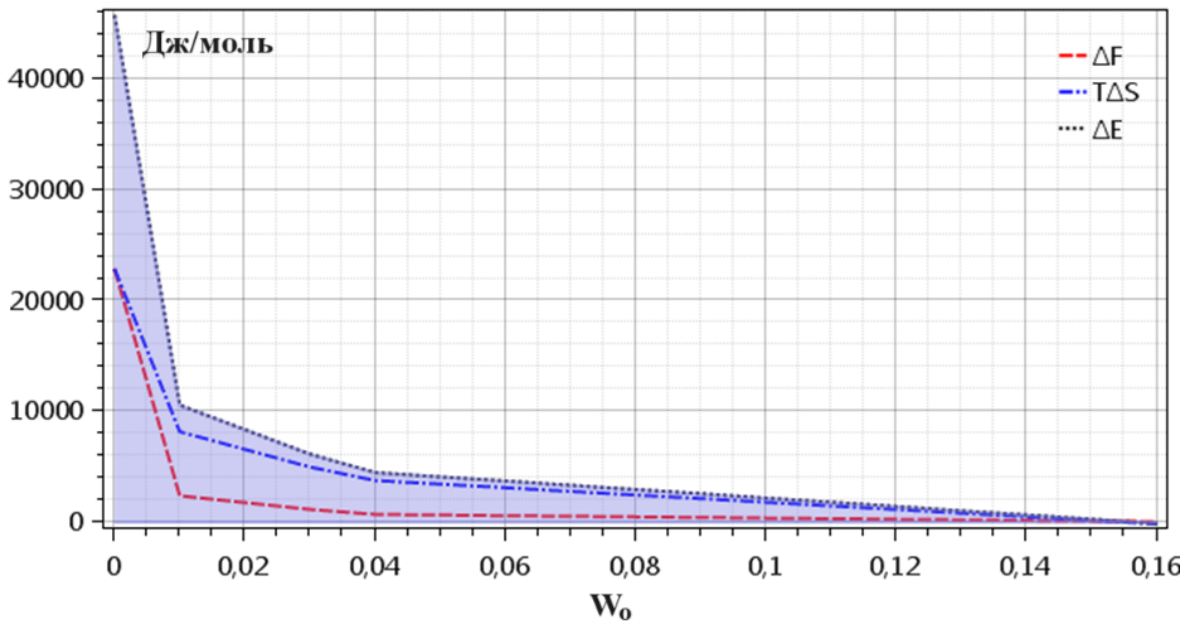


Рисунок 3.19 – Закономерности варьирования $\frac{\partial \Delta F}{\partial W_0}$, $T \frac{\partial \Delta S}{\partial W_0}$ и $\frac{\partial \Delta E}{\partial W_0}$

Вышеприведенные выкладки и соотношения позволяют определить общую теплоту парообразования r , (Дж/кг), как $r = f(W, T)$ балансовых расчетов и моделирования операции влагоудаления [3, 54].

Общая r [3, 40, 41, 54] является суммой теплот парообразования воды в свободном состоянии r' , смачивания $r_{\text{см}}$ и энтропийной компоненты $r_{\text{энт}}$.

$$r = r' + r_{\text{см}} + r_{\text{энт}}. \quad (3.51)$$

r' рассчитывается линейной зависимости от T насыщенной паровой среды при варьировании ее P в рамках $T = 313 \dots 298\text{К}$ [33, 101]:

$$r' = 3118,458 \cdot 10^3 - 2286T. \quad (3.52)$$

$r_{\text{см}}$ определяем, как [3]:

$$r_{\text{см}} = \left| 55,556 \cdot \left(\frac{\partial \Delta F}{\partial W_0} \right)_{T,P} \right|. \quad (3.53)$$

$r_{\text{энт}}$ определяем, как [3]:

$$r_{\text{энт}} = \left| 55,556 \cdot T \cdot \left(\frac{\partial \Delta S}{\partial W_0} \right)_{T,P} \right|. \quad (3.54)$$

Коэффициент 55,556 является переводным из молей в кг. К примеру, при 313К, принимая во внимание уравнения (3.51...3.54) имеем $r = f(W_0)$.

r' для всех стадий при 313К равна:

$$r' = 3118,458 \cdot 10^3 - 2286 \cdot 313 = 2402940 \text{ Дж/кг.}$$

Для 1-ой: $0 \leq W_0, \% \leq 0,54$.

$$\begin{aligned} r_{\text{см}} &= |1290114 - 223656829W_0|, \\ r_{\text{энт}} &= |1283163 - 154152005W_0|. \\ r &= 2437230 + |1290114 - 223656829W_0| + \\ &\quad + |1283163 - 154152005W_0|. \end{aligned} \quad (3.55)$$

Для 2-ой: $0,54 \leq W_0, \% \leq 3,75$.

$$\begin{aligned} r_{\text{см}} &= |166885 - 3415926W_0|, \\ r_{\text{энт}} &= |542043 - 8834267W_0|. \\ r &= 2437230 + |166885 - 3415926W_0| + \\ &\quad + |542043 - 8834267W_0|. \end{aligned} \quad (3.56)$$

Для 3-ей: $3,75 \leq W_0, \% \leq 16,77$.

$$\begin{aligned} r_{\text{см}} &= |51522 - 306405W_0|, \\ r_{\text{энт}} &= |281600 - 181423W_0|. \\ r &= 2437230 + |51522 - 306405W_0| + \\ &\quad + |281600 - 181423W_0|. \end{aligned} \quad (3.57)$$

На рисунке 3.20 показан график закономерности варьирования r для ПСО.

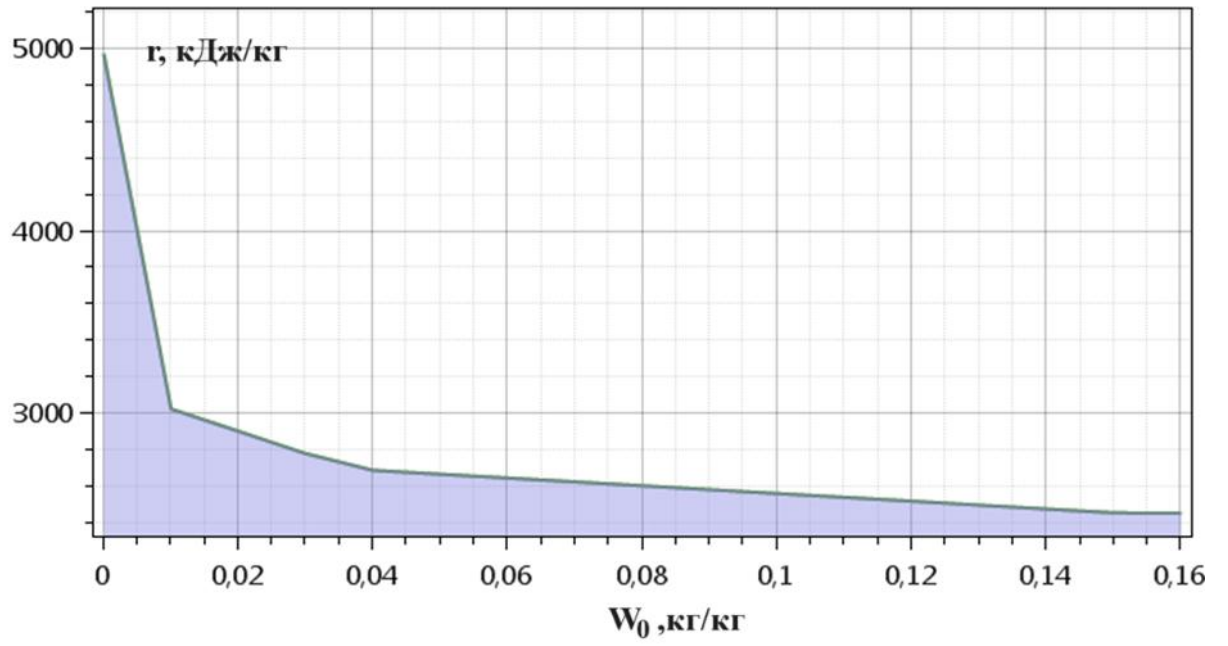


Рисунок 3.20 – Закономерности варьирования r для ПСО

ГЛАВА 4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ И КИНЕТИКИ ПРОВЕДЕНИЯ МИКРОВОЛНОВОЙ СУШКИ ПЕЧЕНИ СОМА В ТОНКОМ СЛОЕ, МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭТОГО ПРОЦЕССА

Изучение специальной и научной литературы свидетельствует о том, что лучшим способом консервации печени рыб для их длительного хранения и последующей промышленной переработки является сублимация, однако этот метод требует дорогостоящего аппаратного оформления. Некоторыми учеными проведены исследования возможности получения сухой печени лососевых, используя более простую сушку на установках циклонного типа, однако, следует отметить, что у такого подхода имеется существенный недостаток. Таким образом можно успешно сушить только качественные сыпучие материалы, не обладающие заметным адгезионно-когезионными свойствами, и в противном случае нужна предварительная подсушка продукта. В связи с вышеизложенным, как наиболее эффективная альтернатива ранее применяемым сушильным технологиям предлагается в качестве перспективного способа консервации печени сома использовать для удаления влаги энергию высокочастотного излучения.

4.1 Исследование кинетики микроволновой сушки печени сома в тонком слое и анализ механизма удаления влаги из него

Кинетические закономерности МВ влагоудаления выявлялись опытным путем [3, 41, 82].

Схематично опытный стенд для изучения операции влагоудаления при МВ обработке ПСО, который обеспечивает регулирование влияющих на течение процесса факторов (N излучения и высота слоя ПСО), показан на рисунке 4.1.

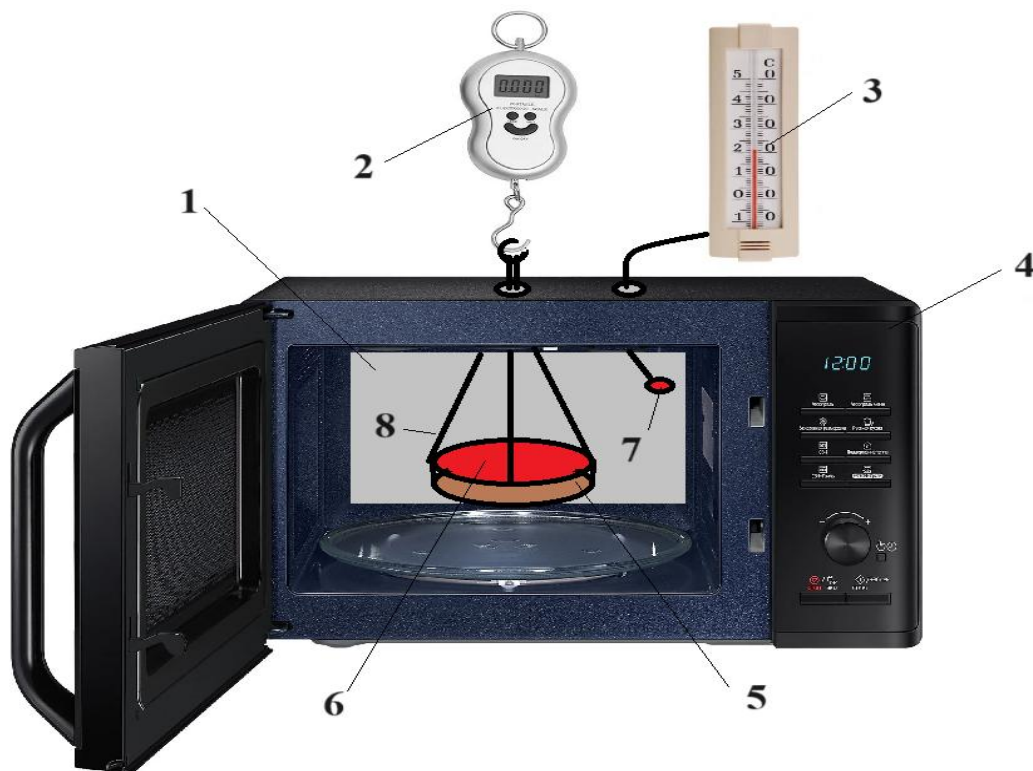


Рисунок 4.1 – Опытный стенд:

1 – рабочий отсек; 2 – весовое устройство; 3 – термометр; 4 – МВ установка; 5 – чашка Петри; 6 – высушиваемый материал; 7 – датчик контроля температуры внутри рабочей камеры; 8 – подвесное устройство

При выборе высоты слоя ПСО (h) надо принимать во внимание то, что для равномерности прогрева она не должна превышать глубину проникновения МВ потока. Определим h как глубину d_p , (м) при которой N уменьшается до значения $1/e$ от подводимого к поверхности образца СВЧ потока. Зная d_p для ПСО (рис. 3.18) выявлены математические закономерности варьирования данного фактора в рамках изменения T от 60 до 100 °С (3.28) и (3.29). Таким образом, достаточно ограничить T , обуславливающей рациональную h , при которой минимизируются потери ценных компонентов.

Превышение T определенного предела может обуславливать необратимые биохимические и структурные превращения, приводя, в частности, к негативной трансформации цветовой гаммы, вкусовых ощущений, консистенции, формы,

запаха, формированию поверхностной корочки, утрате или деструкции ряда ценных компонентов, деструкции, при этом и к инактивации бактерий и ферментов. Этих негативных явлений можно избежать при условии осуществления влагоудаления при мягких температурных режимах [106, 118], в частности, при обезвоживании сырых белковых полимеров животной природы его T должна находиться на уровне денатурации протеина [76, 70]. Данная T для ПСО соответствует присушке от 30...35 °С, до 60...65 °С, где денатурация ускоряется, и 80 °С когда денатурирует примерно 90...95% протеина, что обуславливает T теплоносителя при обезвоживании ПСО. не более 80...85 °С, при этом T ПСО не превысит 70 °С за 30 минут [76, 70, 2].

Итак, рациональной h для ПСО принимаем величину 1,5 см, отвечающую 70 °С. Расчет h представлен ниже, используя уравнения (3.28) и (3.29):

$$h_1 = -0,0051 \cdot 70 + 1,4938 = 1,14;$$

$$h_2 = -0,0117 \cdot 70 + 2,5132 = 1,69;$$

$$h = \frac{1,14 + 1,69}{2} \approx 1,5 \text{ см.}$$

Таким образом, далее в опытной серии остается лишь 1 варьируемый фактор, которым служит N в рамках варьирования от 90 до 360 Вт. Величины параметров, обуславливающих кинетику МВ влагоудаления ПСО сведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Величины параметров, обуславливающих интенсивность сушки ПСО

$W_{н2}$, кг/кг	f , МГц	N , Вт	h , см	$W_{к2}$, кг/кг
0,680	2450	90	1,50	$5 \cdot 10^{-2}$
		180		
		270		
		360		

За целевую функцию при выявлении рационального режима влагоудаления принимаем удельный съем сухого ПСО Y , кг/(м²·ч):

$$Y = \frac{M}{\tau \cdot F}, \quad (4.1)$$

где M – масса слоя ПСО, кг; τ – длительность влагоудаления, час; F – площадь подложки, занимаемая слоем ПСО, (м²).

Результат проведенных экспериментальных исследований процесса микроволновой сушки печени сома и расчета удельной производительности Y , кг/(м²·ч) представлен в таблице 4.2.

Таблица 4.2 - Результаты определения Y

N , Вт	τ , мин	Y , кг/(м ² ·час)
90	42	21,950
180	28	32,7
270	17	54,890
360	очаговое подгорание продукта	
Дополнительные сведения	Площадь используемой чашки Петре – 0,00283 м ² ; ее объем – 0,000042 м ³ , ее высота – 15 мм; Масса слоя ПСО в чашке – 0,0435 кг.	

Изучение полученных результатов приводит к выводу о том, что при $N = 360$ Вт в ПСО наблюдается очаговое подгорание, поэтому данная величина не принимается во внимание при математическом описании опытных данных. В процессе влагоудаления из ПСО при 180 и 270 Вт термодатчик в зоне сушки показал T , составляющую 90...100 °С, однако не учитывать такой вариант не следует по причине сравнительно малой длительности удаления влаги, не превышающей 30 минут, а за такой временной промежуток вероятность превышения критической $T = 70$ °С очень низка. Итак, резонно ограничиться при изучении операции сушки только значениями 90 и 180 Вт.

Сопоставление представленных данных (табл. 4.2) с результатами аналогичных исследований, выполненных другими авторами [107, 108] приводит к заключению о том, что авторские результаты не входят с ними в конфликт и, потому могут быть реализованы в инженерной практике и при моделировании операции МВ влагоудаления. На рисунке 4.2 показаны кривые МВ при $N = 90$ и 180 Вт.



Рисунок 4.2 – Кривые МВ влагоудаления из ПСО при частоте 2,45 ГГц $h = 1,5$ см

Более наглядно характер тепло- и влагопереноса можно проследить на кривых интенсивности сушки, как зависимости ее скорости от доли сухого остатка в ПСО (рис. 4.4), построенных посредством математической трансформации кривых влагоудаления, посредством их представления в обратной модификации для упрощения математического преобразования в кинетическую кривую (рисунок 4.3).

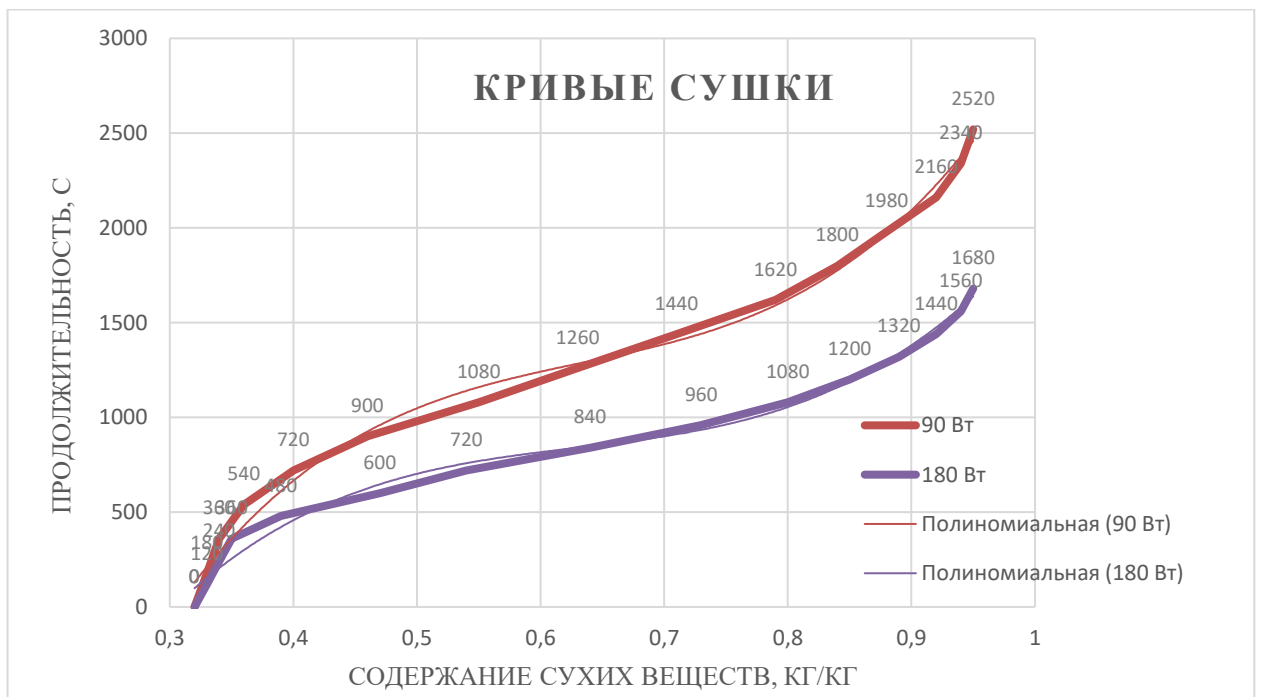


Рисунок 4.3 – Обратные кривые МВ влагоудаления из ПСО при частоте 2,45 ГГц $h = 1,5$ см

То есть, для получения зависимости $\frac{d(1-W)}{d\tau} = f(1-W)$, трансформируем кривую влагоудаления в форме $\tau = f(C)$ ($C = 1 - W$ – доля сухого остатка в ПСО), которые математически описаны для 90 (4.2) и 180 Вт (рисунок 4.3).

$$\tau = 23431C^3 - 44597C^2 + 29666C - 5564,4; \quad (4.2)$$

$$\tau = 16794C^3 - 31744C^2 + 20776C - 3848,5; \quad (4.3)$$

где τ – текущая длительность обезвоживания, с.

Взяв производную от $\tau = f(C)$, имеем $\frac{d\tau}{dC} = f(C)$ и далее без труда закономерность $\frac{dC}{d\tau} = 1/f(C)$, показанную на рисунке 4.4.

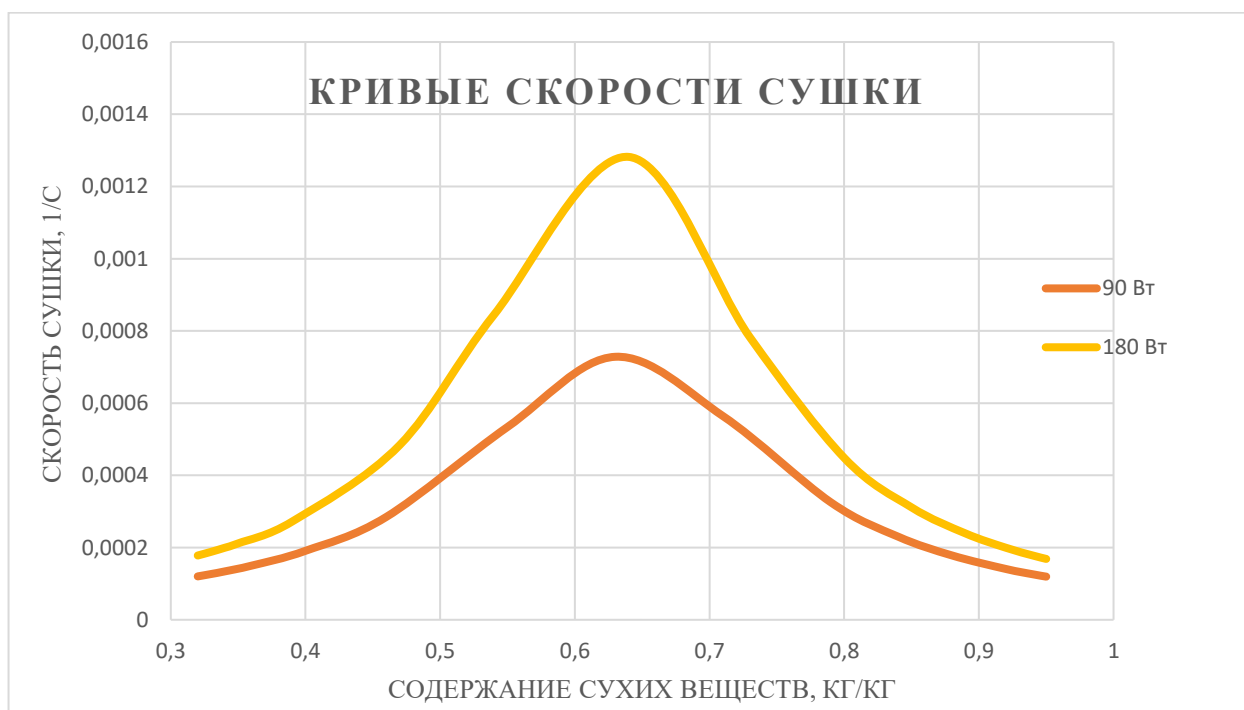


Рисунок 4.4 – Кривые интенсивности МВ влагоудаления из ПСО

Опишем для ПСО: $\frac{dC}{d\tau} = 1/f(C)$ для 90 и 180 Вт в виде соотношений (4.4 и 4.5):

$$\frac{dC}{d\tau} = \frac{1}{70293C^2 - 89194C + 29666}; \quad (4.4)$$

$$\frac{dC}{d\tau} = \frac{1}{50382C^2 - 63488C + 20766}; \quad (4.5)$$

где $\frac{dC}{d\tau}$ – интенсивность обезвоживания, 1/с.

Как следует из рисунка 4.4, рост N обуславливает существенное увеличение $3\frac{dC}{d\tau}$ и уменьшение длительности обезвоживания. При этом на кинетических кривых просматриваются две стадии влагоудаления [3, 40, 41, 82, 20, 28, 70]. На начальной стадии наблюдается повышение $\frac{dC}{d\tau}$ до ее пика при внутреннем переносе в основном воды в свободном состоянии и ее отведении от поверхности слоя ПСО. На второй стадии присутствует снижение $\frac{dC}{d\tau}$ при уменьшении W и пористости ПСО по причине сжатия пор и капилляров, что обуславливает рост гидравлического сопротивления влагопереносу.

Кроме того, на интегральных кривых наблюдается отсутствие стадии постоянной скорости изменения влажности $\frac{dC}{d\tau}$, что обусловлено одновременным переносом и удалением как свободной, так и частично связанной влаги с сухим остатком, особенно выраженным в пограничном слое ПСО. Отметим, двукратный рост N приводит к увеличению $\frac{dC}{d\tau}$ только в 1,7 раза из-за объемного прогрева МВ, при котором внутри образца выделяется больше тепловой энергии. Это происходит вследствие теплоотдачи от границы фазового раздела, что не только приводит к росту внутреннего давления пара и T , усиливая баро- и термодиффузию, но и повышает вероятность деструкции ПСО, что может негативно повлиять на качество сухого ПСО.

4.2 Адаптация математической модели к объекту исследования и процесса микроволновой сушки, а также ее решение

Для проектирования процессов термической обработки пищевых продуктов должна быть известна температура в тепловом центре пищевых продуктов во время

процесса. Хотя традиционно этот температурный режим измеряется с помощью термопар, что связано со значительными трудностями при использовании тонкого слоя ПСО и МВ излучения при необходимости исключения прямого его влияния на термопару, растет интерес к использованию математических моделей для прогнозирования температуры пищевых продуктов во время термической обработки. Преимущества такого подхода включают вычисление эволюции полей температур при исследуемом теплопереносе, соответствующих как реальным, так и произвольным условиям проведения процесса сушки, и возможность прогнозирования превышения технологических норм, а также быструю оценку незапланированных отклонений теплового процесса с целью его рационализации [122, 4].

В процессе моделирования [3, 41, 4, 56] считаем, что при обезвоживании организован равномерное по всей поверхности тонкого слоя ПСО и по его высоте h поступление МВ энергии.

В разностной сетке координатой x принимаем глубину по слою ПСО в функциональной зависимости $T(c, x)$, которая варьируется в рамках $x = \dots h$, м. При этом пренебрегаем незначительной десорбционной усадкой, считая $h = const$ при МВ обработке ПСО.

Итак:

- исходная на поверхности контакта фаз $x_n = 0$;
- итоговая на противоположной поверхности слоя $x_k = 0,015$ м.

W , кг/кг (или доля сухого остатка c , кг/кг), зависящие от текущей длительности операции влагоудаления τ , (c) считаем 2-ой координатой. При этом допускаем, что c по глубине слоя ПСО не меняется в определенный момент времени.

Итак:

- исходная $c_n = 0,32$;
- итоговая $c_k = 0,95$.

При наличии внутреннего источника тепловой энергии при МВ обработке уравнение одномерного теплопереноса в частных производных [4], принимая во

внимание полученные закономерности варьируемых параметров, выглядит, как:

$$\frac{\partial T}{\partial c} = \frac{a}{\partial c / \partial \tau} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{r\rho}{c_V} + \frac{\omega}{\partial c / \partial \tau \cdot c_V}, \quad (4.6)$$

где c_V – объемная теплоемкость ПСО, Дж/(м³·К); ω – мощность внутреннего источника тепла в единице объема ПСО, Вт/м³.

При решении модели граничные условия на поверхности слоя ПСО выглядят, как:

$$-\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial x} = \alpha(T_{sr} - T_{пов}), \quad (4.7)$$

где T_{sr} – для окружающей паровоздушной среды $T_{пов}$ – для поверхности слоя ПСО, К.

Величина ω находится [4], как:

$$\omega = 5,55 \cdot 10^{-12} \varepsilon_r' \tan \delta f E^2, \quad (4.8)$$

где ε_r' – для энергии электрического поля, накопленной в ПСО; $\tan \delta$ – тангенс угла диэлектрических потерь; f – частота поля, Гц; E – напряженность внешнего поля, В/м, изменяющаяся при варьировании N , Вт.

В таблице 4.3 сведены данные для определения мощности внутреннего источника тепла в единице объема ПСО.

Таблица 4.3 - Данные для определения ω

N, Вт	f, МГц	E, В/м	ε_r'	$\tan \delta = \varepsilon_r'' / \varepsilon_r'$
90	2450	900	$\varepsilon_r' = 88,238W + 10,888$	$\varepsilon_r'' = 15,333W + 3,9633$
180	2450	1400	$\varepsilon_r' = 88,238W + 10,888$	$\varepsilon_r'' = 15,333W + 3,9633$

На рисунках 4.5 и 4.6 показаны закономерности варьирования ω при 90 и 180 Вт в зависимости от доли сухого остатка в ПСО.

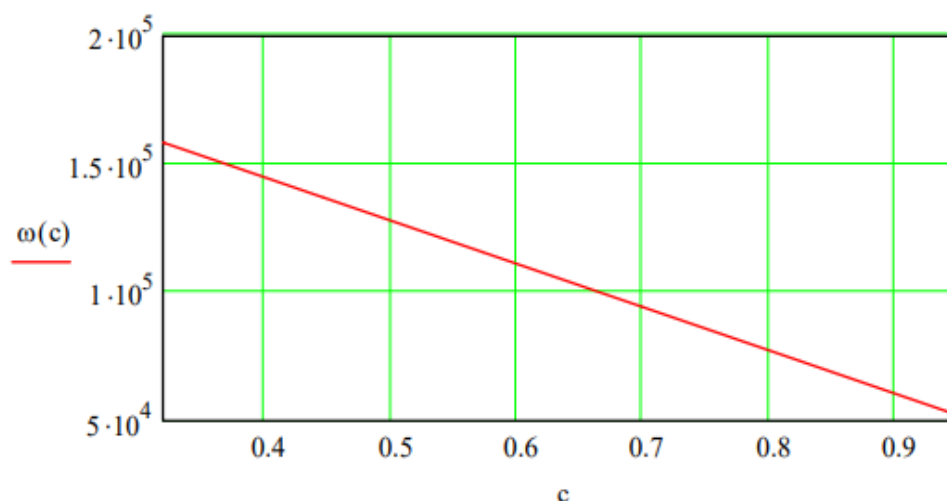


Рисунок 4.5 – Закономерность варьирования ω в ПСО при 90 Вт

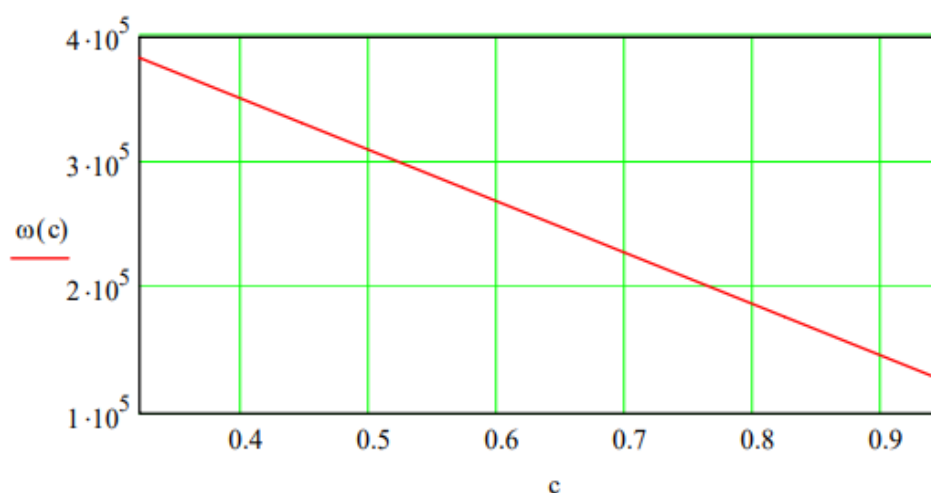


Рисунок 4.6 – Закономерность варьирования ω в ПСО при 180 Вт

Математическая модель МВ сушки ПСО решена в среде программного продукта Mathcad Professional [Приложение Н], [Приложение О].

На рисунках 4.7 и 4.8 показано продвижение фронта T по глубине высушиваемого слоя ПСО, изменяющиеся в течение микроволновой сушки, полученные посредством решения численным методом конечных разностей по неявной схеме, адаптированной к объекту исследования математической модели (4.6).

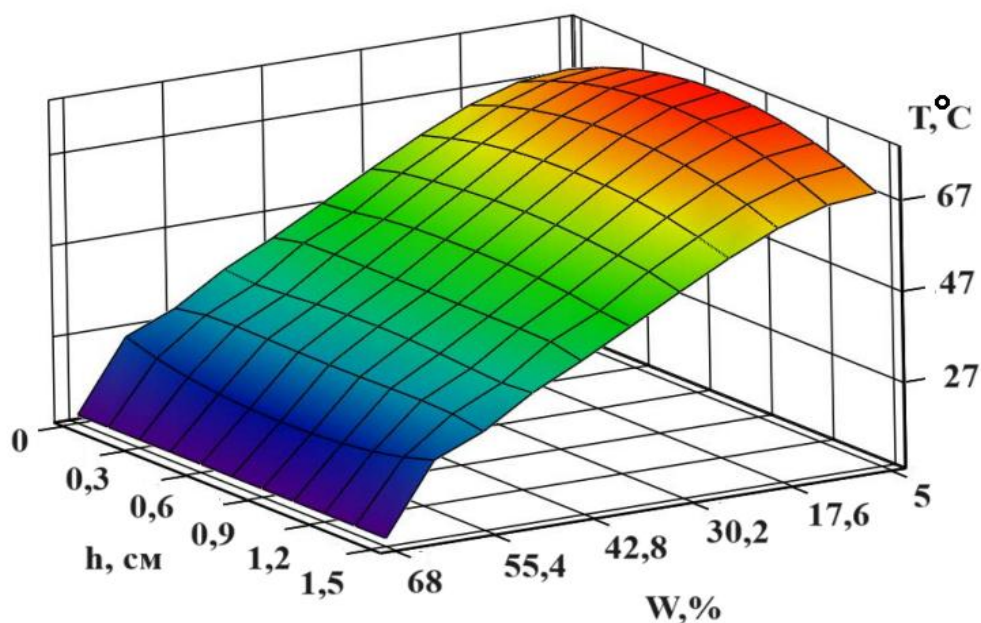


Рисунок 4.7 – Эволюция полей температур по глубине высушиваемого материала и влажности при микроволновой сушке мощностью излучения 90 Вт

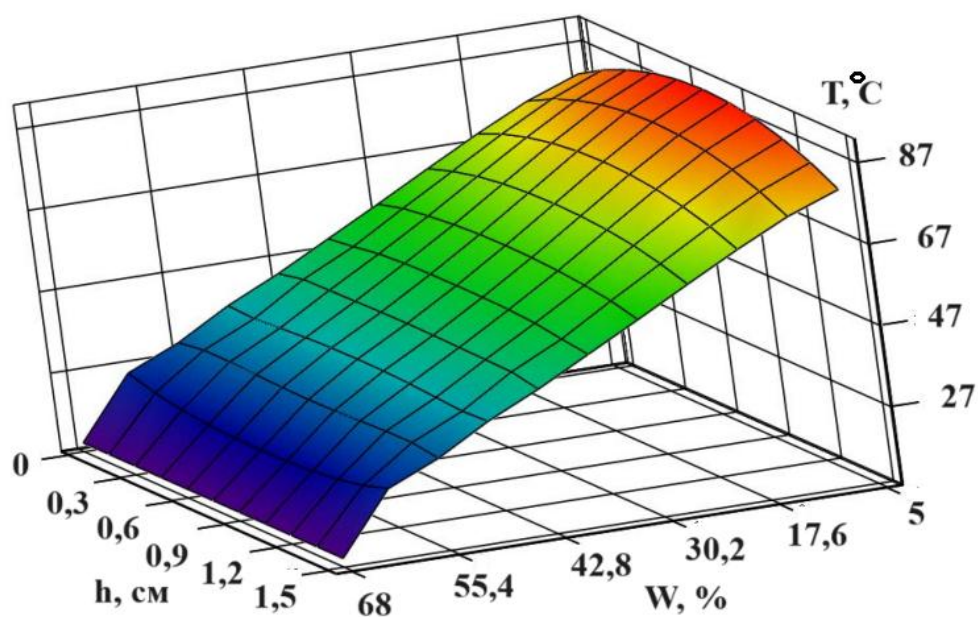


Рисунок 4.8 – Эволюция полей температур по глубине высушиваемого материала и влажности при микроволновой сушке мощностью излучения 180 Вт

Анализ эволюции полей температур по глубине высушиваемого материала и изменению влажности, реализуемая посредством микроволновой сушки мощностью излучения 90 и 180 Вт, показанных на рисунках 4.7 и 4.8 приводит к заключению о том, что при влагоудалении из слоя ПСО для любой из N МВ источника T , приближаясь к предельной, не превышает ее величину 70 °С, но длительность ее достижения меняется, не превышая 30 минут, что незначительно отражается на качественных показателях ПСО в обоих вариантах, поскольку

длительность его нахождения не является критичным. Кроме того, при произвольной текущей W наблюдаются перепады T не более 2° , что обуславливает «бережные» режимы влагоудаления при равномерном по слою прогреву и, как следствие сохранения качества ПСО.

Для наглядности решения уравнения (4.6) на рисунке 4.9 показаны T в узловых точках разностной координатной сетки и их средние величины в слое ПСО.

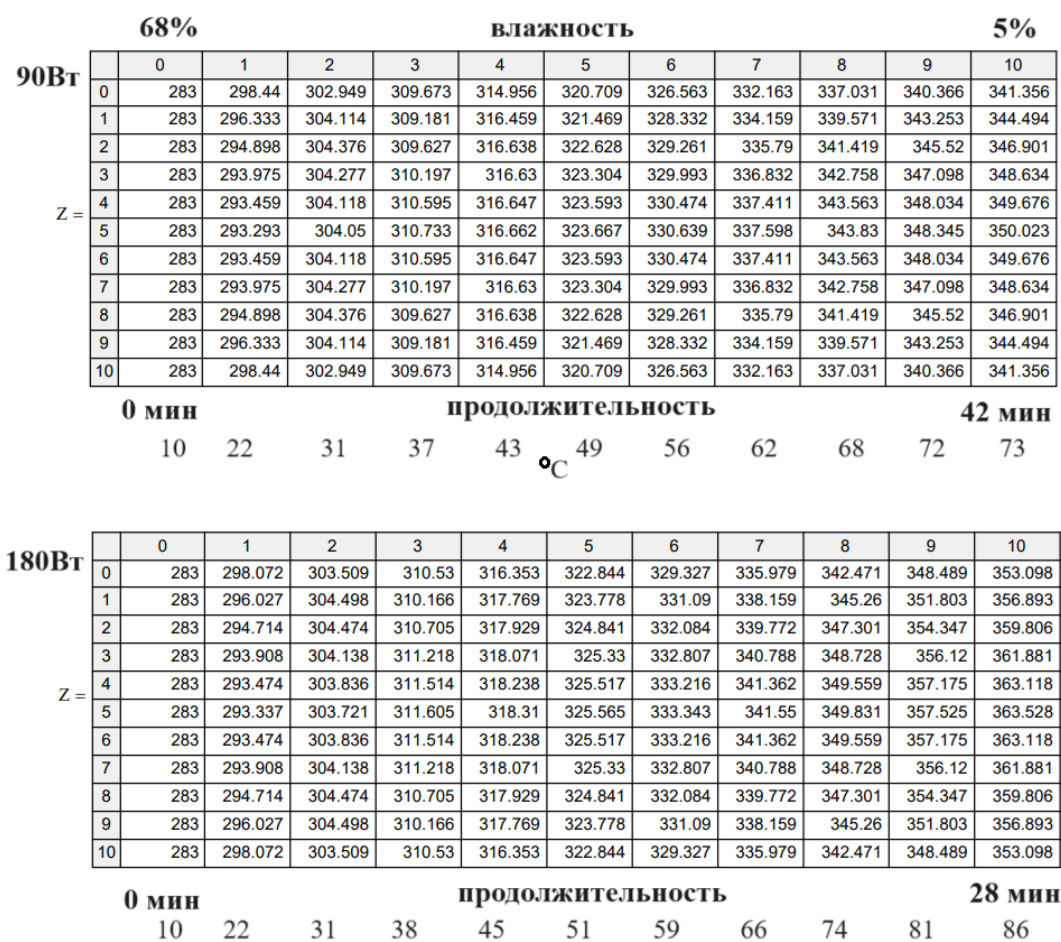


Рисунок 4.9 – T ($^{\circ}\text{C}$) в узловых точках разностной координатной сетки и их средние величины в слое ПСО,

Из рисунка 4.9 вытекает то, что средняя по слою T ПСО плавно повышается для любой N по причине превышения интенсивности прогрева над интенсивности парообразования, обуславливающего падение T . Таким образом из двух приемлемых вариантов МВ обезвоживания ПСО с учетом его длительности резонно реализовать вариант при 28 минутах МВ термообработки. Целесообразность такого выбора будет подтверждена сравнительным анализом теххимических показателей ПСО в сырой и обезвоженной форме. Кроме того, с

целью исключения перегрева ПСО время сушки уменьшается на 5...8 минут.

В частности, при МВ влагоудалении из слоя ПСО с $h = 1,5$ см за 20 минут при 180 Вт, W достигнет 15% (рис. 4.2), а его T приблизится к 70 °С (рис. 4.9). Такое ограничение длительности МВ обработки можно компенсировать конвективной досушкой ПСО до итоговой $W = 5\%$ при T теплоносителя около 80 °С. При этом необходимо определение времени сушки и ее эффективности. Сравнительный анализ полученных данных приводит к выводу о том, что рациональная длительность конвективной досушки ПСО при слое в 1,1 см (с учетом усадки) от исходной $W = 15\%$ до итоговой -5% составляет 90 минут.

Исходя из полученных результатов, рациональными параметрами режима МВ сушки ПСО можно считать:

- исходную W , % – 68 ± 2 ;
- исходную T , °С – 10 ± 1 ;
- h , см – $1,5 \pm 0,1$;
- площадь поверхности слоя должна быть ограничена ареалом влияния МВ потока с частотой. МГц – 2450;
- N , Вт – 180 ± 10 ;
- итоговая W ПСО, % – 5 ± 1 ;
- итоговая T ПСО, °С – 70 ± 1 ;
- длительность операции высушивания, мин – 28 ± 1 .

Рациональными режимными показателями конвективной МВ сушки ПСО можно считать:

- исходную W , % – 15 ± 1 ;
- исходную T , °С – 70 ± 2 ;
- h , см – $1,1 \pm 0,05$;
- T теплоносителя, °С – 80 ± 2 ;
- его интенсивность движения, м/с – $2,5 \pm 0,5$;
- итоговая W ПСО, % – 5 ± 1 ;
- итоговая T ПСО, °С – 75 ± 1 ;
- длительность операции высушивания, мин – 90 ± 3 .

Рекомендованные МВ сушки ПСО могут быть рекомендованы для внедрения в производственную практику.

4.3 Описание предлагаемой сушильной установки

Для повышения эффективности обезвоживания ПСО и уменьшения его энергоемкости была разработана петлевая аппарат непрерывного действия (рис. 4.10), который по причине конструктивной специфики может быть реализован, как для МВ сушки ПСО, так и для влагоудаления из подобных ей материалов при конвективном энергоподводе.

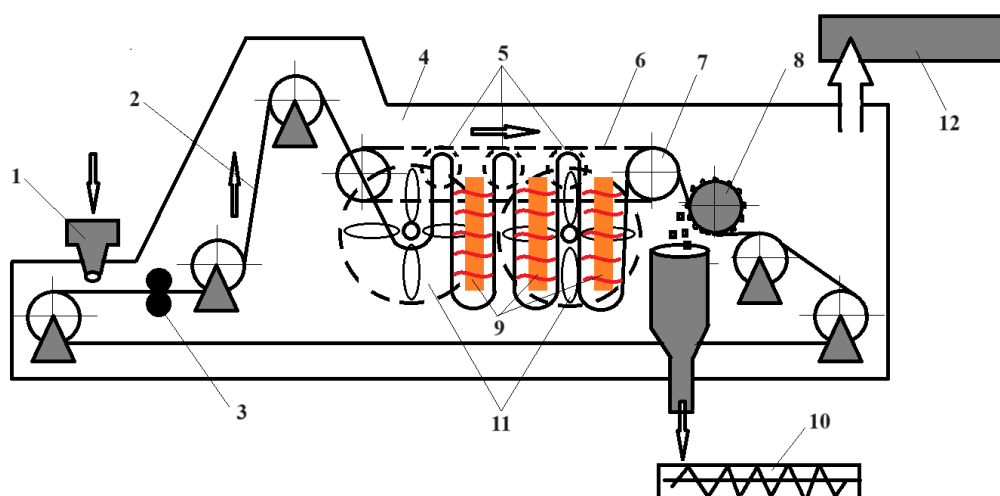


Рисунок 4.10 – Принципиальная схема петлевой сушильной установки:

- 1 – питатель влажного материала; 2 – гибкая диэлектрическая сетчатая лента; 3 – обогреваемые паром вальцы; 4 – рабочая камера; 5 – поперечные планки; 6 – цепной конвейер; 7 – направляющий ролик; 8 – барабан очистки высушенного материала; 9 – СВЧ генераторы; 10 – разгрузочный шнек; 11 – осевые вентиляторы циркуляции сушильного агента; 12 – система отвода отработанного сушильного агента

Устройство функционирует в приведенной ниже последовательности.

Сквозь питатель 1 ПСО поступает на диэлектрическую термостойкую ленту 2 сетчатого исполнения, которая пропускается между паробогреваемыми барабанами 3, вдавливающими диспергированную ПСО в ячейки ленты, которая далее проходит в зону обезвоживания отсека 4, где петляет посредством шарнирно связанных звеньев ленточного полотна 2 и размещенных на нем на определенном расстоянии поперечных планок 5, опирающихся на цепной транспортер 6. Посредством направляющего роликового элемента 7 лента поступает к очистному устройству, оснащеному вращающимся барабаном 8, на котором жестко закреплены шипы, форма и размер которых соответствует внутренней форме и размеру внутренней полости ячеек гибкой ленты 2, которыми сухая ПСО выталкивается из ячеек 2 и отводится из зоны обезвоживания разгрузочным шнековым узлом 10. МВ поток создается посредством встроенных в межпетлевую область магнетронов 9. Принудительная циркуляция теплоносителя 2 осуществляется с помощью осевых вентиляторов 11, причем он перемещается поперек ленточного полотна 2. В аппаратах петлевого типа проводят обезвоживание тонких слоев при h , раной $h = 5...20$ мм для звеньев ленточного полотна при двусторонней МВ обработке или обтекании теплоносителем запрессованного объекта влагоудаления в ячейки металлическим каркаса, нагреваемого барабанами 3. Отработанный сушильный агент вместе с мелкими частицами материала попадает в систему отвода отработанного сушильного агента 12.

Представленная на рисунке 4.10 сушилка может работать по нескольким вариантам влагоудаления: используя только микроволновое излучение с конвективным отводом увлажненного воздуха из сушильной камеры; используя только конвективный подвод энергии с промежуточным подогревом воздуха и частичной рециркуляцией его по зонам; используя комбинированный режим влагоудаления. Положительный эффект предлагаемого устройства достигается как за счет смены способа влагоудаления, так и применения безударного съема высушенного материала с гибкой диэлектрической сетчатой ленты.

ГЛАВА 5 ТЕХНОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЫБНОЙ ПЕЧЕНИ СОМА ОБЫКНОВЕННОГО В НАТИВНОМ И ВЫСУШЕННОМ СОСТОЯНИИ

Субпродукты рыбного происхождения представляют собой значительный источник ценных компонентов, особенно тех, которые имеют функциональную направленность. Выделение этих соединений позволяет придать им дополнительную ценность на рынках более высокого класса, например, в качестве ингредиентов для пищевой промышленности. В настоящее время повышение ценности рыбных субпродуктов является ключевым условием для производства чистых и безотходных продуктов в рыбоперерабатывающей промышленности.

5.1 Определение в печени сома некоторых химических элементов и оценка микробиологических показателей в исследуемом продукте

Содержание вредных для здоровья и токсичных тяжелых металлов и микроэлементов является существенным индикатором безопасности сырьевых материалов. Это особенно важно для печени, где эти вещества могут накапливаться до критических уровней с точки зрения безопасности [85]. Рыбы способны аккумулировать эти металлы из донных отложений, водной среды или корма. Важно отметить, что определенные тяжелые металлы могут оказывать полезное воздействие на рыбу, а, следовательно, и на человека, даже при наличии сравнительно низкой токсичности [94, 89, 124, 91].

В таблице 5.1 приведены данные по доле отдельных микроэлементов и тяжелых металлов в нативной и обезвоженной ПСО.

Таблица 5.1 - Данные по доле отдельных микроэлементов и тяжелых металлов в нативной и обезвоженной ПСО

Вид образца	As	Pb	Ni	Cd	Cu	Zn	Fe	Co
		мкг/кг			мг/кг			
Нативная ПСО	н/о	н/о	1,40	1,80	1,410	13,08	54,820	0,068
Обезвоженная ПСО	н/о	<5	1,8	2,40	8,960	62,190	245,3	0,420

н/о – не обнаружено

Особо отметим, что доля As в окружающей среде не подлежит контролю со стороны человека. Его наличие в пищевых продуктах и водной среде обусловлено бытовыми отходами, промышленными выбросами, химическими загрязнениями, влиянием функционирования фермерских хозяйств, в частности, пестицидами на почве, попадающими вместе с осадками в грунтовые воды и речные акватории, высокой долей As в почвенном слое. Известно, что уровень содержания As во внешней среде в современных условиях критически возрос по причине жизнедеятельности населения планеты [78, 24].

Pb является высокотоксичным металлом. В продуктах растительного и животного происхождения его доля не больше 0,5...1,0 мг/кг. Наибольшая доля присутствует в хищных рыбах, к примеру, в тунце до 2,0 мг/кг, моллюсках и ракообразных (до 10 мг/кг) [25]. Проникая в клеточные структуры Pb в числе иных тяжелых металлов, способствует инактивации ферментных комплексов, реакция в которых осуществляется по сульфгидрильным группам белковых компонентов ферментных комплексов с формированием соединения $-S-Pb-S-$. Pb тормозит интеллектуальное развитие в детском возрасте, повышает кровяное давление и обуславливает сердечно-сосудистые патологии во взрослом возрасте, а также вызывает патологию нервной системы. Известно, что свинцовые соединения органической природы еще более токсичны [78, 25].

При наличии в рационе питания продуктов, обогащенных Ni, он проникает в желудочно-кишечный тракт, где под влиянием соляной кислоты формирует

координационные связи и при этом проникает в кровеносную систему. Переносу Ni способствует альбумин, формирующий с ним комплексы и разносящий его по всему организму. Ni может проникать в клеточные структуры при создании тройного соединения с гистидином и белковой составляющей на поверхности полупроницаемой мембраной клеточной оболочки. При множестве позитивных функциональных способностей Ni его большие дозы могут оказывать и негативное воздействие на организм, что определяется торможением ферментативной активности по причине варьирования уровня окисления. Критической дозой для взрослого индивидуума является 50 мг Ni [80].

Доля Cd в биополимерах по причине его высокой токсичности ориентировочно в 5...10 раз меньше доли Pb. Повышенные его доли присутствуют в какао-порошке (до 0,5 мг/кг), почках животной природы (до 1,0 мг/кг) и рыбном сырье (до 0,2 мг/кг). Смертельная доза для индивидуума составляет 30...40 мг. Спецификой Cd является высокая продолжительность удержания: за сутки из организма выводится лишь 0,1% принятой дозы [78].

Cu способствует формированию костных и соединительных тканевых структур, а также образованию специфических ферментных комплексов. По рекомендации ВОЗ дозой Cu в сутки для взрослого человека является 1,5 мг. Cu содержится во всех тканях, но в основном в печени, менее – в мозге, мышцах, почках и сердце. Завышенная доля Cu в организме может привести к коликам в животе, тошноте, диарее и патологиям печени. Кроме того, считается, что завышенная доля Cu, в особенности при недостатке Zn, может служить причиной депрессии, шизофрении, бессонницы и ускоренного старения организма [78].

Содержание цинка (Zn) в организме взрослого человека относительно невелико и составляет примерно 1,5...2 г. Ежедневная потребность в этом микроэлементе равна 10...15 мг, а максимально допустимая суточная доза не должна превышать 25 мг. Цинк играет ключевую роль на клеточном уровне, участвуя в метаболических процессах и являясь компонентом всех витаминных, ферментных и гормональных комплексов, составляя 98% массы клеточных структур. Присутствие цинка обеспечивает нормальную жизнедеятельность и

благополучие человека. Однако избыточное или неправильное воздействие цинка может привести к негативным последствиям, включая нарушения функционирования иммунной системы, аллергические реакции, ухудшение кровообращения и другие проблемы [78].

Поскольку железо (Fe) не производится в организме, оно поступает в него исключительно через пищу. Железо существует в двух формах: гемовом и негемовом, причем гемовое железо имеет более высокую биодоступность. Ежедневная потребность в железе для взрослой женщины составляет 18 мг, а для беременной женщины — 27 мг. Для мужчин эта норма равна примерно 8 мг, а для детей — 11...15 мг. Клинические проявления дефицита железа могут быть сходны с симптомами гепатита, поэтому для достоверной диагностики патологии необходим биохимический анализ крови. Чрезмерное накопление железа сопровождается признаками, аналогичными коррозии, когда частицы подвергаются окислительным реакциям, что приводит к деструкции тканей. Железо накапливается в печени, поджелудочной железе и сердечной мышце, что может обусловить развитие различных патологий нервной системы и суставов, а также гепатита и диабета.

Кобальт является жизненно важным микроэлементом, входящим в состав витамина В12. Он играет ключевую роль в эритропоэзе, ферментативных реакциях и образовании нервных оболочек. Кроме того, кобальт способствует укреплению иммунной системы и стимулирует активность лейкоцитов для предотвращения инфекций. Несмотря на необходимость в микродозах, в организме взрослого человека содержится не более 2 мг кобальта. Основные запасы этого микроэлемента сосредоточены в печени, а также обнаружены в других органах желудочно-кишечного тракта и почках. Международное агентство по изучению рака классифицирует кобальт и его соединения как «возможно канцерогенные» на основе данных экспериментов на животных при чрезмерном потреблении. Однако для человека доказательств канцерогенности пока не существует [87].

Согласно данным, приведенным в «Сборнике важнейших официальных материалов по санитарным и противоэпидемическим вопросам» с учетом СанПиН

[69], а также в информации представленной работе Чепкасовой А.И. и др. [85], доля предельно допустимых концентраций (ПДК) отдельных элементов составляет, мг/кг: для Pb – 1,0; Cd – 0,2; As – 1,0; Cu – 10; Zn – 200. Сравнивая данные (табл. 5.1) резонно заключить, что доли максимально вредных элементов в ПСО не превышают ПДК.

Выявлены микробиологические параметры ПСО, приведенные в таблице 5.2.

Таблица 5.2 - Микробиологические параметры ПСО

Сырье	МАФАнМ, КОЕ/г	E. coli, кл. в 1 г	БГКП, кл. в 0,1 г	Стафилококк, кл. в 1 г	Сальмонел., кл. в 25 г	Плесень и дрожжи, кл. в 1 г
печень	$5,0 \cdot 10^3$	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
Норма [85]	$1,0 \cdot 10^4$	н/д	н/д	н/д	н/д	200 кл.

н/о – не обнаружено

н/д – не допускается

Очевидно, что пищевое сырье не должно приносить вред здоровью человека в плане возникновения инфекционных заболеваний и микробиологические показатели отвечают за отсутствие в продуктах патогенных микроорганизмов или токсических метаболитов. Из анализа результатов, приведенных в таблице 5.2, вытекает то, что микробиологические параметры ПСО не выходят за рамки нормативных.

5.2 Экспериментальное исследование состава жирных кислот липидов печени сома

Биологическая ценность жиров ПСО обусловлена, в том числе и долей в ней жирных кислот, выявляемой по методике (см. главу 2), приведенной в работах [72, 62].

Доля липидной фракции рассчитывалась следующим образом:

$$x = \frac{G G_1}{(G_2 - G_1)g} \cdot 100, \quad (5.1)$$

где массы G – растворителя; G_1 –липидов; G_2 –фильтрата; g – пробы ПСО, г.

В представленном экспериментальном исследовании проведен количественный анализ содержания жира в сырой и высушенной печени сома. Итоговые данные представлены в виде среднего арифметического, рассчитанного на основе пяти независимых измерений, что обеспечивает достоверность и воспроизводимость результатов (табл. 5.3).

Таблица 5.3 - Данные по содержанию жира в исследуемом рыбном сырье

Вид ПСО	№ эксперимента					Средняя величина
	1	2	3	4	5	
Сырая	21,340	20,590	23,110	22,420	23,290	22,150
Сухая	7,530	7,440	7,210	7,620	7,350	7,430

Приведенные в таблице 5.3 данные демонстрируют высокую липидную ценность рыбных внутренностей из сома обыкновенного, обитающего в дельте реки Волга, которое подтверждается жирно-кислотным составом липидов его печени. Определение состава липидо-кислотного комплекса осуществляли на газовом хроматографе Nexis GC-2030AF (Япония). Исследована ПСО в свежем виде, W составляет 68% и высушенном, W - 5%. На рисунках 5.1 и 5.2 и в [Приложении П], [Приложении Р] представлены типичные хроматограммы их жирно-кислотного состава, построенные при помощи ПО используемого хроматографа.

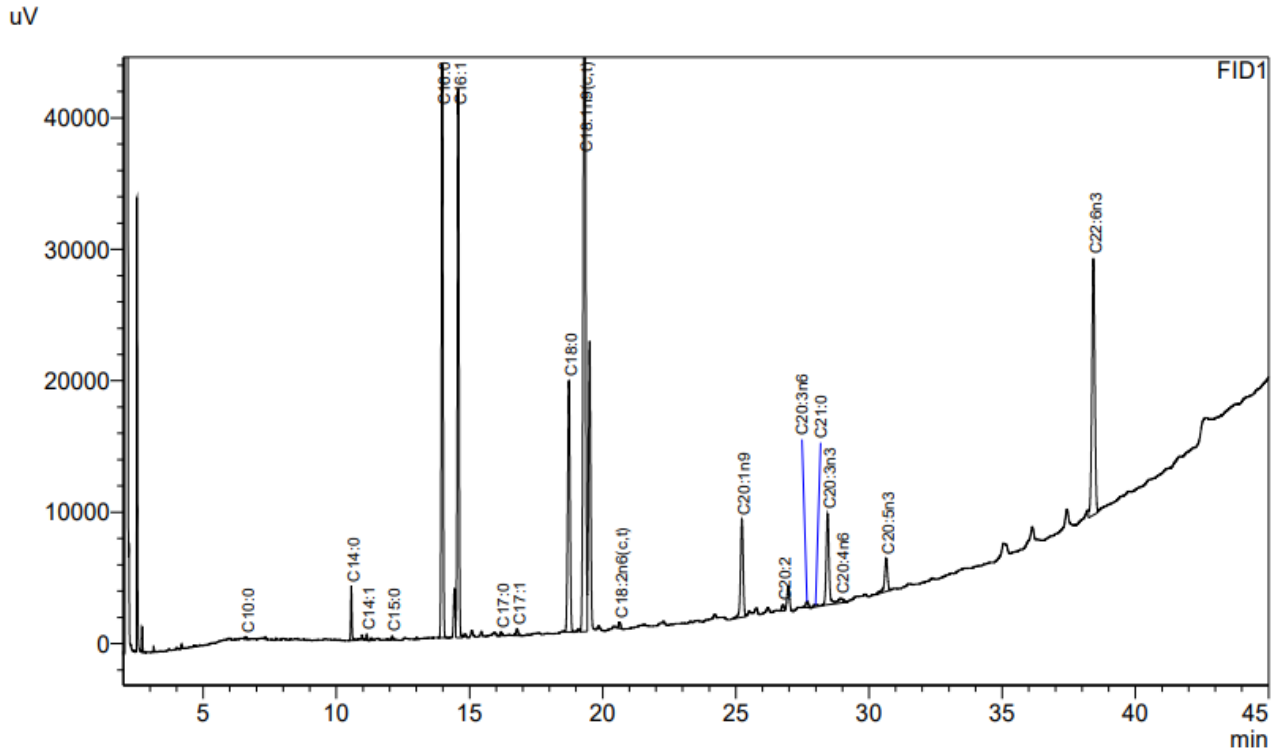


Рисунок 5.1 – Хроматограмма жирно-кислотного состава сырой печени

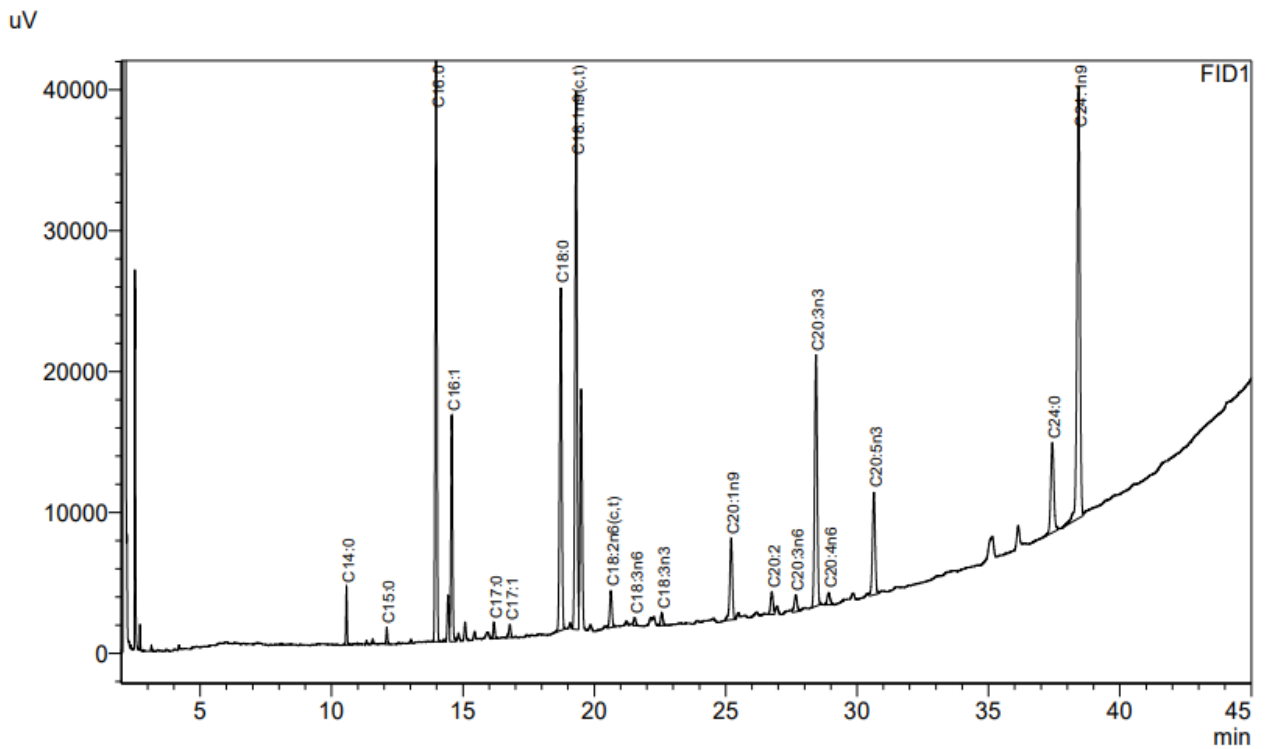


Рисунок 5.2 – Хроматограмма жирно-кислотного состава сухой печени

В таблицах 5.4 и 5.5 представлены данные о жирно-кислотном составе исследуемых образцов печени, полученные посредством детального анализа соответствующих хроматограмм.

Таблица 5.4 - Состав липидо-кислотного комплекса сырой ПСО

№	Длительность удержания	Наименование жирных кислот	Площадь экстремума	Доля, %
Насыщенные (НЖК).				27,310
1	6,61290	Каприновая	1099	0,0940
2	10,5620	Миристиновая	12506	1,0750
3	12,0960	Пентадекановая	1209	0,1040
4	13,9760	Пальмитиновая	184507	15,8600
5	16,1820	Маргариновая	1485	0,1280
6	18,730	Стеариновая	115087	9,8930
7	27,9950	Генэйкозановая	1814	0,1560
Мононенасыщенные (МНЖК), в т.ч.				52,880
8	11,1450	Миристолеиновая	1271	0,1090
9	14,5750	Пальмитолеиновая	179384	15,42
10	16,7870	Гептадеценная	2927	0,2520
11	19,32	Олеиновая ω9	380923	32,7430
12	25,2270	Гадолеиновая ω9	50635	4,3530
Полиненасыщенные (ПНЖК).				19,810
13	20,634	Линолевая ω6	2516	0,2160
14	26,769	Эйкозодиеновая	3150	0,2710
15	27,674	Эйкозатриеновая ω6	3121	0,2680
16	28,444	Эйкозатриеновая ω3	49914	4,2910
17	28,937	Арахидоновая ω6	4740	0,4070
18	30,644	Эйкозапентаеновая ω3	19543	1,680
19	38,424	Эйкозапентаеновая ω3	147529	12,6810

Таблица 5.5 - Состав липидо-кислотного комплекса высушенной ПСО

№	Длительность удержания	Наименование жирных кислот	Площадь экстремума	Доля, %
Насыщенные (НЖК)				34,610
1	10,570	Миристиновая	12158	1,0010
2	12,1030	Пентадекановая	4186	0,3450
3	13,9790	Пальмитиновая	205390	16,9120
4	16,1820	Маргариновая	5113	0,4210
5	18,7240	Стеариновая	140434	11,5640
6	37,4280	Лигноцериновая	53049	4,368
Мононенасыщенные (МНЖК).				47,020
7	14,5740	Пальмитолеиновая	71175	5,8610
8	16,7860	Гептадеценная	5231	0,4310
9	19,3080	Олеиновая ω9	211887	17,4470
10	25,2070	Гадолеиновая ω9	39487	3,2510
11	38,4330	Нервоновая ω9	243285	20,0330
Полиненасыщенные (ПНЖК).				18,370
12	20,63	Линолевая ω6	15729	1,2950
13	21,5350	γ-линолевая ω6	3401	0,2800
14	22,5690	α-линолевая ω3	5278	0,4350
15	26,7570	Эйкозодиеновая	10651	0,8770
16	27,6630	Эйкозатриеновая ω6	8735	0,7190
17	28,4380	Эйкозатриеновая ω3	120756	9,9430
18	28,9160	Арахидоновая ω6	6599	0,5430
19	30,6390	Эйкозапентаеновая ω3	51901	4,2740

Изучение долей жирных кислот приводят к выводу о том, что (табл. 5.4 и 5.5) в ПСО превалирует сумма МНЖК (52,88% – в сырой ПСО, 47,02% – в высушенной ПСО), НЖК по долевному участию находится на второй позиции (27,31% – в сырой ПСО, 34,61% – в высушенной ПСО), а ПНЖК находятся на третьем месте (19,81% – в сырой ПСО, 18,37% – в высушенной ПСО). Принимая данные, приведенные в работах [39, 46, 47] рекомендуемые доли групп ЖК для человека во взрослом возрасте равны для НЖК – 25 г/сутки; МНЖК – 30 г/сутки и ПНЖК – 11 г/сутки. Такую суточную дозу может погасить липидная составляющая путем отжима из высушенной ПСО массой 65 г, для НЖК – 22,49; МНЖК – 30,56 и ПНЖК – 11,95 г. Дефицит НЖК в рыбьем жире успешно гасится суточным рационом питания.

В числе НЖК в высушенной ПСО (табл. 5.5) преобладает пальмитиновая (16,91%) и стеариновая (11,56%) кислоты. При этом пальмитиновая ускоряет синтез липопротеинов и обуславливает падение уровня холестерина в крови. Стеариновая кислота способствует питанию тканей, помогает поддерживать необходимый уровень увлажнения, активизирует процессы выработки элементов межклеточного матрикса, улучшающих упругие и эластичные свойства кожи и артерий [46]. Основными среди МНЖК считают олеиновую (17,45%) и нервоновую (20,03%) ЖК. Известно, что МНЖК являются источником энергии и включены в состав клеточных стенок. Олеиновая ЖК принимает участие в биосинтезе низкомолекулярных биорегуляторов [46]. Нервоновая кислота существует в природе как продукт удлинения олеиновой кислоты, она участвует в качестве промежуточного звена в биосинтезе миелина нервных клеток. Это одна из основных жирных кислот в сфинголипидах головного мозга, обычно составляющая примерно 40% от их общего количества, которые играют важную роль в передаче клеточного сигнала и в клеточном распознавании [53]. Среди ПНЖК выделяются эйкозатриеновая (9,94%) и эйкозопентаеновая (4,27%) ЖК, которые играют важную роль в нашем организме и являются омега-3 ПНЖК. Омега-3 ПНЖК относятся к незаменимым веществам, которые наш организм не производит самостоятельно, но активно использует в обменных процессах. Они необходимы

для нормальной работы большинства органов и систем, являются ключевым нутриентом для сердца, помогает нашему иммунитету, участвуют в гормональной регуляции, снижают риск развития хронических заболеваний и могут применяться взрослыми и детьми [58].

Стоит отметить, что целесообразно учитывать доленое участие не только ЖК, но и их классов (табл. 5.6), что рекомендуется в следующем виде [47].

- НЖК/МНЖК/ПНЖК – 1:1:1;
- ПНЖК/НЖК – 0,2...0,4.

Таблица 5.6 - Доленое участие ЖК и их классов для ПСО

Жиры ПСО	Доленое участие	
	НЖК/МНЖК/ПНЖК	ПНЖК/НЖК
Эталонный жир	1:1:1	0,2...0,4
В нативной ПСО	0,51:1:0,37	0,72
В высушенной ПСО	0,73:1:0,39	0,53

Рассмотрев таблицу 5.6 можно сделать вывод о том, что доленое участие классов ЖК в ПСО в различном виде не отвечает эталонному жиру, но липидный состав обезвоженной ПСО по отношению к нативной особенно по 2-му показателю стремится к эталонному.

5.3 Экспериментальное исследование аминокислотного состава белковой составляющей печени сома

Биологическая эффективность белковой составляющей обусловлена долевым участием аминокислот (АК) при учете доли незаменимых аминокислот (НАК) по отношению к эталонной белковой составляющей [46]. В связи с этим необходимо провести исследование аминокислотного состава белка содержащего

печени сома как в сухом, так свежем технологическом состоянии. АК способствуют синтезу белковых составляющих, росту, восстановлению клеточных структур, стабильности иммунной и нервной систем. Организм человека нуждается в НАК, таких как валин, изолейцин, лейцин, метионин, треонин, триптофан, фенилаланин, лизин.

В таблицах 5.7, 5.8 представлен их аминокислотный состав.

Таблица 5.7 - Аминокислотный состав сырой ПСО

Наименование АК	Доля АК, г/кг	Ошибка (неопределенность), г/кг	Доля АК, %	Относительная ошибка %	Документ на способ испытания
Аспарагиновая	21,650	1,790	9,580	0,180	ГОСТ 34132-2017
Треонин	10,330	0,860	4,570	0,090	
Серин	11,350	0,940	5,020	0,090	
Глутаминовая	29,280	2,430	12,950	0,240	
Пролин	15,220	1,260	6,730	0,130	
Глицин	22,230	1,840	9,830	0,180	
Аланин	14,850	1,230	6,570	0,120	
Валин	11,990	0,990	5,300	0,100	
Изолейцин	9,750	0,810	4,310	0,080	
Лейцин	17,270	1,430	7,640	0,140	
Тирозин	8,420	0,700	3,720	0,070	
Фенилаланин	10,910	0,900	4,820	0,090	
Гистидин	5,770	0,480	2,550	0,050	
Лизин	15,740	1,300	6,960	0,130	
Аргинин	16,760	1,390	7,420	0,140	
Метионин	4,380	0,360	1,940	0,040	
Итого:	226 г/кг или 22,60%	-	100%	-	

Таблица 5.8 - Аминокислотный состав высушенной ПСО

Наименование АК	Доля АК, г/кг	Ошибка (неопределенность), г/кг	Доля АК, %	Относительная ошибка %	Документ на способ испытания
Аспарагиновая	65,990	7,050	9,790	0,710	ГОСТ 34132-2017
Треонин	33,470	3,580	4,960	0,360	
Серин	35,520	3,800	5,270	0,380	
Глутаминовая	95,260	10,180	14,130	1,020	
Пролин	40,150	4,290	5,950	0,430	
Глицин	60,430	6,460	8,960	0,650	
Аланин	45,550	4,870	6,760	0,490	
Валин	37,560	4,010	5,570	0,400	
Изолейцин	31,060	3,320	4,610	0,330	

Лейцин	58,170	6,220	8,630	0,620
Тирозин	20,540	2,190	3,040	0,220
Фенилаланин	30,670	3,280	4,550	0,330
Гистидин	19,550	2,090	2,900	0,210
Лизин	41,120	4,400	6,100	0,440
Аргинин	46,050	4,920	6,830	0,490
Метионин	12,630	1,350	1,870	0,140
Итого:	673,80 г/кг или 67,380%	-	100%	-

Анализ данных, представленных в таблицах 5.7 и 5.8, показал:

- в сырой ПСО суммарная доля белковых составляющих –22,60%;
- в высушенной ПСО – 67,38%;
- в изучаемой ПСО имеются в наличии все необходимые АК, кроме триптофана.

В процессе изучения биополимеров пользуются понятием «идеального» белка (ИБ), который по сбалансированности набора аминокислот в полной мере удовлетворяет потребность в них человеческого организма. Перечень АК в ИБ рекомендован Комитетом ФАО/ВОЗ в 1985г. и обуславливает долю конкретной НАК в 100 г белковой составляющей. Для оценки аминокислот любой субстанции требуется рассчитать содержание аминокислот в 100 г ее белковой фракции и сравнить долю конкретной АК с эталонной шкалой, установленной ФАО/ВОЗ [39, 46, 15].

В ИБ скор конкретной НАК считается 100%. Ограничивающей биологическую эффективность АК, по доле которой она выявляется, будет та, скор которой имеет минимальную величину. Биологическая эффективность белковой составляющей биополимера обусловлена 1-ой из перечня лимитирующей АК [15]. Белковая субстанция может содержать ряд лимитирующих АК. При этом заходит речь о 1-ой, 2-ой, 3-ей и т. д. АК. В этом качестве чаще всего рассматривают лизин, треонин, триптофан и серосодержащие АК (метионин, цистеин) [15]. Результаты исследований биологической ценности белка, определяемой соответствием их содержания незаменимых аминокислот идеальному белку, представлены в таблицах 5.9 и 5.10.

Таблица 5.9 - Соответствие долей АК и их сора ИБ в нативной ПСО

Вид НАК	ИБ	Доля АК, г/100г белка (табл. 5.7)	Скор АК, %
Валин	5	5,300	106
Изолейцин	4	4,310	108
Лейцин	7	7,640	109
Лизин	5,50	6,100	111
Метионин	3,50	1,940	55
Треонин	4	4,570	114
Фенилаланин	6	4,820	80
Общее количество	35	34,680	99

Таблица 5.10 - Соответствие долей АК и их сора ИБ высушенной ПСО

Вид НАК	ИБ	Доля АК, г/100г белка (табл. 5.8)	Скор АК, %
Валин	5	5,570	111
Изолейцин	4	4,610	115
Лейцин	7	8,630	123
Лизин	5,50	6,100	111
Метионин	3,50	1,870	53
Треонин	4	4,960	124
Фенилаланин	6	4,550	76
Суммарное содержание	35	36,29	104

Из таблиц 5.9 и 5.10 следует, что сумма содержания НАК ПСО стремится к ИБ в независимости от ее технологической обработки, в числе которых превалирует лейцин, лизин и валин, обуславливающих нормальную жизнедеятельность организма и его рост [39, 46]. Так, лейцин улучшает иммунную систему и приводит к падению доли сахара в крови, стабилизирует функционирование почек и щитовидной железы, активизирует заживление ран и восстанавливает деструкции костей, а также приводит к деструкции холестерина [46, 73]. В свою очередь лизин обладает антивирусными свойствами, стабилизирует энергетический уровень в организме и поддерживает функционирование сердца по причине формирования карнитина. Кроме того, он способствует образованию коллагена и восстановлению тканей [73]. Валин играет ключевую роль в функционировании печени, обеспечивая удаление потенциально токсичных избыточных азотистых соединений из органа. Кроме того, аминокислота способствует восстановлению и терапии желчного пузыря, печени и

других органов, нарушенных вследствие алкоголизма или наркотической зависимости. Валин также обладает профилактическими свойствами против энцефалопатии и повреждений головного мозга, вызванных избыточным потреблением этанола. [13].

В группе заменимых аминокислот глутаминовая и аспарагиновая АК занимают особое положение. Глутаминовая АК является важным участником азотистого обмена и выполняет функции нейромедиатора. Аспарагиновая АК участвует в синтезе дезоксирибонуклеиновой и рибонуклеиновой кислот, которые служат основными источниками генетической информации в организме [73].

5.4 Определение витаминов А и Е и оценка антиоксидантной активности в печени сома

В образцах мороженой ПСО были выявлены витамины А и Е (Вит. А и Вит. Е), что связано с их метаболизмом в этом материале. Этот метаболизм позволяет использовать ПСО для разработки биологически активных премиксов для пищевых продуктов. Поэтому важно оценить содержание витаминных комплексов в ПСО, которые функционируют как липидорастворимые антиоксиданты.

В таблице 5.11 приведены оценки доли Вит. А и Вит. Е в дефростированной ПСО при хранении не дольше месяца при -25°C.

Таблица 5.11 - Доли Вит. А и Вит. Е в дефростированной ПСО мг/г высушенной ткани

№ испытания	Витамин А	Витамин Е
1	0,00860	0,00540
2	0,01120	0,00620
3	0,00940	0,00130
4	0,01050	0,00290
5	0,00630	0,00120
Средняя величина	0,00920	0,00340

Из таблицы 5.11 вытекает то, что 100 г обезвоженной ПСО гасит суточную дозу Вит. А человеческого организма, что равно 900 мкг рет. экв., а ВЕ в 100 г ПСО явно в дефиците (< 2,5%), поскольку его суточная доза равна 15 мг токоф. экв.

Следует отметить, что вит. А интенсивно подвергается деструкции при соприкосновении с кислородом воздушной среды, окислительными агентами и ультрафиолетовым излучением. Кислород при 120 °С разрушает вит. А за 4-е часа, а при его отсутствии вит. А термостабилен и не разлагается при росте T до 120°С. Разлагается вит. А в присутствии перекиси водорода и пероксидов, формирующихся при прогоркании масла [97]. В группу с собирательным названием «витамин А» входят ретиноиды и каротиноиды. К ретиноидам относятся ретинол (витамин А1), дегидроретинол (витамин А2), ретиналь (альдегид витамина А1) и ретиноевая кислота. В организме витамин А содержится преимущественно в форме ретинола. Большая часть (около 90%) витамина циркулирует в крови. Некоторое количество локализуется в печени, тонком кишечнике, сердце, легких, сетчатке и роговице глаза, эпидермисе, сальных железах кожи и других органах [97, 117].

Витамин Е представляет собой группу соединений, включающую токоферолы и токотриенолы, которые активируют альфатокоферол. Антиоксидантная активность этих комплексов варьируется в зависимости от расположения и количества метильных групп, а также от типа изопреноидов, при наличии фенольного водорода на ядре 2Н-1-бензопиран-6-ола. Витамин Е демонстрирует устойчивость к нагреву до 175°С, но его стабильность снижается в кислой и щелочной среде. Витамин Е не разлагается при нагревании или воздействии воздуха, однако он может разрушаться под прямым солнечным излучением [95, 23].

Установлено, что антиоксидантная активность [84, 85] цельной мороженой и обезвоженной ПСО в 5,2 и 3,7 раза больше этого показателя для карнозина, что обусловлено большой долей пептидов с молекулярным весом 2,5...5,0 кДа [8]. Приведенные результаты не входят в конфликт с известными данными по высушенной горбуше [85].

ГЛАВА 6 НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Развитие рыбной промышленности требует постоянного поиска оптимальных технологических процессов производства, эффективного использования вторичного сырья, а также следования современным тенденциям рынка здорового питания. В условиях перехода к ресурсосберегающим и безотходным технологиям особую актуальность приобретает вовлечение побочных продуктов переработки рыбы в хозяйственный оборот с целью получения продуктов с высокой добавленной стоимостью.

В рамках диссертационной работы в лабораторных условиях проводились эксперименты по извлечению ценных соединений из печени сома, среди которых особое внимание уделялось выделению аминокислотных структур с биоактивными свойствами. Выбор данного объекта исследования обусловлен высоким содержанием белковых и липидных компонентов в рыбных внутренностях, а также их недостаточной вовлеченностью в существующие технологические цепочки. Проведенные исследования направлены на выявление потенциала использования рыбных отходов для создания новых функциональных продуктов питания и добавок в пищевой промышленности.

Однако практическое применение свежей печени сома ограничено ее коротким сроком годности и сложностями транспортировки. Оптимальным решением становится переработка в сухой порошок — концентрированный функциональный продукт с длительным сроком хранения, обладающий стабильными физико-химическими и биологическими характеристиками

Технологическая схема такого производства рассчитана на производительность 1 тонна сырья в сутки и включает следующие этапы.

На первом этапе осуществляется сбор печени сома, которая может поступать как в свежем, так и в замороженном виде. В случае использования замороженного

сырья предварительно проводится стадия дефростации до состояния, обеспечивающего возможность дальнейшей технологической обработки. Свежая печень после поступления на производство подвергается зачистке и мойке с использованием питьевой воды, что позволяет удалить механические загрязнения и нежелательные включения. Образующиеся при этом отходы удаляются из технологического процесса.

Следующий этап — гомогенизация, то есть измельчение и равномерное смешивание печени для получения однородной массы. Это необходимо для обеспечения равномерности последующей сушки и сохранения полезных свойств продукта. Формирование однородной структуры сырья способствует повышению управляемости процесса обезвоживания. Гомогенизация способствует интенсификации тепло- и массообменных процессов на последующих стадиях обработки.

Далее гомогенизированная печёночная масса подвергается процессу сушке, цель которой — снизить влажность с 68% до 5%. Для этого могут применяться два метода энергоподвода: СВЧ-энергоподвод (микроволновое излучение), комбинированный метод (СВЧ + конвективный энергоподвод).

После сушки получается высушенная печень сома массой 340 кг (условно из расчета производительности 1 тонна сырья) — снижение массы обусловлено испарением влаги. Далее продукт проходит этап измельчения, в ходе которого высушенная масса дробится до состояния порошка или мелких кусочков. В процессе измельчения возникают технологические потери — около 3% от массы высушенного продукта.

Заключительными этапами технологического процесса являются фасовка полученной сухой печени сома (в виде порошка) и её хранение в условиях, обеспечивающих сохранность качества и предотвращение вторичного увлажнения.

Технологическая схема разработанной технологии в расчете на переработку 1 тонны печени сома в день представлена на рисунке 6.1.

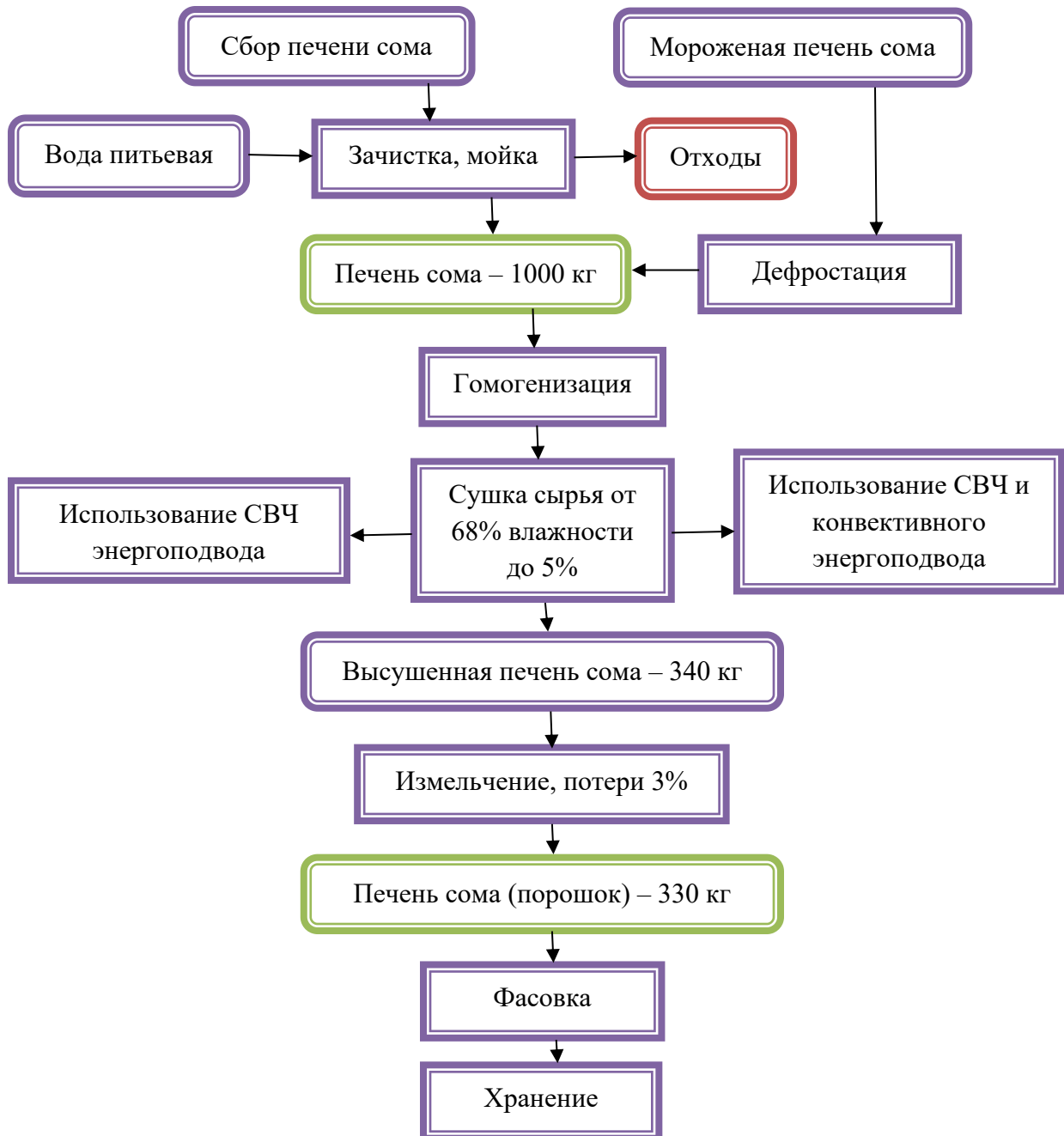


Рисунок 6.1 – Технологическая схема получения сухого порошка из печени сома

Сухая печень сома, используемая в виде порошка, представляет собой перспективное сырье для обогащения пищевых продуктов или может быть их основой. Например, обезвоженный полуфабрикат, особенно в форме тонкодисперсного порошка, является готовой основой для производства БАДов, направленных на коррекцию дефицита железа и витаминов. Высокая концентрация и биодоступность гемового железа делают ее ключевым компонентом в добавках для профилактики и комплексной терапии железодефицитных анемий. Порошок

может быть расфасован в капсулы, прессован в таблетки или использоваться в виде монодозы (рисунок 6.2). Технологическая простота его применения, длительный срок хранения и стандартизация по содержанию нутриентов отвечают всем требованиям индустрии функционального и специализированного питания.



Рисунок 6.2 – Формы фасовки порошка печени сома

Помимо получения порошкообразных продуктов, технология переработки печени сома обыкновенного позволяет формировать альтернативный вид сухого полуфабриката - фрагментированные кусочки сушеной печени. Данный формат продукции представляет особый интерес с точки зрения последующего целевого использования, так как сохраняет структурную целостность ткани и часть нативных биополимерных компонентов, ответственных за текстурные и органолептические свойства.

Кусочки сушеной печени сома обладают уникальной способностью к регенерации жировой фазы и нежной консистенции при контролируемой регидратации в растительном масле (например, оливковом, подсолнечном) с добавлением специй. Дополнительное внесение пряно-ароматических компонентов позволяет целенаправленно корректировать вкусо-ароматический профиль продукта.

В результате регидратации сушеная печень приобретает органолептические характеристики, сопоставимые с традиционными продуктами на основе печени трески, включая выраженную маслянистость, пастообразную консистенцию и насыщенный вкус. При этом использование печени сома обыкновенного как

сырьевой базы обеспечивает более высокий уровень управляемости состава и безопасности готового продукта, поскольку пресноводные объекты аквакультуры в меньшей степени подвержены рискам накопления тяжелых металлов, характерных для печени диких морских рыб.

С технологической и товарной точек зрения полученный продукт может быть позиционирован как паштетная продукция или как деликатесная консервация с регулируемым жировым и вкусовым составом. Такой подход расширяет ассортимент продуктов с добавленной стоимостью, повышает эффективность использования сырья и создает предпосылки для разработки функциональных и специализированных пищевых продуктов на основе печени сома обыкновенного.

Следует также отметить, что высокая питательная ценность и привлекательный для плотоядных животных вкус и запах делают сухую печень сома идеальным сырьем для сегмента зоорациона. Кусочки могут использоваться как готовые сухие лакомства для кошек и собак или после измельчения вводиться в состав витаминизированных подушечек и мясных паст. Порошок может служить высокобелковым и гипоаллергенным вкусоароматическим усилителем и обогатителем для сухих и влажных кормов премиум-класса, повышая их привлекательность и питательную полноценность.

Комплекс выявленных функциональных и технологических свойств продукта из печени сома свидетельствует о широком потенциале его практического применения, что определяет целесообразность дальнейшего развития и расширения данного направления исследований. В этой связи особый интерес представляют перспективы его дальнейшего научного и технологического развития, которые заключаются в масштабировании разработанного способа комбинированной микроволновой сушки для других видов ценного вторичного рыбного сырья с целью создания линейки специализированных пищевых ингредиентов. Также актуальна интеграция полученного порошка в рецептуры функциональных продуктов направленного действия, например, для коррекции микронутриентного статуса у спортсменов или пастообразных рационов

геродиетического питания, что требует углубленных исследований реологических свойств и биодоступности нутриентов в сложных пищевых системах.

6.1. Экономическое обоснование переработки печени сома в сухой порошок для использования в производстве пищевых добавок

Основные показатели, необходимые для расчета себестоимости сухих полуфабрикатов из ПСО, таких как сухой порошок, полученный исключительно с использованием СВЧ излучения, а также в случае частичного применения микроволновой энергии с последующей конвективной сушкой ПСО, могут быть классифицированы на три группы.

Первая группа включает в себя параметры, непосредственно связанные с проектированием производственного процесса, к которым относятся занимаемая производственными площадями территория, состав и номенклатура используемого оборудования, численность задействованного персонала, а также ассортимент производимой продукции и ее объем.

Вторая группа охватывает аспекты организации труда и оплаты труда обслуживающего персонала, включая формы и организацию оплаты, ставки тарифной сетки, размеры дополнительных выплат и премий, а также систему организации трудовой деятельности.

Третья группа определяется на основе нормативных и справочных источников. Она включает нормативы расходов сырьевых и вспомогательных материалов, удельные расходы топливных ресурсов и водных ресурсов, энергоемкость производства, отчисления на социальное обеспечение, стоимость оборудования и оснастки, нормы амортизации основных фондов и другие экономические показатели.

Систематизация этих показателей позволяет более точно оценить себестоимость продукции и оптимизировать производственные процессы.

Таким образом, совокупность перечисленных технико-организационных, трудовых и нормативно-экономических показателей формирует исходную базу для экономического анализа производства сухих полуфабрикатов из печени сома обыкновенного. На основании систематизированных данных становится возможным проведение детального экономического обоснования технологии, определение себестоимости готовой продукции, ключевым этапом которого является расчет затрат, непосредственно связанных с производственным процессом, осуществляемого по технологической схеме получения сухого порошка из печени сома представленной на рисунке 6.1.

Расчет прямых затрат

Анализ рынка сырой печени сома в Астраханской области за 2024 год показал, что ее оптовая цена составляет 150 рублей за килограмм. В соответствии с технологической схемой, затраты на закупку сырья, предназначенного для переработки в течение одного месяца, рассчитываются следующим образом:

$$C = 24000 \cdot 150 = 3600000 \text{ (руб.)}.$$

Для мойки рыбных субпродуктов можно рекомендовать машину VCW-1 (Южная Корея), предназначенную, как для мойки рыбного сырья, так и для глазировки замороженной рыбы [49]. Ориентировочная стоимость такой машины составляет 1,8 млн. руб. Для размораживания рыбных субпродуктов можно рекомендовать машину для размораживания рыбы CHDF-700 (Китай) [43]. Ориентировочная стоимость такой машины составляет 1,5 млн. руб. Гомогенизатор для рыбного сырья стоит порядка 0,2 млн. руб.

Для предприятия, использующего указанные виды оборудования, амортизационные отчисления рассчитываются линейным методом, исходя из первоначальной стоимости актива и периода, в течение которого происходит получение экономической выгоды от его эксплуатации. Период полезного использования технологического оборудования составляет 15 лет, при условии эксплуатации в течение 6 месяцев в году, таким образом:

$$\text{СПИ} = 6 \cdot 15 = 90 \text{ (мес.)}.$$

В исходную стоимость включена цена, установка оборудования, его доставка и иные услуги по его вводу в действие. В рассматриваемом варианте может быть равна около 100000 рублей за минусом доставки.

Вычислим норму амортизации (НА):

$$\text{НА} = \frac{1}{\text{СПИ}} \cdot 100\% = 1,111\%.$$

Для расчета амортизации (А) умножим первоначальную стоимость на норму:

$$A1 = 2100000 \cdot 1,111\% = 23331 \text{ (руб.)};$$

$$A2 = 1800000 \cdot 1,111\% = 19998 \text{ (руб.)}.$$

Для рациональной работы выбранного технологического оборудования (как моечного, так и дефростера) необходима проточная вода, которую примем в качестве затрат на дополнительные материалы. В случае ее рециркуляции на 1 кг сырья необходимо 0,5 литра воды, поэтому общий объем воды (V , м³) равен:

$$V = \frac{24000 \cdot 0,5}{1000} = 12 \text{ (м}^3\text{)}.$$

Стоимость одного куб. метра воды составляет 50,93 руб., в связи с чем часть расходов на дополнительные материалы (ДМ1) с учетом рециркуляции воды будет составлять:

$$\text{ДМ1} = 12 \cdot 1,5 \cdot 50,93 = 917 \text{ (руб.)}.$$

Рециркуляция воды обеспечивается использованием фильтрующих элементов, увеличивающих расходы на дополнительные материалы практически в 2 раза, поэтому:

$$\text{ДМ} = \text{ДМ1} \cdot 2 = 917 \cdot 2 = 1834 \text{ (руб.)}$$

Расход электроэнергии на мойку 1 тонны рыбного сырья ориентировочно составляет 14 кВт·час. Стоимость одного кВт·час составляет 7,32 руб., поэтому расходы на электроэнергию (Э) будут составлять:

$$\text{Э1} = 14 \cdot 24 \cdot 7,32 = 2459 \text{ (руб.)}.$$

Расход электроэнергии на размораживание 1 тонны рыбного сырья ориентировочно составляет 26 кВт·час. Стоимость одного кВт·час составляет 7,32 руб., поэтому расходы на электроэнергию (Э) будут составлять:

$$\text{Э2} = 26 \cdot 24 \cdot 7,32 = 4567 \text{ (руб.)}$$

Для предварительной обработки печени сома с помощью рекомендованной техники необходим штат работников. С зарплаты каждого работника компания отдает государству 43% от суммы: НДФЛ — налог на доходы физических лиц — 13%; взносы на пенсионное страхование — 22%; взносы на медицинское страхование — 5,1%; взносы на социальное страхование — 2,9%; взносы на травматизм 0,2% — 8,5% в зависимости от тарифа.

Штат работников состоит из трех человек: оператор с окладом 45000 руб., заведующий производством с окладом 50000 руб. и клининговый работник с окладом 35000 руб. В итоге фонд заработной платы будет составлять 130000 руб. С учетом налогообложения фонда оплаты труда сумма на зарплату и отчисления (ЗО) будет составлять:

$$\text{ЗО} = 130000 + 43\% = 185900 \text{ (руб.)}$$

На прочие расходы (ПР), как правило нужно закладывать не менее 1% от суммы на закуп сырья, в итоге это будет составлять:

$$\text{ПР} = 3000000 \cdot 1\% = 30000 \text{ (руб.)}$$

Расчет накладных расходов

Энергозатраты, связанные с микроволновой сушкой печени сома, складываются из энергозатрат на использование непосредственно СВЧ генератора, а также на движение диэлектрической ленты и отвода влажного воздуха. Энергозатраты, связанные с последовательным обезвоживанием печени сома, сначала микроволновой сушкой, а затем конвективной, складываются из энергозатрат на использование непосредственно СВЧ генератора, а также на движение диэлектрической ленты, отвода влажного воздуха и подачи сушильного агента (рисунок 4.10).

Микроволновая обработка рыбного сырья в промышленных масштабах требует промышленного оборудования, так как потребляемая мощность возрастает с объемом или потоком, подлежащим обработке. Для обработки больших объемов в заданный промежуток времени, необходимо развернуть большую мощность. Ивановский механический завод занимается проектированием и производством

промышленных СВЧ устройств и оборудования [66]. Мощность каждого устройства составляет от 4 кВт до 10 кВт. Примем для расчета мощность установки 10 кВт с учетом затрат энергии на движение диэлектрической ленты и отвода влажного воздуха, тогда:

$$\text{Э1} = 10 \cdot 8 \cdot 24 \cdot 7,32 = 14054 \text{ (руб.)}.$$

Микроволновая обработка в купе с конвективным энергоподводом потребует полезной мощности оборудования порядка 11 кВт, тогда с учетом затрат энергии на движение диэлектрической ленты и отвода влажного воздуха, получится:

$$\text{Э2} = 11 \cdot 8 \cdot 24 \cdot 7,32 = 15460 \text{ (руб.)}.$$

Штат работников для обслуживания СВЧ-сушильной установки состоит из трех человек: оператор с окладом 45000 руб., заведующий производством с окладом 50000 руб. и клининговый работник с окладом 35000 руб. В итоге фонд заработной платы будет составлять 130000 руб. Штат работников для хранения готовой продукции учитывать не будем. С учетом налогообложения фонда оплаты труда сумма на зарплату и отчисления (ЗО) будет составлять:

$$\text{ЗО} = 130000 + 43\% = 185900 \text{ (руб.)}.$$

Затраты на текущий ремонт и содержание оборудования (ТРС) принимается в размере 8...12% от его стоимости. Оценим стоимость одной сушильной установки в 1000000 руб., тогда:

$$\text{ТРС} = (1000000 - 92\%) \cdot 2 = 160000 \text{ (руб.)};$$

Для учета затрат на содержание помещения (СП), будем исходить из арендной платы за квадратный метр, которая включает все необходимые расходы. Для реализации предлагаемой технологии достаточно 300 м² общей площади всех помещений. Стоимость 1 м² производственных помещений находится в районе 200 руб., поэтому:

$$\text{СП} = (300 \cdot 200) \cdot 3 = 180000 \text{ (руб.)}.$$

Для расчета амортизации (А) умножим первоначальную стоимость на норму:

$$\text{А} = 1000000 \cdot 1,111\% = 11110 \text{ (руб.)}.$$

На прочие расходы (ПР), как правило нужно закладывать не менее 1% от суммы на закуп сырья, в итоге это будет составлять:

$$ПР = 3600000 \cdot 1\% = 36000 \text{ (руб.)}$$

Для удобства экономического обоснования переработки печени сома в сухой порошок примем, что субпродукты, полученные из сырого рыбного сырья, будут обрабатываться только СВЧ сушкой, а субпродукты, полученные размораживанием – СВЧ сушкой и досушиванием при конвективном энергоподводе. Полученные результаты расчета сведены в таблицу 6.1.

Таблица 6.1 - Расчет себестоимости полуфабрикатов, выпускаемых при использовании предлагаемой технологии переработки печени сома обыкновенного

Затраты	Порошок СВЧ	Порошок СВЧ конвекция
Прямые затраты, руб.		
Сырье (С)	3600000	
Доп. материалы	1834	
Оборудование для предварительной обработки (Амортизация)	23331	19998
Энергоресурсы	2459	4567
Зарплата и отчисления	185900	
Прочие расходы	30000	
Итого:	3843524	3842299
Накладные расходы, руб.		
Энергоресурсы	14054	15460
Зарплата и отчисления	185900	
Ремонт и содержание оборудование	160000	
Содержание помещения	180000	
Амортизация ОС	11110	
Прочие расходы	36000	
Итого:	587064	588470
Всего затраты:	4430588	4430769
Выпуск, кг	330·24=7920	330·24=7920
Себестоимость, кг	≈560	≈560

Анализ данных (табл. 6.1) показывает, что практическая реализация предлагаемой технологии на выходе дает конечный продукт с вполне приемлемой для рынка ценой. К тому же, если применение конвективного энергоподвода при снижении продолжительности СВЧ обработки печени сома дает лучший результат, то в этом случае можем считать, что СВЧ-конвективная сушка печени сома является экономически обоснованной технологией.

6.2. Рекомендации по практическому применению результатов диссертационного исследования

В приведенном исследовании эмпирически и теоретически установлено то, что по отношению к иным опубликованным результатам изучения выработки диспергированной и обезвоженной ПСО, как вторичного материала рыбообработки, рекомендуемые технико-технологические решения обладают следующими достоинствами:

- в процессе обезвоживания ПСО при МВ энергоподводе минимизированы теплопотери, потому что тепловая энергия в полной мере выделяется и поглощается в самой ПСО за счет внутреннего источника тепла;

- использование магнетронов высокоэффективно, так как примерно 85% подводимой энергии является полезной, которая в основном, до 80%, затрачивается на МВ парообразование, причем в ряде МВ установок реализуется и остаточные 20% КПД, в частности, тепло, не трансформированное в СВЧ энергию, трансформируется в тепло на магнетронах, от которых сквозь воздухопровод оно поступает к обезвоживаемому материалу, способствуя конвекционному влагоудалению;

- рекомендуемый подход к выработке диспергированной и высушенной ПСО один из самых интенсивных, а его аппаратное обеспечение, легко технически исполнить;

- Обезвоженная ПСО обладает низкую себестоимостью, поскольку реализуется не утилизируемые сырьевые материалы;

- *W* высушенной ПСО не превышает 6%, что обуславливает сравнительно большой срок хранения, но не дольше 6-ти месяцев;

- экологическая безопасность высушенной ПСО без вредных примесей.

Помимо всесторонних исследований рациональных технологических условий процесса сушки с использованием микроволн, в диссертации было изучено, как рассматриваемый объект обезвоживания взаимодействует с электромагнитным полем, в котором он подвергается его воздействию, для обеспечения надлежащей конструкции микроволнового генератора при промышленной реализации сушильной технологии.

Для практического применения сушильной технологии в ходе данной работе разработаны оптимальные режимные параметры для проведения как микроволновой, так и комбинированной конвективно-микроволновой сушки печени сома в тонком слое. Предложена инновационная схема петлевой сушильной установки, интегрирующая микроволновой и конвективный способы подачи энергии, что обеспечит эффективное обезвоживание рыбного субпродукта. Применение данной технологии позволяет получить сухой продукт с заданными потребительскими характеристиками при существенном снижении энергозатрат, что открывает перспективы для повышения энергоэффективности производственного процесса.

Изучение долей жирных кислот приводят к выводу о том, что в ПСО превалирует сумма МНЖК (52,88% – в сырой ПСО, 47,02% – в высушенной ПСО), НЖК по долевному участию находится на второй позиции (27,31% – в сырой ПСО, 34,61% – в высушенной ПСО), а ПНЖК на третьей позиции (19,81% – в сырой ПСО, 18,37% – в высушенной ПСО). Рекомендуемые доли групп ЖК для человека во взрослом возрасте равны для НЖК – 25 г/сутки; МНЖК – 30 г/сутки и ПНЖК – 11 г/сутки. Такую суточную дозу может погасить липидная составляющая путем отжима из высушенной ПСО массой 65 г, для НЖК – 22,49; МНЖК – 30,56 и ПНЖК – 11,95 г. Дефицит НЖК в рыбьем жире успешно гасится суточным рационом питания.

Анализ состава АК в белке содержащего ПСО как в сухом, так свежем технологическом состоянии показал, что: в сырой ПСО суммарное количество белковых составляющих равно 22,60%; в обезвоженной ПСО – 67,38%; в ПСО содержится 7 из 8-ми важных для организма человека: валин, изолейцин, лейцин,

метионин, треонин, фенилаланин, лизин, кроме триптофана. Сумма незаменимых аминокислот содержаемого печени сома практически такое же, что и в идеальном белке в независимости от технологического состояния рыбного субпродукта, среди которых доминируют лейцин, лизин и валин, которые обеспечивают рост и нормальное функционирование организма.

Таким образом, научное обоснование технологии и технических решений сушки рыбной печени за счет исследования технoхимической характеристики обрабатываемого и высушиваемого сырья, разработки рациональных режимных параметров управления этим процессом, а также его аппаратного оформления, позволило получить продукт высокого качества с определенными органолептическими, физико-химическими и структурно-механическими показателями. Все это позволит практикoвым работникам выйти на рынок биологически активных соединений с новыми технико-технологическими решениями и занять в нем определенную нишу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты исследований позволили сделать следующие основные выводы и рекомендации.

1. Проанализированы данные литературных источников на предмет современного состояния и перспектив развития технологии промышленной переработки отходов рыбной промышленности, в частности внутренностей сома обыкновенного, в аспекте выработке из них биологически активных соединений в виде добавок к пище.

2. Определены и математически аппроксимированы зависимости теплофизических, гигроскопических, диэлектрических и плотностных характеристик печени сома, как объекта микроволновой сушки, при реальных температурных и влажностных диапазонах, проведен термодинамический анализ статических закономерностей процесса сорбции им влаги.

3. Изучены, в том числе и экспериментальным путем, и проанализированы кинетические закономерности микроволнового обезвоживания рыбного вторичного сырья и проведена их математическая аппроксимация.

4. Решена, посредством численного метода конечных разностей, математическая модель микроволновой сушки печени сома, адаптированной к объекту исследования, и рекомендованы, на основе ранее проведенных исследований, рациональные режимные параметры организации процесса обезвоживания вторичного рыбного сырья, добытого на Каспии.

В качестве рациональных режимных параметров проведения микроволновой сушки печени сома в тонком слое следует принять следующие:

- начальная влажность высушиваемого сырья, % – 68 ± 2 ;
- начальная температура высушиваемого сырья, °С – 10 ± 1 ;
- толщина высушиваемого слоя, см – $1,5 \pm 0,1$;

- площадь высушиваемой поверхности должна находиться строго в рамках воздействия поля высокочастотного излучения электромагнитных волн, частотой. МГц – 2450;

- мощность микроволнового излучения, Вт – 180 ± 10 ;
- конечная влажность высушиваемого сырья, % – 5 ± 1 ;
- конечная температура высушиваемого сырья, °С – 85 ± 1 ;
- продолжительность обезвоживания, мин – 28 ± 1 .

В качестве рациональных режимных параметров проведения конвективно-микроволновой сушки печени сома в тонком слое следует принять следующие:

- начальная влажность высушиваемого сырья, % – 15 ± 1 ;
- начальная температура высушиваемого сырья, °С – 70 ± 2 ;
- толщина высушиваемого слоя, см – $1,1 \pm 0,05$;
- температура сушильного агента, °С – 80 ± 2 ;
- скорость сушильного агента, м/с – $2,5 \pm 0,5$;
- конечная влажность высушиваемого сырья, % – 5 ± 1 ;
- конечная температура высушиваемого сырья, °С – 75 ± 1 ;
- продолжительность обезвоживания, мин – 90 ± 3 .

5. Проведены исследования технoхимических показателей печени сома, как вторичного рыбного сырья, и полученные сведения аккумулированы для их практического использования, определены особенности качественного состава веществ, входящих во вторичное рыбное сырье, оценена его безопасность, пищевая и биологическая ценность.

6. Даны рекомендации по практическому использованию результатов исследований сушки печени сома, а также по аппаратурному оформлению этой процедуры.

В качестве заключения хотелось бы отметить, что цель исследования достигнута, благодаря анализу и обобщению классических и современных аналитических и эмпирических методов изучения тепломассопереноса, на базе известных научных достижений и основополагающих работ в области глубокой переработки рыбного сырья и, отдельно, сушильных технологий, положениям

которых соответствуют выводы и рекомендации, представленные в работе. Полученные зависимости и аппроксимирующие уравнения адекватны экспериментальным данным, что подтверждено статистической обработкой результатов измерений. Методическое обеспечение и предложенные в результате исследований конструкторские решения не противоречат известным апробированным методикам рационального проектирования и конструирования аппаратов. Комплекс экспериментов и реализация физико-математической модели процессов тепло и массопереноса проводилась с использованием современных компьютерных математических программ, приборов и оригинальных опытных установок.

Перспективы развития темы включают интеграцию порошка в рецептуры целевых функциональных продуктов, что позволит инновационно модернизировать переработку рыбных отходов, расширив ассортимент инновационных функциональных продуктов, а также масштабирование комбинированной микроволновой сушки на другие виды ценных рыбных отходов для создания ассортимента специализированных пищевых ингредиентов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абасова З.У. Технология продукции общественного питания: [Учеб. пособие] / Абасова З.У. - Махачкала: ГАОУ ВО «ДГУНХ», 2020. - 206 с.
2. Абрамов А.Г. и др. Течения жидкости в полях объемных сил. Ламинарные режимы и устойчивость свободноконвективных течений: [Учеб. пособие] / А.Г. Абрамов, Н.Г. Иванов, В.В. Рис. – СПб.: Политех-пресс, 2020 – 114 с.
3. Алексанян И.Ю. и др. Математические методы численного решения научно-технических задач / Алексанян И.Ю., Максименко Ю.А., Нугманов А. Х.-Х., Титова Л.М. // Внутривузовское издание АГТУ, Астрахань: АГТУ, 2020. – 148 с.
4. Алексанян И.Ю. и др. Развитие научных основ процессов высокоинтенсивной сушки продуктов животного и растительного происхождения: автореф. дис. ... доктора техн. наук: 05.18.12 / Алексанян Игорь Юрьевич. - М., 2001.-52 с.
5. Анализ рынка свежих и замороженных сомов в России – 2025. Показатели и прогнозы. – URL: <https://tebiz.ru/mi/rynok-svezhikh-i-zamorozhennykh-somov-v-rossii?ysclid=lya26kua74643142130> (дата обращения: 30.06.2024). – Текст : электронный.
6. Артеменков Д.В. и др. Сравнительная характеристика роста сомообразных рыб *Silurus glanis* и *Clarias gariepinus* / Д.В. Артеменков, Г.И. Пронина, А. Б. Петрушин, Г. А. Волошин // Рыбоводство и рыбное хозяйство. – 2017. – № 2(134). – С. 14-19.
7. Архипов А.Г. и др. К вопросу о стратегии развития рыбохозяйственной отрасли российской федерации до 2030 года / Архипов А.Г., Осадчий В.М., Сазонова Д.Ю., Саускан В.И., Серпунин Г.Г. // Известия КГТУ. – 2017. – №. 47. – С. 13-21.

8. Аюшин Н.Б. и др. Отходы переработки дальневосточных голотурий как сырье для получения биологически активных добавок к пище / Аюшин Н.Б., Караулова Е.П., Карлина А.Е., Чепкасова А.И., Слуцкая Т.Н. // Известия ТИНРО (Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра). – 2016. – Т. 186. – С. 238-246.
9. Бирман А. Р., Угрюмов С. А., Белоногова Н. А. Прибор для определения плотности твердых тел / Бирман А. Р., Угрюмов С. А., Белоногова Н. А. // Бюллетень Ассоциации Лестех. – 2020. – № 1(1). – С. 28-31.
10. Блинченко А.А., Минухин Л.А. Сушка, как способ консервирования яблок и груш // Молодежь и наука. – 2016. – №. 5. – С. 95-95.
11. Богачев А.И., Дорофеева Л.Н. Состояние продовольственной безопасности, потребления основных продуктов питания и качества продовольствия в России // Вестник НГИЭИ. – 2023. – №. 8 (147). – С. 86-104.
12. Брунауэр С. Адсорбция газов и паров. Том 1. Физическая адсорбция / Брунауэр С.; пер. с англ. под ред. М.Н. Дубинина // Москва: Гос изд-во иностр. лит., 1948. - Т.1. - 784 с.
13. Валин, общая характеристика. – URL: <https://foodandhealth.ru/komponenty-pitaniya/valin/> (Дата обращения: 17.06.2024). – Текст : электронный.
14. Варыгина, В. П. Переработка отходов рыбного производства / В. П. Варыгина, А. И. Давыдова // Комплексные исследования в рыбохозяйственной отрасли: Материалы VI Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Владивосток, 27 ноября 2020 года. – Владивосток: Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, 2021. – С. 192-197.
15. Величко Н.А. Пищевая химия: методические указания к практическим занятиям / Н.А. Величко, Е.В. Шанина; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2011. – 36 с.

16. Вукалович М. П. Таблицы термодинамических свойств воды и водяного пара / Вукалович. М. П. - 7-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергия, 1965. - 400 с.
17. Вызовы и тренды российского рынка рыбной продукции. – URL: <https://tpmag.ru/articles/produktovyij-ritejl/vyizovyi-i-trendyi-rybnoy-industrii/> (дата обращения: 30.06.2024). – Текст : электронный.
18. Гаврилов Н.И., Поздняков Д.В., Устинова М.Э. Обзор способов сушки пищевых продуктов // Инновационные технологии пищевых производств. – 2021. – С. 49-51.
19. Гаузнер С. И. Измерение массы, объема и плотности: [Учеб. пособие для метрол. техникумов] / Гаузнер С. И., С. С. Кивилис, А. П. Осокина, А. Н. Павловский. - Москва: Изд-во стандартов, 1972. - 623 с.
20. Гинзбург, А.С. Сушка пищевых растительных материалов: [Учеб. пособие] / Гинзбург, А.С. - Москва: Пищ. промышленность, 1976. - 248с.
21. Гинзбург А.С. Теплофизические характеристики пищевых продуктов / Гинзбург А.С., Громов М.А., Красовская Г.И. // Москва «Пищевая промышленность», 1980 – 288с.
22. ГОСТ 32043-2012. Премиксы. Методы определения витаминов А, D, Е.: дата введения: 2014-07-01. - Москва: Стандартинформ, 2014. - 14с.
23. Елисеева Т., Мироненко А. Витамин Е описание, польза, влияние на организм и лучшие источники // Журнал здорового питания и диетологии. – 2018. – Т. 4. – №. 6.
24. Жидкин В.И., Семушев А.М. Загрязнение пищевых продуктов нитратами, пестицидами и тяжелыми металлами // Предпринимательство. – 2014. – № 5. – С. 190-198
25. Жидкин В.И., Семушев А.М. Пути загрязнения продовольствия // Третьи чтения памяти профессора О.А. Зауралова: материалы Межд. науч.-практ. конф. – Саранск, 2011. – С. 20-23.
26. Исаченко В.Л. Теплопередача / В.Л. Исаченко, В.А. Осипова, А.Е. Сукомел – М.: «Энергия», 1975. – 458 с.

27. Каменщиков Ф.А., Богомольный Е.И. Нефтяные сорбенты / Ф. А. Каменщиков, Е. И. Богомольный. - Москва: Регулярная и хаотическая динамика, 2005. - 268 с.
28. Касаткин, А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: учеб. для вузов – 11-е изд. – М.: ООО ТИД Альянс, 2005. – 753 с.
29. Касьянов Г.И. и др. Особенности использования протеолитических ферментов внутренностей рыб для обработки слабо созревающего рыбного сырья / Г. И. Касьянов, И. А. Деренкова, С. В. Белоусова, О. В. Косенко // Совершенствование технологии консервирования сырья растительного и животного происхождения: Материалы международной научно-практической конференции, Краснодар, 18 мая 2021 года. – Краснодар: ФГБОУ ВО «КубГТУ», 2021. – С. 166-169.
30. Колончин К.В. Основные положения стратегии развития рыбохозяйственного комплекса на период до 2030 года: проблемы, задачи, приоритеты // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. – 2020. – №. 5. – С. 12-24.
31. Котов Н.Е., Полещук Д. В., Максимова С. Н. Перспективы использования условно пищевых отходов дальневосточных лососевых рыб // Научные труды Дальрыбвтуза. – 2023. – Т. 66. – №. 4. – С. 41-47.
32. Котов Н.Е. и др. Потенциал печени кеты *Oncorhynchus keta* для получения новых пищевых продуктов // Комплексные исследования в рыбохозяйственной отрасли. – 2023. – С. 320-326.
33. Колончин К.В., Труба М.А., Кузичева Н.Ю. Тенденции развития аквакультуры в России: перспективы качественного улучшения продовольственной безопасности и устойчивого роста экономического потенциала отрасли // Продовольственная политика и безопасность. – 2023. – Т. 10. – №. 3. – С. 533-546.
34. Кочанова А.С., Эйсмонт Н.Г. Оценка эффективности методов определения плотности твердых тел неправильной форм // Нанотехнологии. Информация. Радиотехника (НИР-22). – 2022. – С. 129-133.

35. Краснов В.А. Исследование теплоемкости пастообразных пищевых продуктов / Краснов В.А., Максименко Ю.А. и др. // Журнал «Естественные и технические науки» №6 (84) 2015 г. Москва. ISSN 1684-2626 С. 487-490.

36. Красников В.В. Метод комплексного определения теплофизических характеристик вязких жидких, пастообразных и мелкодисперсных материалов / В.В. Красников, А.С. Панин, В.Д. Скверчак // Известия вузов СССР. Пищевая технология, 1976, №2, с. 138.

37. Лабораторная установка по исследованию различных способов сушки материалов. – URL: <https://measlab.ru/catalog/stands/protsessy-i-apparaty/laboratornaya-ustanovka-dlya-issledovaniya-razlichnykh-sposobov-sushki-materialov/> (дата обращения: 30.06.2024). – Текст : электронный.

38. Латкин А.П. Рыбная промышленность Дальнего Востока: исследование управленческих аспектов развития в условиях антироссийских санкций // Территория новых возможностей. Вестник Владивостокского государственного университета экономики и сервиса. – 2023. – Т. 15. – №. 1 (65). – С. 7-17.

39. Лебская Т.К. Сравнительная характеристика пищевой ценности икры некоторых рыб / Т.К. Лебская, А.А. Менчинская // Вестник науки и образования Северо-Запада России. – 2015. – Т. 1. – № 2. – С. 91-97.

40. Лыков А.В. Теория сушки / А.В. Лыков. - М.: Энергия, 1968. - 471 с.

41. Максименко Ю.А. Развитие научно-практических основ и совершенствование процессов сушки растительного сырья в диспергированном состоянии: дис. ... докт. техн. наук: 05.12.18/ Максименко Юрий Александрович. – Астрахань, 2016. - 502 с.

42. Максимова С.Н. и др. Оценка технологического потенциала отходов от переработки тихоокеанских лососей // Пищевая промышленность. – 2021. – №. 11. – С. 96-99.

43. Машина для размораживания рыбы. Водяной дефростер // Промышленное Оборудование Суворовой. – URL: <https://fish50.ru/ribnoe/mashina-dlya-razmorazhivaniya-ribi-chdf-700-1000-1500-2000-3000> (Дата обращения: 17.06.2024). – Текст : электронный.

44. Маркетинговое исследование «Аквакультура в Российской Федерации» – URL: <https://marketing.rbc.ru/research/41779/> (дата обращения: 30.06.2024). – Текст : электронный.

45. Мезенова О.Я. и др. Комплексная переработка рыбных отходов с получением кормовых добавок для аквакультуры и биоразрушаемых пластиков // Р 93 Рыбохозяйственный комплекс России: проблемы и перспективы развития. – 2023. – С. 186.

46. Менчинская, А.А. Пищевая и биологическая ценность икры толстолобика / А. А. Менчинская, Т. К. Лебская // Вестник науки и образования Северо-Запада России. – 2015. – Т. 1, № 1. – С. 136-142.

47. Методические рекомендации. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения российской федерации. – URL: http://www.businesspravo.ru/Docum/DocumShow_DocumID_97295.html (Дата обращения 17.06.2024). – Текст : электронный.

48. Микроволновые сушильные установки – URL: <https://foodmechanics.ru/2017/> (дата обращения: 30.06.2024). – Текст : электронный.

49. Моечная машина конвейерного типа для рыбы. – URL: https://voltekgroup.com/catalog/rybopererabatyvayushchee_oborudovanie/moechnoe_oborudovanie/356/ (Дата обращения: 17.06.2024). – Текст : электронный.

50. Молодцова М.А., Севастьянова Ю.В. Возможности и перспективы использования микроволнового излучения в промышленности (обзор) // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2017. – №. 2 (356). – С. 173-187.

51. Мухамедова Т.О., Павлова А.О. Анализ душевого потребления рыбы и рыбопродуктов и их производства в Российской Федерации Рыбохозяйственный комплекс России: проблемы и перспективы развития: I Международная научно-практическая конференция – Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, 2023. – 676 с.

52. Названы помехи для российской рыбной отрасли. – URL: <https://lenta.ru/news/2024/04/04/nazvany-pomehi-dlya-rossiyskoy-rybnoy-otrasli/> (дата обращения: 30.06.2024). – Текст : электронный.

53. Нервоновая кислота. – URL: https://atamanchemicals.com/nervonic-acid_u26401/?lang=RU (Дата обращения: 17.06.2024). – Текст : электронный.

54. Никитина Л.М. Термодинамические параметры и коэффициенты массопереноса во влажных материалах. / Л.М. Никитина, - Издательство «Энергия» Москва, - 1968г. – 499 с.

55. Никифорова А.П. Обзор методов рациональной переработки отходов рыбных производств //Комплексны исследования в рыбохозяйственной отрасли. – 2021. – С. 263-267.

56. Никулина М.А. Совершенствование процесса инфракрасной сушки пищевой съедобной пленки: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.18.12.: Никулина Мария Александровна - Санкт-Петербург, 2018. – 150 с.

57. Нормы потребления витаминов. – URL: <https://komplivit.ru/articles/vse-o-vitaminakh/normy-potrebleniya-vitaminov/?ysclid=m00j55ffnq89392190> (Дата обращения: 17.06.2024). – Текст : электронный.

58. Омега-3: особенности и польза. – URL: <https://shop.evalar.ru/health/item/что-такое-омега-3/?ysclid=lzbbpni2r3625776818> (дата обращения: 17.06.2024). – Текст : электронный.

59. Санитарные правила и нормы. Гигиенические требования к срокам годности и условиям хранения пищевых продуктов. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/402716140/> (дата обращения: 17.06.2024). – Текст : электронный.

60. Особенности микроволновой сушки. – URL: <https://www.ingredient.su/news/mikrovolnovaj-sushka.html?ysclid=lya4u4puj550408280> (дата обращения: 30.06.2024). – Текст : электронный.

61. Панин А.С. Экспресс-метод определения коэффициента теплопроводности пастообразных и мелкодисперсных материалов / Панин А.С., Скверчак В.Д. // Известия вузов СССР. Пищевая технология, 1974, №1, С. 140-143.

62. Патент № 2109232 С1 Российская Федерация, МПК F26В 11/04. Барабанная микроволновая сушилка: № 95109347/06: заявл. 06.06.1995: опубл. 20.04.1998 / В.А. Монолаков, В.В. Юдин; заявитель Ульяновский государственный технический университет.

63. Перкель Р.Л., Попов В.С. Определение содержания жиров методом ТФЭ // Аллея науки. – 2018. – Т. 4. – №. 11. – С. 232-236.

64. Петрушин В. А. Рыбоводно-биологическая оценка сома обыкновенного (*Silurus glanis* L.), выращиваемого в карповых хозяйствах разных зон рыбоводства: диссертация ... кандидата сельскохозяйственных наук: 06.04.01 / Петрушин В. А. - Москва, 2017. - 126 с.

65. По какой причине частоты микроволновой печи находятся на частоте 2,45 ГГц. – URL: <https://dzen.ru/a/ZWx-OmNJnWRX4HKN?ysclid=lzo3xzq7l019971147> (Дата обращения: 17.06.2024). – Текст : электронный.

66. Покопцева А.А. Интенсификация теплопереноса при сушке гранулированной клейковины: автореф. дис. ... канд. сел. наук: 06.04.01 / Покопцева Аделина Альбертовна - Москва, 2017. - 126 с.

67. Производство промышленных СВЧ-печей. – URL: https://iv-mashzavod.ru/microwave_oven.html (Дата обращения: 17.06.2024). Текст : электронный.

68. Рущиц А. А., Щербакова Е. И. Применение СВЧ-нагрева в пищевой промышленности и общественном питании / А. А. Рущиц, Е. И. Щербакова // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. – 2014. – Т. 2, № 1. – С. 9-15.

69. Рынок переработки рыбных отходов вырастет на треть через 10 лет. – URL: https://www.fishnet.ru/news/novosti_otrasli/rynok-pererabotki-rybnyh-othodov-vyrastet-na-tret-cherez-10-let/ (дата обращения: 30.06.2024). Текст : электронный.

70. Сборник важнейших официальных материалов по санитарным и противоэпидемическим вопросам. – URL:

<https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293731/4293731790.pdf?ysclid=lxme6nue112853839>

9 (Дата обращения: 17.06.2024). Текст : электронный.

71. Сельчук В. Ю., Б. О. Толокнов и др. Железодефицитная анемия: современное состояние проблемы / С. С. Чистяков, Б. О. Толокнов и др. // РМЖ. Приложение. Онкология. – 2012. – Т. 3, № 1. – С. 1-8.

72. Семенов Г. В., Касьянов Г. И. Сушка сырья: мясо, рыба, овощи, фрукты, молоко: [Учеб. пособие] / Семенов Г. В., Касьянов Г. И. - Ростов: МарТ, 2002. - 112 с.

73. Сергеева А.С. Актуальные вопросы определения содержания жира в пищевых продуктах и продовольственном сырье (обзор) // Эталоны. Стандартные образцы. – 2024. – Т. 20. – №. 1. – С. 59-84.

74. Скурихин И.М., Волгарев М.Н. Химический состав пищевых продуктов: [Справочник] / Скурихин И.М., Волгарев М.Н. - М.: Агропромиздат, 1987. – 358 с.

75. Соколов А.В. Научное обоснование комплексной переработки вторичного сырья рыбной промышленности: состав, свойства и инновационные технологии: автореф. дис. ... доктора тех. наук: 05.18. 04 / Соколов Александр Викторович, 2020. - 457 с.

76. Сомоводство: широкие возможности для большой страны. – URL: www.zarubejom.ru/articles/somovodstvo-shirokie-vozmozhnosti-dlya-bolshoy-strany/ (дата обращения: 30.06.2024). Текст : электронный.

77. Способы сушки мясных продуктов. – URL: <https://lektsia.com/3x2a20.html> (Дата обращения: 17.06.2024). Текст : электронный.

78. Степанова Т.Е., Шалухо В.А. Ресурсоэффективные технологии на предприятиях рыбной отрасли региона // Балтийский морской форум. – 2022. – С. 425-429.

79. Сульдина Т.И. Содержание тяжелых металлов в продуктах питания и их влияние на организм // Рациональное питание, пищевые добавки и биостимуляторы. – 2016. – №. 1. – С. 136-140.

80. Тагер А.А., Цилипоткина М. В. Пористая структура полимеров и механизм сорбции // Успехи химии. – 1978. – Т. 47. – №. 1. – С. 152-175.
81. Физиологическое влияние никеля на организм человека, польза и вред. – URL: <https://zctc.ru/sections/econickl?ysclid=lzxq47p8ts361523345> (Дата обращения: 17.06.2024). Текст : электронный.
82. Физические свойства воздуха. – URL: <https://www.highexpert.ru/content/gases/air.html> (Дата обращения: 17.06.2024). Текст: электронный.
83. Филоненко Г.К. Сушка пищевых растительных материалов: [Учеб. пособие] / Г. К. Филоненко, М. А. Гришин, Я. М. Гольденберг, В. К. Коссек. - Москва: Пищ. промышленность, 1971. - 439 с.
84. Цибизова М. Е. Научное обоснование и методология переработки водных биологических ресурсов Волжско-Каспийского рыбохозяйственного бассейна: диссертация ... доктора технических наук: 05.18.04 / Цибизова Мария. Евгеньевна - Астрахань, 2014. - 406 с.
85. Чепкасова А.И. Н. Б. Аюшин, М. И. Юрьева. О комплексной переработке печени дальневосточных лососей / А. И. Чепкасова, [и др.] // Известия ТИНРО. – 2011. – Т. 167. – С. 240-251.
86. Чепкасова А.И. и др. Технохимическая характеристика печени лососевых рыб и перспективы ее использования // Известия ТИНРО (Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра). – 2009. – Т. 159. – С. 325-336.
87. Шабарова А. Б., Кислицына А. А. Теория тепломассопереноса в нефтегазовых и строительных технологиях: [учебник для вузов] / Шабарова А. Б., Кислицына А. А. - Москва: Изд-во Юрайт, 2025. - 332 с.
88. Шелестун А., Елисеева Т. Кобальт (Co) – значение для организма и здоровья, где содержится // Журнал здорового питания и диетологии. – 2022. – Т. 2. – №. 20. – С. 83-90.

89. Яровой И.И. Микроволновая сушка растительного сырья–ближайшие перспективы // Научные труды [Одесской Национальной академии пищевых технологий]. – 2011. – №. 39 (2). – С. 240-245.
90. Al-Busaidi M. et al. Toxic metals in commercial marine fish in Oman with reference to national and international standards // *Chemosphere*. – 2011. – Т. 85. – №. 1. – С. 67-73.
91. Arukwe A. et al. Immunohistochemical analysis of the vitellogenin response in the liver of Atlantic salmon exposed to environmental oestrogens // *Biomarkers*. – 1999. – Т. 4. – №. 5. – С. 373-380.
92. Ayanda I. O., Ekhtor U. I., Bello O. A. Determination of selected heavy metal and analysis of proximate composition in some fish species from Ogun River, Southwestern Nigeria // *Heliyon*. – 2019. – Т. 5. – №. 10.
93. Azari A., Ahari H., Anvar A. A. Increased shelf life of *Oncorhynchus mykiss* (Rainbow trout) through Cu-Clay nanocomposites // *Food Science and Biotechnology*. – 2022. – Т. 31. – №. 3. – С. 295-309.
94. Bechtel P.J., Oliveira A. C. M. Chemical characterization of liver lipid and protein from cold-water fish species // *Journal of Food Science*. – 2006. – Т. 71. – №. 6. – С. S480-S485.
95. Castro-Gonzalez M. I., Mendez-Armenta M. Heavy metals: Implications associated to fish consumption // *Environmental toxicology and pharmacology*. – 2008. – Т. 26. – №. 3. – С. 263-271.
96. Cho S. H., Choi Y. Lipid peroxidation and antioxidant status is affected by different vitamin E levels when feeding fish oil // *Lipids*. – 1994. – Т. 29. – №. 1. – С. 47-52.
97. Datta A. K., Sumnu G., Raghavan G. S. V. Dielectric properties of foods // *Engineering properties of foods*. – CRC Press, 2014. – С. 523-588.
98. Drummond J. C., Zilva S. S. The origin of the vitamin A in fish oils and fish liver oils // *Biochemical Journal*. – 1922. – Т. 16. – №. 4. – С. 518.

99. Estiasih T. et al. Valorisation of viscera from fish processing for food industry utilizations // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – IOP Publishing, 2021. – T. 924. – №. 1. – C. 012024.
100. Falch E. et al. Geographical and seasonal differences in lipid composition and relative weight of by-products from gadiform species // Journal of Food Composition and Analysis. – 2006. – T. 19. – №. 6-7. – C. 727-736.
101. Gao R. et al. Production, bioactive properties, and potential applications of fish protein hydrolysates: Developments and challenges // Trends in Food Science & Technology. – 2021. – T. 110. – C. 687-699.
102. Gomez J. M. et al. Growth hormone receptors in ovary and liver during gametogenesis in female rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) // Reproduction. – 1999. – T. 115. – №. 2. – C. 275-285.
103. Harmon J. S., Michelsen K. G., Sheridan M. A. Purification and characterization of hepatic triacylglycerol lipase isolated from rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* // Fish Physiology and Biochemistry. – 1991. – T. 9. – C. 361-368.
104. Hirono I. et al. Two different types of hepcidins from the Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* // The FEBS Journal. – 2005. – T. 272. – №. 20. – C. 5257-5264.
105. Jaghdani T. J. et al. Salmon trade duration: The application of firm-level trade transaction data from the Norwegian salmon industry // Agribusiness. – 2024. – T. 40. – №. 2. – C. 325-348.
106. Jai Ganesh R., Nazeer R. A., Sampath Kumar N. S. Purification and identification of antioxidant peptide from black pomfret, *Parastromateus niger* (Bloch, 1975) viscera protein hydrolysate // Food Science and Biotechnology. – 2011. – T. 20. – C. 1087-1094.
107. Kilic A. Low temperature and high velocity (LTHV) application in drying: Characteristics and effects on the fish quality // Journal of Food Engineering. – 2009. – T. 91. – №. 1. – C. 173-182.
108. Kipcak A.S. Microwave drying kinetics of mussels (*Mytilus edulis*) // Research on Chemical Intermediates. – 2017. – T. 43. – C. 1429-1445.

109. Kipcak A.S., Ismail O. Microwave drying of fish, chicken and beef samples // *Journal of food science and technology*. – 2021. – T. 58. – C. 281-291.
110. Krawczenko A., Ciszak L., Malicka-Blaszkiewicz M. Carp liver DNase-isolation, further characterization and interaction with endogenous actin // *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*. – 2005. – T. 140. – №. 1. – C. 141-151.
111. Liu S., Fukuoka M., Sakai N. Dielectric properties of fish flesh at microwave frequency // *Food Science and Technology Research*. – 2012. – T. 18. – №. 2. – C. 157-166.
112. Li S. et al. Influence of composition, temperature, and frequency on dielectric properties of selected saltwater and freshwater fish // *International Journal of Food Properties*. – 2019. – T. 22. – №. 1. – C. 1920-1934.
113. Mardina V. et al. Euthynnus affinis viscera-an alternative source for protease and lipase enzymes: Characteristic and potential application as destainer agent: Euthynnus affinis viscera as source for protease and lipase enzyme // *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*. – 2020. – T. 21. – №. 12.
114. Marti-Quijal F. J. et al. Fermentation in fish and by-products processing: An overview of current research and future prospects // *Current opinion in food science*. – 2020. – T. 31. – C. 9-16.
115. Metaxas A. C., Meredith R. J. *Industrial microwave heating*. – IET, 1983. – №. 4, 378 c.
116. McKim J. M. et al. Isolation and identification of acetyl-CoA carboxylase from rainbow trout (*Salmo gairdneri*) liver // *Lipids*. – 1989. – T. 24. – C. 187-192.
117. Mommsen T. P., Moon T. W., Plisetskaya E. M. Effects of arginine on pancreatic hormones and hepatic metabolism in rainbow trout // *Physiological and Biochemical Zoology*. – 2001. – T. 74. – №. 5. – C. 668-678.
118. Okeefe S. F., Ackman R. G. *Vitamins A, D3 and E in Nova Scotian cod liver oils*. – 1987.

119. Ortiz J. et al. Influence of air-drying temperature on drying kinetics, colour, firmness and biochemical characteristics of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fillets // *Food chemistry*. – 2013. – T. 139. – №. 1-4. – C. 162-169.
120. Park C. H. et al. Hepcidin, a urinary antimicrobial peptide synthesized in the liver // *Journal of biological chemistry*. – 2001. – T. 276. – №. 11. – C. 7806-7810.
121. Pateiro M. et al. Nutritional profiling and the value of processing by-products from gilthead sea bream (*Sparus aurata*) // *Marine Drugs*. – 2020. – T. 18. – №. 2. – C. 101.
122. Pereira W. A. et al. Advances in Tilapia farming: Statistical Analysis of the Use of Probiotics and Assessment of their Potentials and Challenges. – 2023.
123. Pham N. D., Khan M. I. H., Karim M. A. A mathematical model for predicting the transport process and quality changes during intermittent microwave convective drying // *Food chemistry*. – 2020 – T. 325. – C. 325.
124. Prabha J. et al. Processing of nutritive fish protein hydrolysate from *Leiognathus splendens* // *International Journal of Peptide Research and Therapeutics*. – 2020. – T. 26. – C. 861-871.
125. Rahman M. S. et al. Study on heavy metals levels and its risk assessment in some edible fishes from Bangshi River, Savar, Dhaka, Bangladesh // *Food chemistry*. – 2012. – T. 134. – №. 4. – C. 1847-1854.
126. Rai A. K. et al. Effect of fermentation ensilaging on recovery of oil from fresh water fish viscera // *Enzyme and Microbial Technology*. – 2010. – T. 46. – №. 1. – C. 9-13.
127. Rana S. et al. Fish processing waste: a novel source of non-conventional functional proteins // *International Journal of Food Science & Technology*. – 2023. – T. 58. – №. 5. – C. 2637-2644.
128. Richards R. C. et al. Histone H1: an antimicrobial protein of Atlantic salmon (*Salmo salar*) // *Biochemical and biophysical research communications*. – 2001. – T. 284. – №. 3. – C. 549-555.

129. Rinn R. et al. Bioeconomy in countries of the Mekong region: Stakeholder understanding and perceptions in Thailand, Vietnam, and Laos // *Forest Policy and Economics*. – 2024. – T. 162. – C. 103190.

130. Romero A. M. S., Ladwein R. Understanding the role of health consciousness in the consumption of plant-based meat alternatives: a sequential mediation model // *Journal of Sustainable Marketing*. – 2023. – T. 1. – №. 21.

131. Salwanee S. et al. Effects of enzyme concentration, temperature, pH and time on the degree of hydrolysis of protein extract from viscera of tuna (*Euthynnus affinis*) by using alcalase. – 2013.

132. Saravanan A. et al. Fish processing discards: A plausible resource for valorization to renewable fuels production, optimization, byproducts and challenges // *Fuel*. – 2023. – T. 335. – C. 127081.

133. Schleicher C.H., Santome J.A. Purification, characterization, and partial amino acid sequencing of an amphibian liver fatty acid binding protein // *Biochemistry and cell biology*. – 1996. – T. 74. – №. 1. – C. 109-115.

134. Solyom K. et al. Effect of temperature and moisture contents on dielectric properties at 2.45 GHz of fruit and vegetable processing by-products // *RSC advances*. – 2020. – T. 10. – №. 28. – C. 16783-16790.

135. Speers-Roesch B., Ballantyne J. S. Activities of antioxidant enzymes and cytochrome c oxidase in liver of Arctic and temperate teleosts // *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*. – 2005. – T. 140. – №. 4. – C. 487-494.

136. Srivastava A. S. et al. Purification and properties of cytosolic alanine aminotransferase from the liver of two freshwater fish, *Clarias batrachus* and *Labeo rohita* // *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*. – 2004. – T. 137. – №. 2. – C. 197-207.

137. Vazquez J. A. et al. Production of valuable compounds and bioactive metabolites from by-products of fish discards using chemical processing, enzymatic hydrolysis, and bacterial fermentation // *Marine drugs*. – 2019. – T. 17. – №. 3. – C. 139.

138. Wang Y. et al. Dielectric properties of salmon fillets as a function of temperature and composition // Journal of Food engineering. – 2008. – T. 87. – №. 2. – C. 236-246.

139. Wu Q. Differentiated Competitive Strategy in The Ready-To-Cook Food Market: A Case Study from Freshippo // Highlights in Business, Economics and Management. – 2023. – T. 20. – C. 394-399.

140. Yesilsu A.F. et al. Fish Waste to Valuable Products: Nanotechnological Approach // BioNanoScience. – 2024. – C. 1-19.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А. Сведения об объеме добыче (вылове) водных биоресурсов и производства товарной продукции за 2023-2024 годы в Астраханской области



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО РЫБОЛОВСТВУ
(РОСРЫБОЛОВСТВО)

ВОЛГО-КАСПИЙСКОЕ
ТЕРРИТОРИАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ

ул. Яблочкова дом 38 А, Астрахань 414052
тел.8(8512) 47-99-11, факс 8(8512) 47-99-13
E-mail: astrakhan@vktu.fish.gov.ru

23.04.25, № 02-04-09/192

На № _____ от _____

Ректору ФГБОУ ВО «АГТУ»

А.Н. Неваленному

414056, г.Астрахань,
ул.Татищева, 16

E-mail: okonnova88@gmail.com

Уважаемый Александр Николаевич!

На Ваше письмо от 21.04.2025 № 02/1-931 Волго-Каспийское территориальное управление Росрыболовства (далее – Управление) направляет информацию об объемах добычи (вылове) водных биоресурсов и производства продукции товарной аквакультуры за 2023-2024 годы по Астраханской области.

Приложение: на 3-х листах.

С уважением,

И.о. руководителя

П.С. Головкин

**Информация по добыче (вылову) водных биоресурсов в целях
промышленного рыболовства во внутренних водоемах
Астраханской области (река Волга и ее водотоки) за 2023-2024
годы**

Виды водных биоресурсов	Фактическое освоение, тонны	
	2023	2024
Сельдь-черноспинка	79,910	0,000
Вобла	577,615	297,715
Судак	1463,280	1929,205
Лещ	7063,869	5826,078
Сом пресноводный	1095,804	999,562
Щука	647,197	552,719
Сазан	600,263	720,135
Раки	14,251	12,127
Бадяга (в мокром виде)	15,730	0,700
Линь	42,262	45,892
Амур белый	15,762	12,988
толстолобики	117,076	87,611
жерех	491,783	463,497
окунь пресноводный	283,979	247,668
чехонь	154,866	174,040
синец	36,807	42,527
красноперка	560,274	440,518
карась	1740,781	1243,053
густера	998,902	688,552
плотва	45,140	2,590
рыбец (прилов)	7,310	3,456
Итого:	16052,861	13790,633

**Информация по добыче (вылову) водных биоресурсов в целях
прибрежного/промышленного рыболовства в Каспийском море
(Астраханская область) за 2023-2024 годы**

Виды водных биоресурсов	Фактическое освоение, тонны	
	2023	2024
Вобла	96,917	32,330
Судак	665,907	769,102
Лещ	3881,674	4024,096
Сом пресноводный	4192,849	4225,839
Щука	2449,788	2793,843
Сазан	1850,079	1795,667
Раки	15,541	15,585
Сельдь долгинская	167,377	130,090
Пузанок каспийский	3,455	0,733
Пузанок большеглазый	3,379	0,738
Килька большеглазая	0,000	0,000
Килька обыкновенная	5793,921	3192,717
Кефали (сингиль, лобан)	39,789	87,830
Атерина		0,374
Линь	132,359	92,688
Амур белый	22,602	0,931
Толстолобики	10,617	15,892
Жерех	446,949	575,399
Окунь пресноводный	628,957	679,406
Чехонь	41,385	50,965
Рыбец ,сырть	56,576	106,063
Красноперка	2213,837	1679,696
Карась	3162,741	3034,252
Густера	1147,350	798,150
Бычки	23,882	38,006
Итого:	27047,931	24140,392

**Объёмы производства продукции
товарной аквакультуры в Астраханской области
за 2023-2024гг.**

Объекты аквакультуры	Производство (выращивание) продукции товарной аквакультуры, тонн	
	2023г	2024г
Осетр	1400	1601
Стерлядь	502	543
Рыба осетровая прочая	0	140
Бестер	205	251
Белуга	163	232
Веслонос	180	43
Карп	5260	5020
Амур	3007	3502
Толстолобик	6829	7542
Раки пресноводные	15	27
Рыба карповая прочая	0	600
Рыба прочая не включенная в группы	1708	1107
Щука	421	287
Сазан	11	23
Судак	830	384
Сом	115	92
Окунь	1	0
Общий итог	20647	21394

Приложение Б. Патент на полезную модель

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** (11)**231 633** (13) **U1**

(51) МПК
F26B 15/24 (2006.01)
F26B 3/347 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
F26B 15/24 (2024.08); *F26B 3/347* (2024.08)

(21)(22) Заявка: 2024135838, 29.11.2024
(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
29.11.2024
Дата регистрации:
04.02.2025
Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 29.11.2024
(45) Опубликовано: 04.02.2025 Бюл. № 4
Адрес для переписки:
127434, Москва, ул. Тимирязевская, 49, РГАУ
- МСХА имени К.А. Тимирязева, Управление
научной и инновационной деятельности

(72) Автор(ы):
Нугманов Альберт Хамед-Харисович (RU),
Бакин Игорь Алексеевич (RU),
Яснов Андрей Сергеевич (RU),
Алексамян Игорь Юрьевич (RU),
Меркурьев Николай Владимирович (RU),
Арабов Семид Михайлович (RU),
Мустафина Анна Сабирдзяновна (RU)

(73) Патентообладатель(и):
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Российский государственный
аграрный университет - МСХА имени К.А.
Тимирязева" (ФГБОУ ВО РГАУ - МСХА
имени К.А. Тимирязева) (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 223942 U1, 07.03.2024. RU
2737381 C1, 27.11.2020. KR 101043334 B1,
21.06.2011. CA 2291048 A1, 03.12.1998.

(54) ПЕТЛЕВАЯ СУШИЛКА

(57) Реферат:
Полезная модель относится к области
пищевой промышленности. Петлевая сушилка,
содержащая питатель влажного материала,
сушильную камеру, в корпусе которой размещена
бесконечная гибкая сетчатая лента, образуя в
камере петли, которая проходит между
обогреваемыми паром вальцами,
обеспечивающими нагрев и вдавливание
влажного продукта внутрь ячеек ленты, кроме
того, сушилка оснащена осевыми вентиляторами
для циркуляции сушильного агента, очистным
устройством, выполненным в виде барабана без

привода с возможностью вращения за счет
контакта с лентой, бункером для сбора сухого
продукта и системой пылеочистки, согласно
полезной модели дополнительно оснащена
магнетронами, смонтированными
перпендикулярно движению ленты в межпетлевом
пространстве, образованном бесконечной гибкой
сетчатой лентой, при этом бесконечная гибкая
сетчатая лента выполнена из диэлектрического
материала. Технический результат - повышение
эффективности процесса сушки пищевых
материалов. 1 ил.

RU 231633 U1

RU 231633 U1

Приложение В. Акты использования результатов исследования

**Общество с ограниченной ответственностью
"Интехпрод"**

414006, г. Астрахань, пер. Бакинский, д.52 тел. -
ИНН 3023000122 КПП 302301001 ОГРН 1103023000464
Р/сч:40702810805000020599
Банк: АСТРАХАНСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ №8625 ПАО СБЕРБАНК
к/с: 30101810500000000602 БИК: 041203602



Абубекерова Л.И.

05 2025г.
М. П.

**АКТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК**

соискателя кафедры «Технологические машины и оборудование»

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Астраханский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «АГТУ»)

Яснова Андрея Сергеевича

Настоящим актом подтверждаем, что результаты научных исследований Яснова Андрея Сергеевича, выполненных в рамках диссертационной работы на соискание ученой степени кандидата технических наук, посвященной совершенствованию процессов в технологии сушки печени сома в поле СВЧ приняты к использованию на предприятии ООО «Интехпрод».

Результаты исследований Яснова Андрея Сергеевича актуальны, представляют практический интерес для возможного внедрения на предприятиях, осуществляющих свою деятельность по переработке рыбы.

 /Яснов А.С.

« 27 » 05 2025 г.

Заместитель директора

 /Павленко М.Н.

« 27 » 05 2025 г.

Общество с ограниченной ответственностью
научно-производственное предприятие
«ИнфоПрод»

ИНН: 3023004409, КПП: 302301001,
ОГРН: 1123023002079, ОКПО: 09099856
414006, г. Астрахань, переулок Бакинский, д. 52.
р/с 40702810005000002265, Отделение N8625 ПАО
Сбербанк г.Астрахань, к/с 30101810500000000602,
БИК 041203602.



Поменко Е.В.

2025г.

**АКТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК**

**соискателя кафедры «Технологические машины и оборудование»
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Астраханский государственный технический
университет» (ФГБОУ ВО «АГТУ»)
Яснова Андрея Сергеевича**

Результаты научно-исследовательской работы Яснова Андрея Сергеевича, выполненные в рамках диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, посвященной совершенствованию технологии сушки печени сома в поле СВЧ используются на ООО НПП «ИнфоПрод». Компанией приняты результаты диссертационного исследования, которые в дальнейшем будут использованы при налаживании производства биологически активных соединений из высушенного рыбного полуфабриката.

Основные выводы и рекомендации будут учтены при организации научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы на предприятии.

Объекты внедрения:

- Конструкция устройства для сушки печени сома (патент на полезную модель 231 633 РФ).

 / Яснов А.С.

« 17 » март 2025 г.

Инженер-технолог:

 / Коптеева А.М.

« 17 » март 2025 г.

Приложение Г. Техническое условие




Федеральное агентство по рыболовству
 Федеральное государственное бюджетное образовательное
 учреждение высшего образования
 «Астраханский государственный технический университет»
 Система менеджмента качества в области образования, воспитания, науки и инноваций сертифицирована
 ООО «ДКС РУС» по международному стандарту ISO 9001:2015

ОКПД 2 10.20.22.110

ОКС 67.120.30

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе и
 инновациям ФГБОУ ВО «АГТУ»


 Максименко Ю.А.
 « 20 » мая 2025 г.

ПЕЧЕНЬ СОМА СУШЕНАЯ Технические условия

ТУ 10.20.22-012- 00471704-2025

Дата введения в действие « 20 » мая 2025г.
 Без ограничения срока действия

РАЗРАБОТАНО:

ФГБОУ ВО «АГТУ»

Аспирант

 А.С. Яснов

Профессор, доктор технических наук

 И.Ю. Алексанян

Профессор, доктор технических наук

 А. X-X Нугманов

Астрахань 2025 г.

Приложение Д. Диплом за научной работу по теме диссертации



НАУКА и ПРОСВЕЩЕНИЕ
МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЦЕНТР НАУЧНОГО СОТРУДНИЧЕСТВА



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ ГОДА 2025

ДИПЛОМ

I место
в секции «Сельскохозяйственные науки»
XVIII Международного научно-исследовательского конкурса
«НАУЧНАЯ СТАТЬЯ ГОДА 2025»

НАГРАЖДАЕТСЯ

ЯСНОВ АНДРЕЙ СЕРГЕЕВИЧ

аспирант
ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет»

автор научной работы:

«ПЕЧЕНЬ СОМА КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ИСТОЧНИК ПОЛЕЗНЫХ
КОМПОНЕНТОВ ДЛЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ РФ»

Гуляев Г.Ю.
Директор МЦНС
«Наука и Просвещение»



15 января 2025 года
Российская Федерация,
город Пенза



НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ
БИБЛИОТЕКА
LIBRARY.RU

● ● ● СЕРИЯ К-727 № 004

Приложение Е. Серебряная медаль за проект по теме диссертации

**XXVIII Московский международный
Салон изобретений и инновационных технологий**



«АРХИМЕД 2025»

ДИПЛОМ

*Решением Международного Жюри
награждается*

СЕРЕБРЯНОЙ МЕДАЛЬЮ

*ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева
авторы: Нугманов Альберт Хамед-Харисович, Бакин Игорь Алексеевич, Яснов
Андрей Сергеевич, Алексанян Игорь Юрьевич, Меркурьев Николай
Владимирович, Арабов Семид
Михайлович, Мустафина Анна Сабирдзяновна
за проект: «Петлевая сушилка»*

*Председатель
Международного Жюри,
академик,
вице-президент РАН*

С.М. Алдошин

Президент Салона

Д.И. Зезюлин

*Руководитель
Федеральной службы
по интеллектуальной
собственности*

Ю.С. Зубов

Россия, Москва, 18.03 - 20.03.2025 г.

**Приложение Ж. Сертификат о награждении премией «Человек труда» за
проведенные исследования по теме диссертации**

ЕДИНАЯ РОССИЯ

**СЕРТИФИКАТ
ПРЕМИИ «ЧЕЛОВЕК ТРУДА»**

**ФЕДЕРАЛЬНОГО ПРОЕКТА ПАРТИИ «ЕДИНАЯ РОССИЯ»
«ВЫБИРАЙ СВОЁ»**

ВРУЧАЕТСЯ:
Яснову Андрею Сергеевичу
победителю регионального этапа по критерию «Молодой специалист»

МЫ, НЫНЕ ЖИВУЩИЕ РОССИЯНЕ, ГОРДИМСЯ ТЕМ, ЧТО ВЫ СМОГЛИ В ПОЛНОЙ МЕРЕ РЕАЛИЗОВАТЬ СВОЙ
ТАЛАНТ, ДОБИТЬСЯ ВПЕЧАТЛЯЮЩИХ РЕЗУЛЬТАТОВ В СВОЕМ ДЕЛЕ, ПРИНЕСТИ ПОЛЬЗУ,
ТРУДОВЫЕ И ТВОРЧЕСКИЕ ПОБЕДЫ РОДИНЕ И НАШЕМУ НАРОДУ!
СЕЙЧАС МЫ ОСОБЕННО ОСТРО ОСОЗНАЕМ, ЧТО ЗНАЧАТ ТАКИЕ СВЕРШЕНИЯ – РАБОТАТЬ РАДИ ОБЩЕГО БЛАГА И
ПРОЦВЕТАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ.
ДЛЯ НАС ЭТО НАСЛЕДИЕ СВЯЩЕННО, МЫ ВЕРНЫ ЕГО ТРАДИЦИЯМ, И ВЫ ВЫДАЮЩИЙСЯ ГРАЖДАНИН РОССИИ –
ЛУЧШЕЕ ТОМУ ПОДТВЕРЖДЕНИЕ.
УВЕРЕНЫ, ЧТО НА ВАШЕМ ПРИМЕРЕ МЫ УВИДИМ ВОЗРОЖДЕНИЕ ЛУЧШИХ ТРАДИЦИЙ ПО ВОСПИТАНИЮ
НАСТОЯЩИХ ПАТРИОТОВ И ТРУЖЕНИКОВ, ГОТОВЫХ СОВЕРШИТЬ ТРУДОВОЙ ПОДВИГ ВО ИМЯ ДАЛЬНЕЙШЕГО
РАСПВЕТА НАШЕЙ СТРАНЫ! СПАСИБО ЗА ВАШЕ СЛУЖЕНИЕ РОССИИ, ЛЮДЯМ И НАШЕМУ ОБЩЕСТВУ!
ПРОДОЛЖАЙТЕ СВОИМ ПРИМЕРОМ ВДОХНОВАТЬ ЛЮДЕЙ НА ЧЕСТНЫЙ И ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЙ ТРУД НА
БЛАГО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ!

Министр промышленности, торговли
и энергетики Астраханской области,
Координатор федерального партийного проекта
«Выбирай свое» в Астраханской области

Щепин Виталий Валерьевич

ВЫБИРАЙ СВОЁ

Приложение 3. Данные экспериментов по нахождению влажности печени сома (W) при разной массе рыбы

Вес образца	x1	x2	x3	x4	x5	x ср	Δx1	Δx2	Δx3	Δx4	Δx5	Δx1²	Δx2²	Δx3²	Δx4²	Δx5²	S_n	S_x	Δx	E_x
Сом, весом 0,54 кг	68,12	67,53	67,69	68,21	67,6	67,83	0,29	-0,3	-0,14	0,38	-0,23	0,0841	0,09	0,0196	0,1444	0,0529	0,31265	0,139821	0,387305	0,570994
Сом, весом 0,89 кг	67,92	69,24	68,73	68,54	71,27	69,14	-1,22	0,1	-0,41	-0,6	2,13	1,4884	0,01	0,1681	0,36	4,5369	1,280957	0,572861	1,586826	2,295091
Сом, весом 1,19 кг	66,89	68,44	68,15	67,53	68,04	67,81	-0,92	0,63	0,34	-0,28	0,23	0,8464	0,3969	0,1156	0,0784	0,0529	0,610369	0,272965	0,756114	1,115047

x_i - численное значение измеряемой величины (влажности печени сома (W));

Δx_i – единичные отклонения;

S_n – среднее квадратичные отклонения;

S_x – среднее квадратичные отклонения средней величины;

Δx – погрешность результатов;

E_x – относительная погрешность.

Приложение И. Данные экспериментов для построения изотерм сорбции влаги печени сома при 298К

Aw, доля	x1	x2	x3	x4	x5	x ср	$\Delta x1$	$\Delta x2$	$\Delta x3$	$\Delta x4$	$\Delta x5$	$\Delta x1^2$	$\Delta x2^2$	$\Delta x3^2$	$\Delta x4^2$	$\Delta x5^2$	Sn	Sx	Δx	Ex
0,045	0,03	0,032	0,029	0,031	0,029	0,03	-0,0002	0,0018	-0,0012	0,0008	-0,0012	0,00000004	0,000003	0,000001	0,000001	0,000001	0,001304	0,000583	0,001615	5,348257
0,09	0,06	0,058	0,058	0,063	0,057	0,06	0,0008	-0,0012	-0,0012	0,0038	-0,0022	0,00000064	0,000001	0,000001	0,000014	0,000005	0,002387	0,001068	0,002958	4,995863
0,16	0,09	0,091	0,087	0,088	0,087	0,09	0,0014	0,0024	-0,0016	-0,0006	-0,0016	0,00000196	0,000006	0,000003	3,6E-07	0,000003	0,001817	0,000812	0,00225	2,539908
0,25	0,26	0,268	0,254	0,261	0,258	0,26	-0,0002	0,0078	-0,0062	0,0008	-0,0022	0,00000004	0,000061	0,000038	0,000001	0,000005	0,005119	0,002289	0,006341	2,436902
0,35	0,54	0,561	0,542	0,537	0,539	0,54	-0,0038	0,0172	-0,0018	-0,0068	-0,0048	0,00001444	0,000296	0,000003	0,000046	0,000023	0,009783	0,004375	0,012119	2,228494
0,455	1,11	1,115	1,090	1,098	1,104	1,10	0,0066	0,0116	-0,0134	-0,0054	0,0006	0,000044	0,000135	0,00018	0,000029	3,6E-07	0,009839	0,004400	0,012188	1,104586
0,565	1,56	1,577	1,534	1,568	1,544	1,56	0,0034	0,0204	-0,0226	0,0114	-0,0126	0,000012	0,000416	0,000511	0,00013	0,000159	0,017516	0,007833	0,021698	1,393944
0,665	2,56	2,589	2,535	2,583	2,546	2,56	-0,0026	0,0264	-0,0276	0,0204	-0,0166	0,000007	0,000697	0,000762	0,000416	0,000276	0,023223	0,010386	0,028768	1,122611
0,75	3,75	3,790	3,708	3,800	3,723	3,75	-0,0042	0,0358	-0,0462	0,0458	-0,0312	0,000018	0,001282	0,002134	0,002098	0,000973	0,040326	0,018034	0,049955	1,330652
0,825	4,8	4,910	4,72	4,85	4,62	4,78	0,02	0,13	-0,06	0,07	-0,16	0,000400	0,0169	0,003600	0,00490	0,025600	0,113358	0,050695	0,140426	2,937774
0,88	11,15	11,198	11,1	11,3	11,020	11,15	-0,0036	0,0444	-0,0536	0,1464	-0,1336	0,000013	0,001971	0,002873	0,021433	0,017849	0,105047	0,046978	0,13013	1,166707
0,92	13,15	13,318	13,072	13,282	13,076	13,18	-0,0296	0,1384	-0,1076	0,1024	-0,1036	0,000876	0,019155	0,011578	0,010486	0,010733	0,114921	0,051394	0,142362	1,080168
0,955	14,29	14,327	14,042	14,342	14,160	14,23	0,0578	0,0948	-0,1902	0,1098	-0,0722	0,003341	0,008987	0,036176	0,012056	0,005213	0,128231	0,057347	0,15885	1,116133
0,98	15,68	15,842	15,602	15,699	15,431	15,65	0,0292	0,1912	-0,0488	0,0482	-0,2198	0,000853	0,036557	0,002381	0,002323	0,048312	0,150355	0,067241	0,186257	1,190082
1	16,77	16,995	16,662	16,829	16,622	16,78	-0,0056	0,2194	-0,1136	0,0534	-0,1536	0,000031	0,048136	0,012905	0,002852	0,023593	0,147917	0,06615	0,183236	1,092279

Приложение К. Данные экспериментов для построения изотерм сорбции влаги печени сома при 313К

Aw, доля	x1	x2	x3	x4	x5	x ср	$\Delta x1$	$\Delta x2$	$\Delta x3$	$\Delta x4$	$\Delta x5$	$\Delta x1^2$	$\Delta x2^2$	$\Delta x3^2$	$\Delta x4^2$	$\Delta x5^2$	Sn	Sx	Δx	Ex
0,045	0,034	0,034	0,032	0,034	0,033	0,03	0,000457	0,000336	-0,001064	0,000736	-0,000464	2E-07	1,13E-07	1,1E-06	5E-07	2E-07	0,000743	0,000332	0,000921	2,752255
0,09	0,068	0,058	0,058	0,063	0,057	0,06	0,007056	-0,002764	-0,002764	0,002236	-0,003764	5E-05	7,64E-06	7,6E-06	5E-06	1E-05	0,004589	0,002052	0,005685	9,355089
0,16	0,102	0,091	0,087	0,088	0,087	0,09	0,010756	0,000061	-0,003939	-0,002939	-0,003939	1E-04	3,72E-09	1,6E-05	9E-06	2E-05	0,006232	0,002787	0,007720	8,489613
0,25	0,338	0,268	0,254	0,261	0,258	0,28	0,062344	-0,007836	-0,021836	-0,014836	-0,017836	0,004	6,14E-05	0,00048	2E-04	0,0003	0,035225	0,015753	0,043636	15,819710
0,35	0,674	0,561	0,542	0,537	0,539	0,57	0,103465	-0,009616	-0,028616	-0,033616	-0,031616	0,011	9,25E-05	0,00082	0,001	0,001	0,058622	0,026216	0,072620	12,726527
0,455	1,372	1,115	1,090	1,098	1,104	1,16	0,216324	-0,040831	-0,065831	-0,057831	-0,051831	0,047	0,001667	0,00433	0,003	0,0027	0,121272	0,054235	0,150230	12,997575
0,565	1,930	1,577	1,534	1,568	1,544	1,63	0,299493	-0,053623	-0,096623	-0,062623	-0,086623	0,09	0,002875	0,00934	0,004	0,0075	0,168325	0,075277	0,208518	12,787606
0,665	3,187	2,589	2,535	2,583	2,546	2,69	0,498677	-0,098919	-0,152919	-0,104919	-0,141919	0,249	0,009785	0,02338	0,011	0,0201	0,279731	0,125099	0,346526	12,891961
0,75	4,380	3,790	3,708	3,800	3,723	3,88	0,500018	-0,090255	-0,172255	-0,080255	-0,157255	0,25	0,008146	0,02967	0,006	0,0247	0,282403	0,126294	0,349835	9,015784
0,825	5,636	4,910	4,720	4,850	4,620	4,95	0,688485	-0,037121	-0,227121	-0,097121	-0,327121	0,474	0,001378	0,05158	0,009	0,107	0,401066	0,179362	0,496833	10,042871
0,88	11,555	11,198	11,100	11,300	11,020	11,23	0,320097	-0,036524	-0,134524	0,065476	-0,214524	0,102	0,001334	0,0181	0,004	0,046	0,207486	0,092790	0,257029	2,287852
0,92	13,119	13,318	13,072	13,282	13,076	13,17	-0,054317	0,144579	-0,101421	0,108579	-0,097421	0,003	0,020903	0,01029	0,012	0,0095	0,117707	0,052640	0,145813	1,106876
0,955	13,906	14,327	14,042	14,342	14,160	14,16	-0,249456	0,171614	-0,113386	0,186614	0,004614	0,062	0,029451	0,01286	0,035	2E-05	0,186669	0,083481	0,231243	1,633602
0,98	15,631	15,842	15,602	15,699	15,431	15,64	-0,009790	0,200947	-0,039053	0,057947	-0,210053	1E-04	0,04038	0,00153	0,003	0,0441	0,149567	0,066888	0,185280	1,184578
1	16,468	16,995	16,662	16,829	16,622	16,72	-0,246997	0,279749	-0,053251	0,113749	-0,093251	0,061	0,07826	0,00284	0,013	0,0087	0,202322	0,090481	0,250633	1,499428

Приложение Л. Программа расчета ТФХ печени сома 45% влажности

09.08.2024, 07:55

Программа ТФХ - печень 45%

Программа расчета ТФХ печени сома 45% влажности

Исходные параметры и единицы их

измерения

τ - время, с

t_c - температура образца, С

t_0 - начальная температура термодатчика, С

$t(\tau)$ - текущая температура в процессе нагрева термодатчика

$D_э$ - эквивалентный размер термодатчика, м
для термодатчика ЛТ-300 $D_э=0.0012$

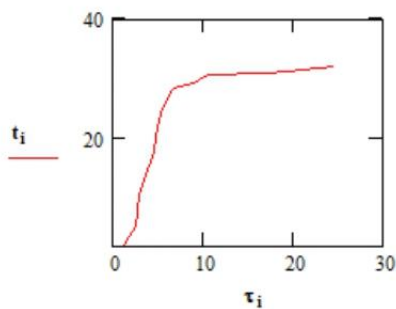
Текущие значения параметров термодатчика в течение процесса

нагревания с определенным шагом

$i := 0, 1.. 13$

$\tau_i :=$ $t_i :=$

0.9	1.33
2.5	5.24
2.8	10.52
3.4	13.17
4.5	17.72
4.8	20.34
5.3	24.16
6.2	27.32
6.8	28.31
8.9	29.22
10.4	30.56
17.2	30.99
19.3	31.11
24.6	32.04



$t_c := 32.04$ $t_0 := 0.62$

Безразмерная температура

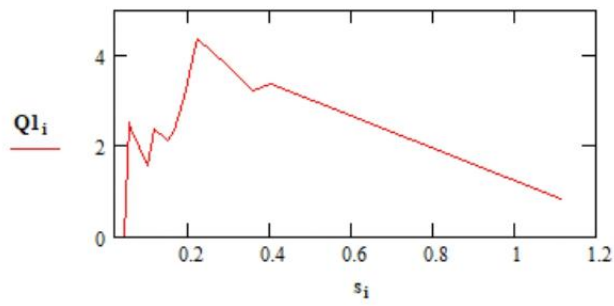
$$Q_i := \frac{t_c - t_i}{t_c - t_0} \quad s_i := \frac{1}{\tau_i}$$

$$Q1_i := Q_i \cdot (\tau_i)^{1.5}$$

09.08.2024, 07:55

Программа ТФХ - печень 45%

$s_i =$	$Q1_i =$
1.111	0.835
0.4	3.372
0.357	3.209
0.294	3.765
0.222	4.351
0.208	3.916
0.189	3.06
0.161	2.319
0.147	2.105
0.112	2.383
0.096	1.58
0.058	2.384
0.052	2.51
0.041	0



$$Q1_{\max} := 4.351 \quad \tau Q_{\max} := \frac{1}{0.222}$$

$$Q_{\max} := \frac{Q1_{\max}}{\tau Q_{\max}^{1.5}}$$

$$Q_{\max} = 0.455$$

$$h1(k) := Q_{\max} \cdot \left[\frac{(2-k)k}{5[(2-k)^2 - 1]} \right]^{-3} \Bigg]^{0.5}$$

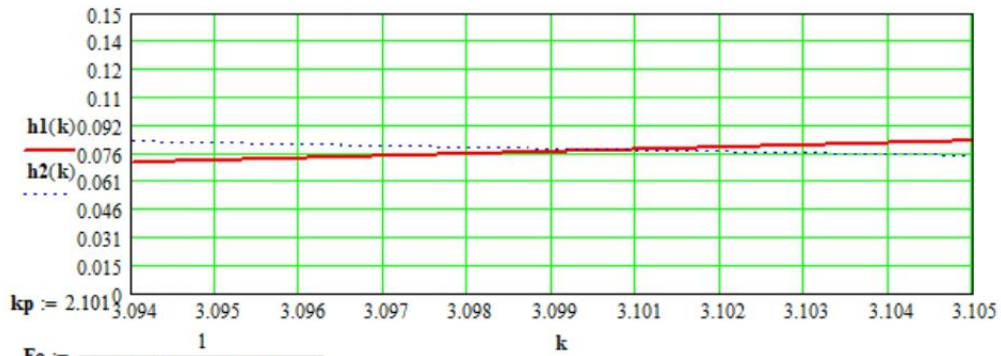
$$h1(3.06) = 0.038$$

$$h2(k) := \left(\frac{1}{2 \cdot 3.14^{0.5} \cdot k} \right) \cdot \left[\frac{0.15(2-k)^2}{(2-k)^2 - 1} \right]$$

$$h2(3.05) = 0.149$$

09.08.2024, 07:55

Программа ТФХ - печень 45%



$$Fo := \frac{1}{\left(\frac{1}{0.16}\right) \cdot \left[\frac{(2 - kp) \cdot kp}{(kp - 2)^2 - 1}\right]}$$

$$Fo = 0.746 \quad De := 0.0008$$

$$a := \frac{Fo \cdot De^2}{\tau Q_{max}} \quad a = 1.06 \times 10^{-7}$$

Зная объёмную теплоемкость эталонной жидкости c_{p2} или объёмную теплоемкость датчика c_{p2} можно найти постоянную термодатчика m

Из опытов по глицерину m равна

$$m := 8.123 \cdot 10^{-7}$$

$$m = 8.123 \times 10^{-7}$$

$$c_{p2} := \frac{3}{m}$$

$$c_{p2} = 3.693 \times 10^6$$

Удельная объёмная теплоемкость исследуемого материала

$$c_{p1} := \frac{kp}{m}$$

$$c_{p1} = 2.586 \times 10^6$$

Плотность исследуемого материала известна ρ_1

$$\rho_1 := 930$$

$$c_1 := \frac{c_{p1}}{\rho_1} \quad c_1 = 2.781 \times 10^3$$

коэффициент теплопроводности исследуемого материала

$$\lambda := a \cdot c_{p1}$$

$$\lambda = 0.274$$

Приложение М. Программа расчета ТФХ печени сома 68% влажности

09.08.2024, 07:53

Программа ТФХ - печень 68%

Программа расчета ТФХ печени сома 68% влажности

Исходные параметры и единицы их

измерения

c - время, с

tc - температура образца, C

to - начальная температура термодатчика, C

t(τ) - текущая температура в процессе нагрева термодатчика

Dэ - эквивалентный размер термодатчика, м
для термодатчика ЛТ-300 Dэ=0.0012

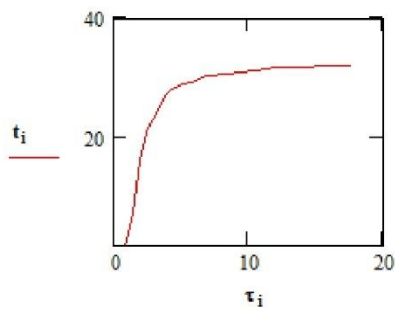
Текущие значения параметров термодатчика в течение процесса

нагревания с определенным шагом

i := 0, 1 .. 13

$\tau_i :=$ $t_i :=$

0.7	0.62
1.4	7.14
1.9	16.28
2.5	21.68
3.3	24.43
3.9	27.29
4.2	28.19
5.1	28.87
5.9	29.32
6.8	30.33
8.4	30.67
10.4	31.09
12.0	31.62
17.6	31.93



tc := 31.93 t0 := 0.48

Безразмерная температура

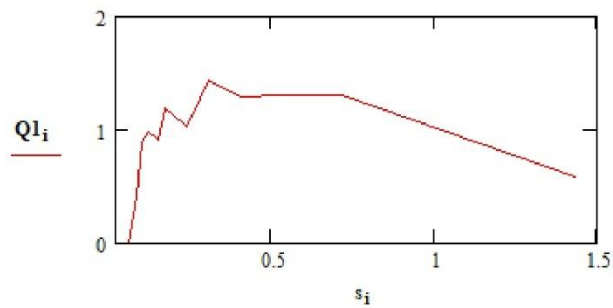
$$Q_i := \frac{tc - t_i}{tc - t0} \quad s_i := \frac{1}{\tau_i}$$

$$Q1_i := Q_i \cdot (\tau_i)^{1.5}$$

09.08.2024, 07:53

Программа ТФХ - печень 68%

$s_i =$	$Q1_i =$
1.429	0.583
0.714	1.306
0.526	1.303
0.4	1.288
0.303	1.43
0.256	1.136
0.238	1.024
0.196	1.121
0.169	1.189
0.147	0.902
0.119	0.975
0.096	0.896
0.083	0.41
0.057	0



$$Q1_{\max} := 1.306 \quad \tau_{Q_{\max}} := \frac{1}{0.714}$$

$$Q_{\max} := \frac{Q1_{\max}}{\tau_{Q_{\max}}^{1.5}}$$

$$Q_{\max} = 0.788$$

$$h1(k) := Q_{\max} \cdot \left[\frac{(2-k)k}{5[(2-k)^2 - 1]} \right]^{-3}{}^{0.5}$$

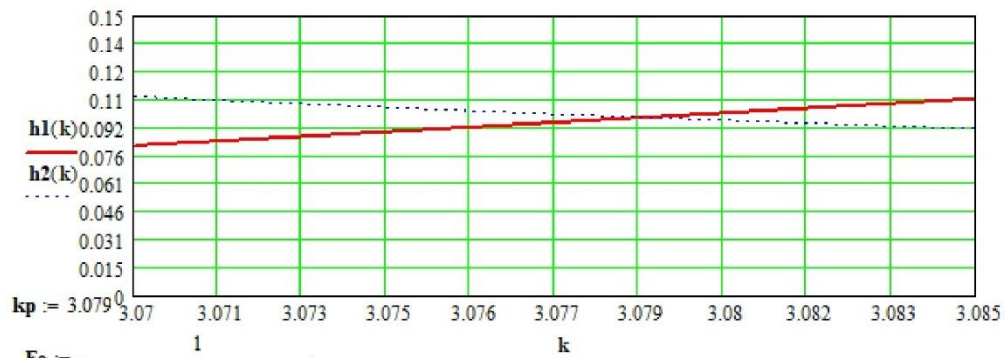
$$h1(3.06) = 0.066$$

$$h2(k) := \left(\frac{1}{2 \cdot 3.14^{0.5} \cdot k} \right) \cdot \left[\frac{0.15(2-k)^2}{(2-k)^2 - 1} \right]$$

$$h2(3.05) = 0.149$$

09.08.2024, 07:53

Программа ТФХ - печень 68%



$$F_0 := \frac{1}{\left(\frac{-1}{5}\right) \cdot \left[\frac{(2 - k_p) \cdot k_p}{(k_p - 2)^2 - 1} \right]}$$

$$F_0 = 0.247 \quad D_e := 0.0008$$

$$a := \frac{F_0 \cdot D_e^2}{\tau Q_{\max}} \quad a = 1.13 \times 10^{-7}$$

Зная объёмную теплоемкость эталонной жидкости c_{p1} или объёмную теплоёмкость датчика c_{p2} можно найти постоянную термодатчика m

Из опытов по глицерину m равна

$$m := 8.123 \cdot 10^{-7}$$

$$m = 8.123 \times 10^{-7}$$

$$c_{p2} := \frac{3}{m}$$

$$c_{p2} = 3.693 \times 10^6$$

Удельная объёмная теплоемкость исследуемого материала

$$c_{p1} := \frac{k_p}{m}$$

$$c_{p1} = 3.79 \times 10^6$$

Плотность исследуемого материала известна ρ_1

$$\rho_1 = 1036$$

$$c_1 := \frac{c_{p1}}{\rho_1} \quad c_1 = 3.659 \times 10^3$$

коэффициент теплопроводности исследуемого материала

$$\lambda := a \cdot c_{p1}$$

$$\lambda = 0.428$$

Приложение Н. Математическая модель расчета полей температур при СВЧ сушке мощностью излучения 90 Вт

Программа расчета полей температур при СВЧ сушке,
с использованием метода конечных разностей по неявной схеме для продукта "Печень сома"

Единицы измерения - система СИ

c - концентрация, кг/кг

t - температура, К

X_k - толщина слоя продукта, м

N - мощность излучения, Вт

мощность излучения - 90 Вт

Толщина слоя X_n := 0 X_k := 0.015

Начальная концентрация C_n := 0.32

Конечная концентрация C_k := 0.95

Коэффициент при коэфф. теплоотдачи при естественной
конвекции и собственном излучении продукта, при температуре 343К

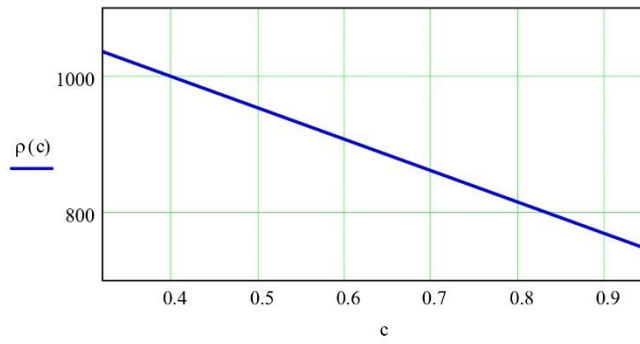
$\alpha := 6.38$

Температура среды T_{sr} := 300

Давление в сушильной камере P_v := 101308.0

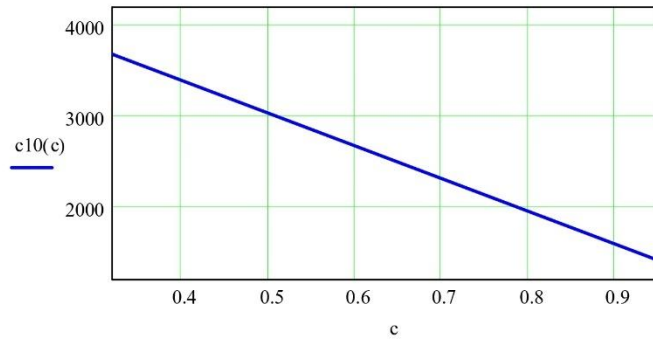
Плотность:

$$\rho(c) := \begin{cases} 460.32(1 - c) + 722.98 & \text{if } 0.32 \leq c \leq 0.95 \\ 750 & \text{otherwise} \end{cases}$$



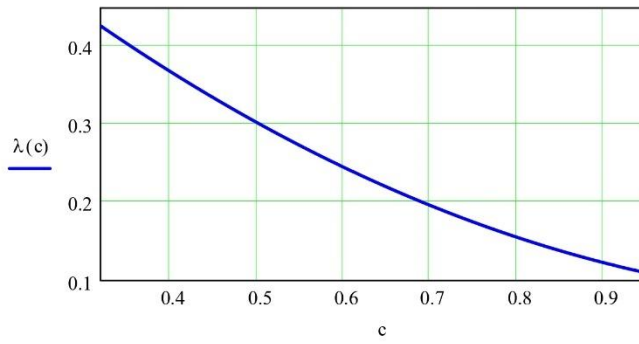
Удельная теплоемкость

$$c_{10}(c) := \begin{cases} 3596.5(1 - c) + 1234.9 & \text{if } 0.32 \leq c \leq 0.95 \\ 1700 & \text{otherwise} \end{cases}$$



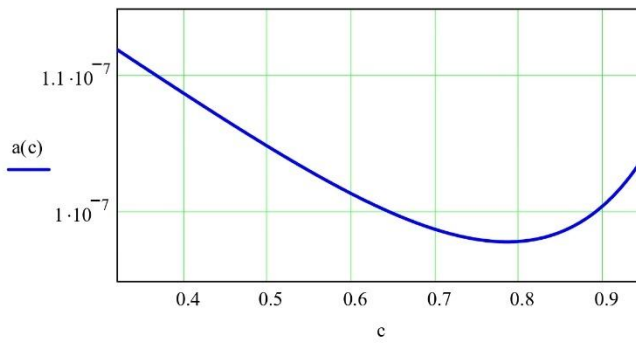
Теплопроводность

$$\lambda(c) := \begin{cases} 0.41(1 - c)^2 + 0.204(1 - c) + 0.0988 & \text{if } 0.32 \leq c \leq 0.95 \\ 0.11 & \text{otherwise} \end{cases}$$



коэффициент температуропроводности

$$a(c) := \frac{\lambda(c)}{c10(c) \cdot \rho(c)}$$

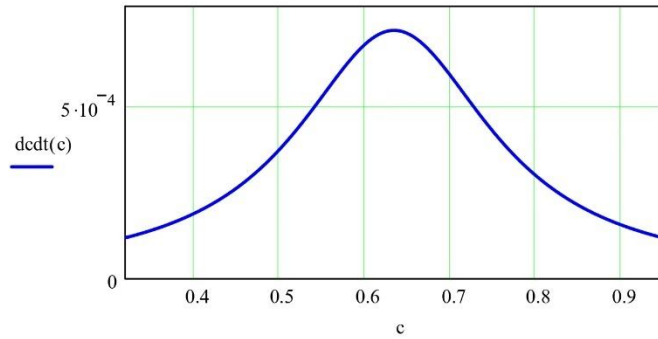


Объемная теплоемкость

$$c_T(c) := \frac{\lambda(c)}{a(c)}$$

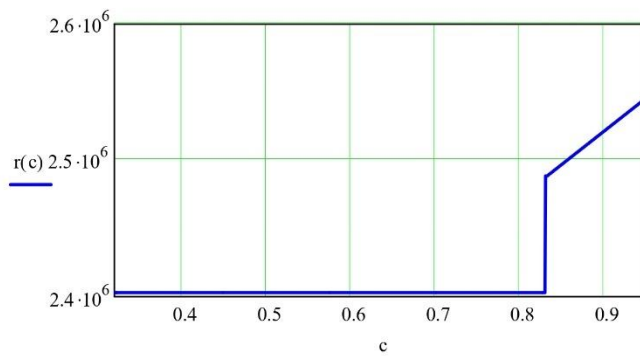
Скорость сушки

$$dcdt(c) := \frac{1}{70293 \cdot c^2 - 89194c + 29666}$$



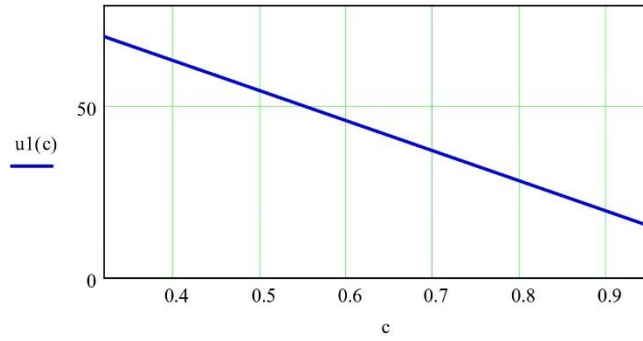
Энергия, затрачиваемая на фазовый переход и разрыв связи влаги с материалом

$$r(c) := \begin{cases} 2437230 + |51522 - 306405(1 - c)| + |81600 - 181423(1 - c)| & \text{if } 0.83 \leq c \leq 0.95 \\ 2402940 & \text{otherwise} \end{cases}$$



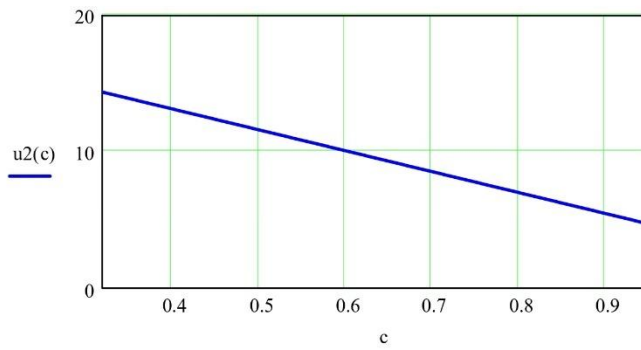
Диэлектрическая проницаемость

$$u1(c) := \begin{cases} 88.238(1 - c) + 10.888 & \text{if } 0.32 \leq c \leq 0.95 \\ 80 & \text{otherwise} \end{cases}$$



Диэлектрическая мнимая проницаемость

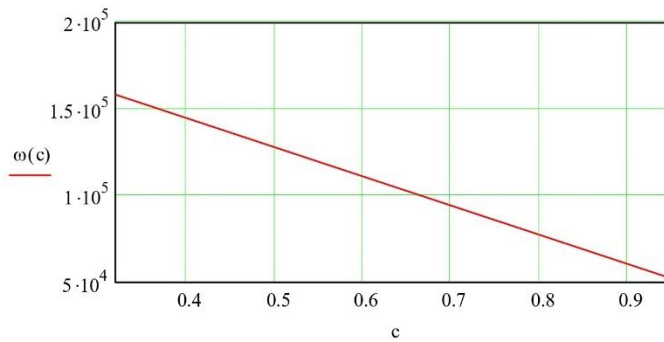
$$u2(c) := \begin{cases} 15.333(1 - c) + 3.9633 & \text{if } 0.32 \leq c \leq 0.95 \\ 80 & \text{otherwise} \end{cases}$$



Распределение внутреннего объемного источника поглощенной энергии
 k_1 - частота излучения, Гц; k_2 - напряженность эл поля, В/м

$$k_1 := 2450 \cdot 10^6 \quad k_2 := 900$$

$$\omega(c) := 5.550 \cdot 10^{-12} \cdot u_1(c) \cdot k_1 \cdot k_2^2 \cdot \frac{u_2(c)}{u_1(c)}$$



$$k_3 := 0.12$$

Решение методом конечных разностей уравнения теплопереноса

$$A(c) := \frac{a(c)}{dc dt(c)} \quad B(c) := 0$$

$$D(c) := \left(\frac{\omega(c)}{cr(c) \cdot dc dt(c)} + \frac{\rho(c) \cdot r(c)}{cr(c)} \right) \cdot k_3$$

Число узлов сетки по концентрации и толщине слоя

$$N_c := 10 \quad N_x := 10$$

$i := 0, 1 \dots Nx$ $k := 0, 1 \dots Nc$

$$\tau := \frac{C_k - C_n}{Nc} \quad h := \frac{X_k - X_n}{Nx}$$

$$x_i := X_n + i \cdot h \quad cc_k := C_n + k \cdot \tau$$

```

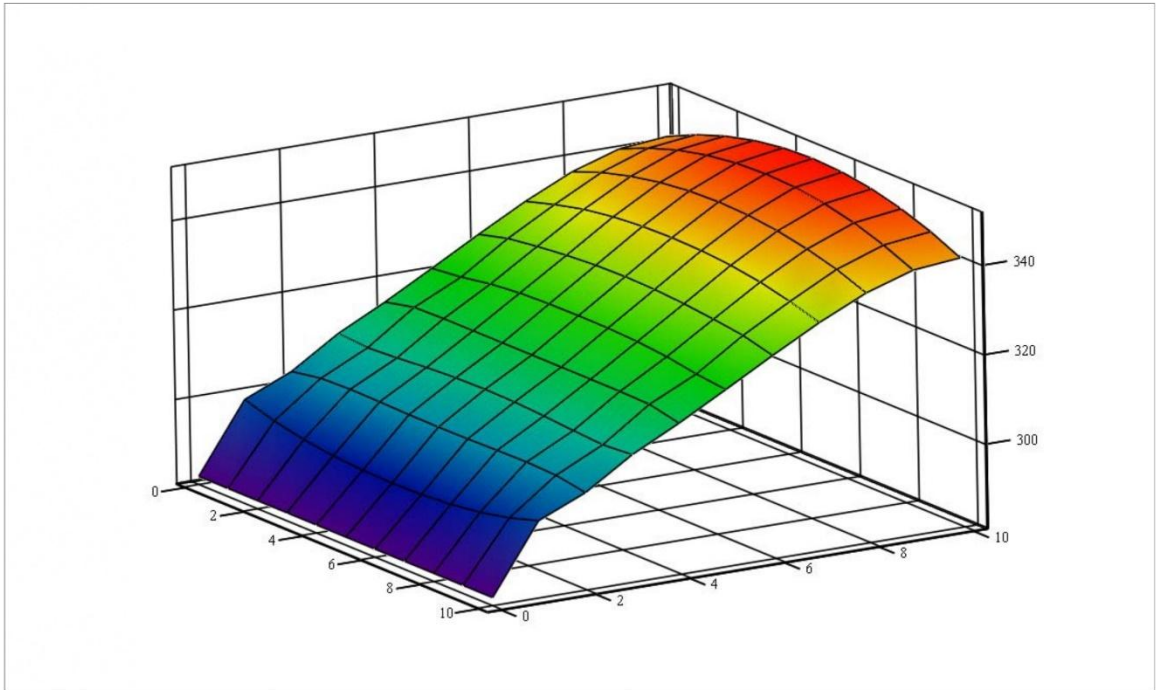
z := [
  for k ∈ 0, 1 .. Nc
    P0,k ← 0
    q0,k ← 0
    ψk ← 0
    ψ2k ← 0
    for i ∈ 0, 1 .. Nx
      Yi,0 ← 283
      Pi,0 ← 0
      qi,0 ← 0
    for k ∈ 0, 1 .. Nc - 1
      pom ← α · (Tsr - Y0,k)
      ψk+1 ← pom
      ψ2k+1 ← pom
      for i ∈ 0, 1 .. Nx
        AAi,k+1 ←  $\frac{\tau}{2 \cdot h} \cdot \frac{A(cc_{k+1})}{h}$ 
        BBi,k+1 ←  $\left( \frac{A(cc_{k+1})}{h^2} + \frac{B(cc_{k+1})}{2} \right) \cdot \tau + 1$ 
        CCi,k+1 ← AAi,k+1
        DDp1 ← if ( i < Nx, Yi+1,k, YNx,k +  $\frac{h}{\lambda(Y_{Nx,k})} \cdot \psi_{2k+1}$  )
        DDp ←  $\frac{A(cc_k)}{\tau^2} \cdot \text{if} \left( i > 0, Y_{i-1,k}, Y_{0,k} + \frac{h}{\lambda(Y_{0,k})} \cdot \psi_{k+1} \right) - \left( B(cc_k) + 2 \cdot \frac{A(cc_k)}{\tau^2} \right) \cdot Y_{i,k} + \frac{A(cc_k)}{\tau^2} \cdot DDp1$ 
      ]

```

$$\begin{array}{l}
 \left[\begin{array}{l}
 DD_{i,k+1} \leftarrow Y_{i,k} + \frac{\tau}{2} \cdot (D(cc_{k+1}) + D(cc_k)) + DDp \\
 P_{0,k+1} \leftarrow \frac{AA_{0,k+1} + CC_{0,k+1}}{BB_{0,k+1}} \\
 q_{0,k+1} \leftarrow \frac{2 \cdot h \cdot AA_{0,k+1} \cdot \psi_{k+1} + DD_{0,k+1} \cdot (-\lambda(Y_{0,k}))}{BB_{0,k+1} \cdot (-\lambda(Y_{0,k}))} \\
 \text{for } i \in 1, 2 \dots Nx - 1 \\
 \left[\begin{array}{l}
 P_{i,k+1} \leftarrow \frac{-CC_{i,k+1}}{AA_{i,k+1} \cdot P_{i-1,k+1} + BB_{i,k+1}} \\
 q_{i,k+1} \leftarrow \frac{DD_{i,k+1} - AA_{i,k+1} \cdot q_{i-1,k+1}}{AA_{i,k+1} \cdot P_{i-1,k+1} + BB_{i,k+1}} \\
 Y_{Nx,k+1} \leftarrow \frac{2 \cdot h \cdot CC_{Nx,k+1} \cdot \psi_{2k+1} - \lambda(Y_{Nx,k}) \cdot [DD_{Nx,k+1} - q_{Nx-1,k+1} \cdot (AA_{Nx,k+1} + CC_{Nx,k+1})]}{-\lambda(Y_{Nx,k}) \cdot [BB_{Nx,k+1} + P_{Nx-1,k+1} \cdot (AA_{Nx,k+1} + CC_{Nx,k+1})]} \\
 \text{for } i \in Nx - 1, Nx - 2 \dots 0 \\
 Y_{i,k+1} \leftarrow P_{i,k+1} \cdot Y_{i+1,k+1} + q_{i,k+1}
 \end{array} \right.
 \end{array} \right.
 \end{array}$$

Температурные поля при различных режимных параметрах

Z := z



Z

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	283	298.44	302.949	309.673	314.956	320.709	326.563	332.163	337.031	340.366	341.356
1	283	296.333	304.114	309.181	316.459	321.469	328.332	334.159	339.571	343.253	344.494
2	283	294.898	304.376	309.627	316.638	322.628	329.261	335.79	341.419	345.52	346.901
3	283	293.975	304.277	310.197	316.63	323.304	329.993	336.832	342.758	347.098	348.634
4	283	293.459	304.118	310.595	316.647	323.593	330.474	337.411	343.563	348.034	349.676
5	283	293.293	304.05	310.733	316.662	323.667	330.639	337.598	343.83	348.345	350.023
6	283	293.459	304.118	310.595	316.647	323.593	330.474	337.411	343.563	348.034	349.676
7	283	293.975	304.277	310.197	316.63	323.304	329.993	336.832	342.758	347.098	348.634
8	283	294.898	304.376	309.627	316.638	322.628	329.261	335.79	341.419	345.52	346.901
9	283	296.333	304.114	309.181	316.459	321.469	328.332	334.159	339.571	343.253	344.494
10	283	298.44	302.949	309.673	314.956	320.709	326.563	332.163	337.031	340.366	341.356

Приложение О. Математическая модель расчета полей температур при СВЧ сушке мощностью излучения 180 Вт

Программа расчета полей температур при СВЧ сушке,
с использованием метода конечных разностей по неявной схеме для продукта "Печень сома"

Единицы измерения - система СИ

c - концентрация, кг/кг
t - температура, К
X_к - толщина слоя продукта, м
N - мощность излучения, Вт

мощность излучения - 180 Вт

Толщина слоя X_н := 0 X_к := 0.015

Начальная концентрация C_н := 0.32

Конечная концентрация C_к := 0.95

Коэффициент при коэфф. теплоотдачи при естественной
конвекции и собственном излучении продукта, при температуре 343К

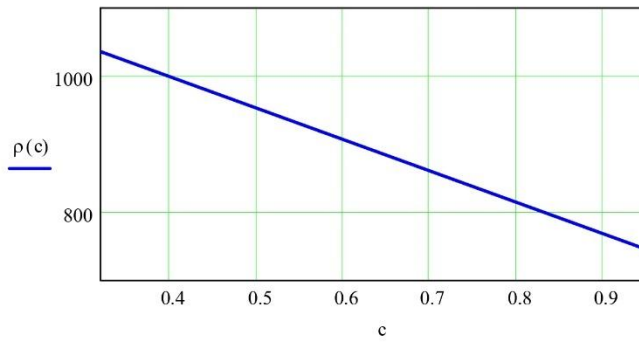
$\alpha := 6.38$

Температура среды T_{sr} := 300

Давление в сушильной камере P_v := 101308.0

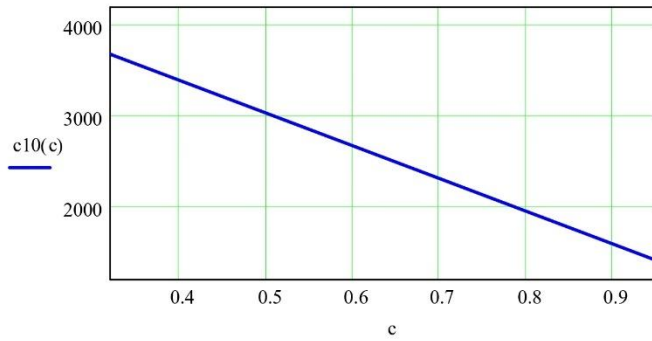
Плотность:

$$\rho(c) := \begin{cases} 460.32(1 - c) + 722.98 & \text{if } 0.32 \leq c \leq 0.95 \\ 750 & \text{otherwise} \end{cases}$$



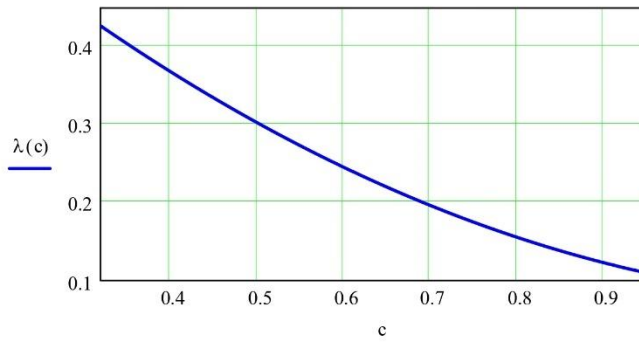
Удельная теплоемкость

$$c_{10}(c) := \begin{cases} 3596.5(1 - c) + 1234.9 & \text{if } 0.32 \leq c \leq 0.95 \\ 1700 & \text{otherwise} \end{cases}$$



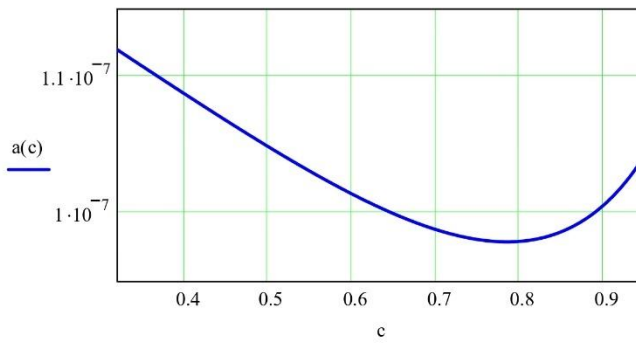
Теплопроводность

$$\lambda(c) := \begin{cases} 0.41(1 - c)^2 + 0.204(1 - c) + 0.0988 & \text{if } 0.32 \leq c \leq 0.95 \\ 0.11 & \text{otherwise} \end{cases}$$



коэффициент температуропроводности

$$a(c) := \frac{\lambda(c)}{c10(c) \cdot \rho(c)}$$

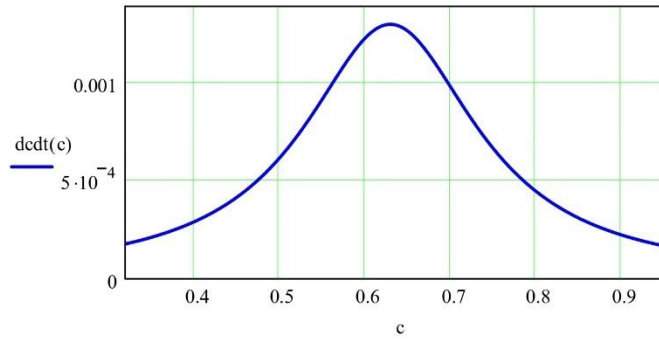


Объемная теплоемкость

$$c_T(c) := \frac{\lambda(c)}{a(c)}$$

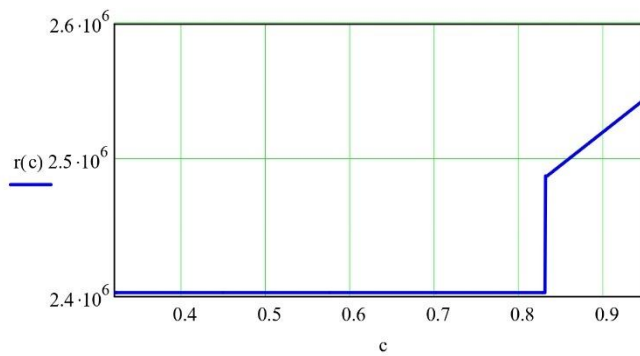
Скорость сушки

$$dcdt(c) := \frac{1}{50382 \cdot c^2 - 63488c + 20766}$$



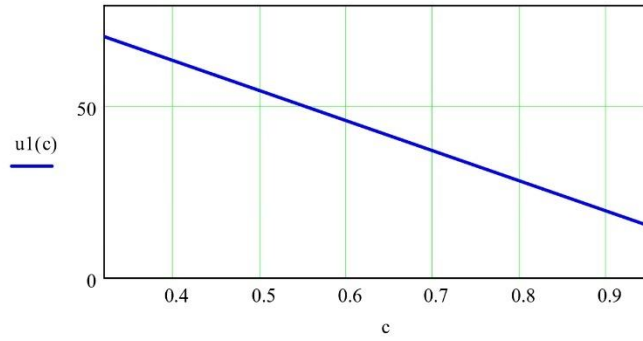
Энергия, затрачиваемая на фазовый переход и разрыв связи влаги с материалом

$$r(c) := \begin{cases} 2437230 + |51522 - 306405(1 - c)| + |81600 - 181423(1 - c)| & \text{if } 0.83 \leq c \leq 0.95 \\ 2402940 & \text{otherwise} \end{cases}$$



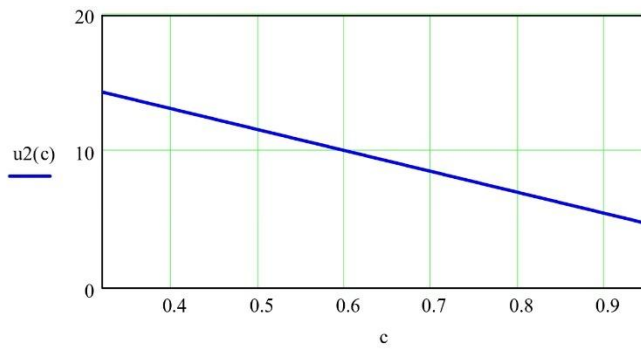
Диэлектрическая проницаемость

$$u1(c) := \begin{cases} 88.238(1 - c) + 10.888 & \text{if } 0.32 \leq c \leq 0.95 \\ 80 & \text{otherwise} \end{cases}$$



Диэлектрическая мнимая проницаемость

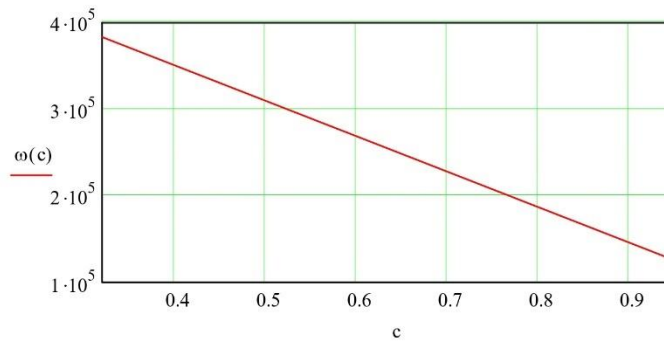
$$u2(c) := \begin{cases} 15.333(1 - c) + 3.9633 & \text{if } 0.32 \leq c \leq 0.95 \\ 80 & \text{otherwise} \end{cases}$$



Распределение внутреннего объемного источника поглощенной энергии
 k_1 - частота излучения, Гц; k_2 - напряженность эл поля, В/м

$$k_1 := 2450 \cdot 10^6 \quad k_2 := 1400$$

$$\omega(c) := 5.550 \cdot 10^{-12} \cdot u_1(c) \cdot k_1 \cdot k_2^2 \cdot \frac{u_2(c)}{u_1(c)}$$



$$k_3 := 0.12$$

Решение методом конечных разностей уравнения теплопереноса

$$A(c) := \frac{a(c)}{dc dt(c)} \quad B(c) := 0$$

$$D(c) := \left(\frac{\omega(c)}{cr(c) \cdot dc dt(c)} + \frac{\rho(c) \cdot r(c)}{cr(c)} \right) \cdot k_3$$

Число узлов сетки по концентрации и толщине слоя

$$N_c := 10 \quad N_x := 10$$

$$i := 0, 1 \dots Nx \quad k := 0, 1 \dots Nc$$

$$\tau := \frac{C_k - C_n}{Nc} \quad h := \frac{X_k - X_n}{Nx}$$

$$x_i := X_n + i \cdot h \quad cc_k := C_n + k \cdot \tau$$

```

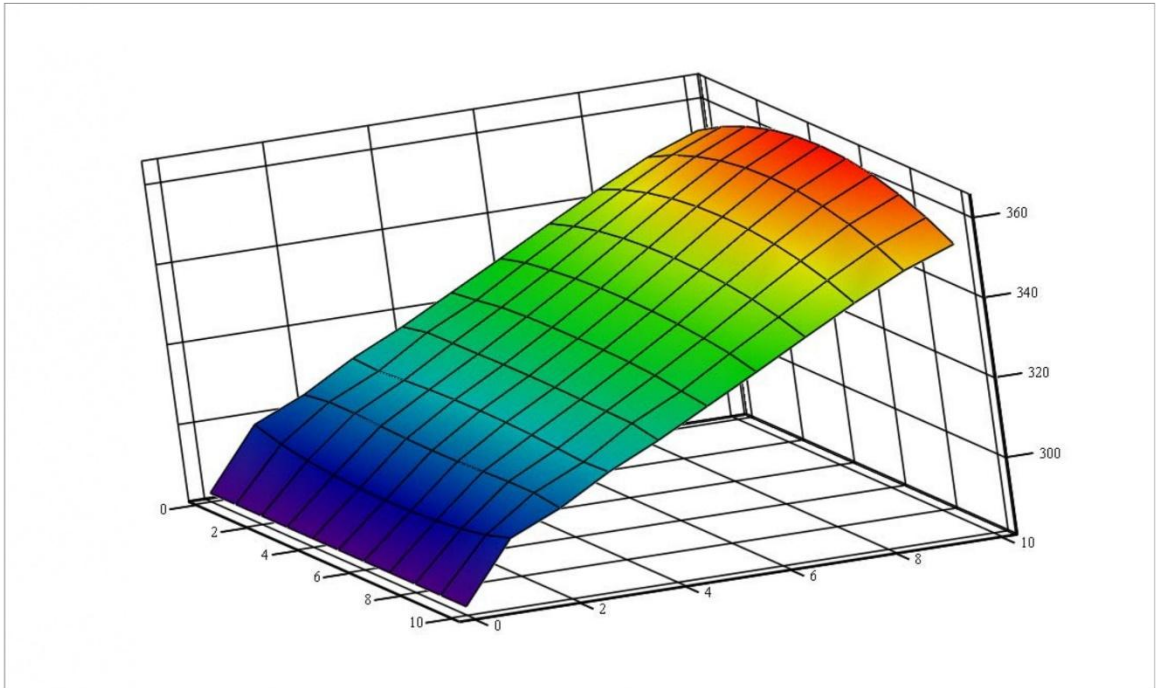
z := [ for k ∈ 0, 1 .. Nc
      [ P0,k ← 0
        q0,k ← 0
        ψk ← 0
        ψ2k ← 0
        for i ∈ 0, 1 .. Nx
          [ Yi,0 ← 283
            Pi,0 ← 0
            qi,0 ← 0
            for k ∈ 0, 1 .. Nc - 1
              [ pom ← α · (Tsr - Y0,k)
                ψk+1 ← pom
                ψ2k+1 ← pom
                for i ∈ 0, 1 .. Nx
                  [ AAi,k+1 ←  $\frac{\tau}{2 \cdot h} \cdot \frac{A(cc_{k+1})}{h}$ 
                    BBi,k+1 ←  $\left( \frac{A(cc_{k+1})}{h^2} + \frac{B(cc_{k+1})}{2} \right) \cdot \tau + 1$ 
                    CCi,k+1 ← AAi,k+1
                    DDp1 ← if ( i < Nx, Yi+1,k, YNx,k +  $\frac{h}{\lambda(Y_{Nx,k})} \cdot \psi_{2k+1}$  )
                    DDp ←  $\frac{A(cc_k)}{\tau^2} \cdot \text{if} \left( i > 0, Y_{i-1,k}, Y_{0,k} + \frac{h}{\lambda(Y_{0,k})} \cdot \psi_{k+1} \right) - \left( B(cc_k) + 2 \cdot \frac{A(cc_k)}{\tau^2} \right) \cdot Y_{i,k} + \frac{A(cc_k)}{\tau^2} \cdot DDp1$ 

```

$$\begin{aligned}
 & \left[\begin{array}{l}
 DD_{i,k+1} \leftarrow Y_{i,k} + \frac{\tau}{2} \cdot (D(cc_{k+1}) + D(cc_k)) + DDp \\
 P_{0,k+1} \leftarrow \frac{AA_{0,k+1} + CC_{0,k+1}}{BB_{0,k+1}} \\
 q_{0,k+1} \leftarrow \frac{2 \cdot h \cdot AA_{0,k+1} \cdot \psi_{k+1} + DD_{0,k+1} \cdot (-\lambda(Y_{0,k}))}{BB_{0,k+1} \cdot (-\lambda(Y_{0,k}))} \\
 \text{for } i \in 1, 2 \dots Nx - 1 \\
 \left[\begin{array}{l}
 P_{i,k+1} \leftarrow \frac{-CC_{i,k+1}}{AA_{i,k+1} \cdot P_{i-1,k+1} + BB_{i,k+1}} \\
 q_{i,k+1} \leftarrow \frac{DD_{i,k+1} - AA_{i,k+1} \cdot q_{i-1,k+1}}{AA_{i,k+1} \cdot P_{i-1,k+1} + BB_{i,k+1}}
 \end{array} \right. \\
 Y_{Nx,k+1} \leftarrow \frac{2 \cdot h \cdot CC_{Nx,k+1} \cdot \psi_{2k+1} - \lambda(Y_{Nx,k}) \cdot [DD_{Nx,k+1} - q_{Nx-1,k+1} \cdot (AA_{Nx,k+1} + CC_{Nx,k+1})]}{-\lambda(Y_{Nx,k}) \cdot [BB_{Nx,k+1} + P_{Nx-1,k+1} \cdot (AA_{Nx,k+1} + CC_{Nx,k+1})]} \\
 \text{for } i \in Nx - 1, Nx - 2 \dots 0 \\
 Y_{i,k+1} \leftarrow P_{i,k+1} \cdot Y_{i+1,k+1} + q_{i,k+1}
 \end{array} \right.
 \end{aligned}$$

Температурные поля при различных режимных параметрах

Z := z



Z

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	283	298.072	303.509	310.53	316.353	322.844	329.327	335.979	342.471	348.489	353.098
1	283	296.027	304.498	310.166	317.769	323.778	331.09	338.159	345.26	351.803	356.893
2	283	294.714	304.474	310.705	317.929	324.841	332.084	339.772	347.301	354.347	359.806
3	283	293.908	304.138	311.218	318.071	325.33	332.807	340.788	348.728	356.12	361.881
4	283	293.474	303.836	311.514	318.238	325.517	333.216	341.362	349.559	357.175	363.118
5	283	293.337	303.721	311.605	318.31	325.565	333.343	341.55	349.831	357.525	363.528
6	283	293.474	303.836	311.514	318.238	325.517	333.216	341.362	349.559	357.175	363.118
7	283	293.908	304.138	311.218	318.071	325.33	332.807	340.788	348.728	356.12	361.881
8	283	294.714	304.474	310.705	317.929	324.841	332.084	339.772	347.301	354.347	359.806
9	283	296.027	304.498	310.166	317.769	323.778	331.09	338.159	345.26	351.803	356.893
10	283	298.072	303.509	310.53	316.353	322.844	329.327	335.979	342.471	348.489	353.098

Приложение II. Отчет по определению жирно-кислотного состава сырой печени,
проведенного на газовом хроматографе Nexis GC-2030AF

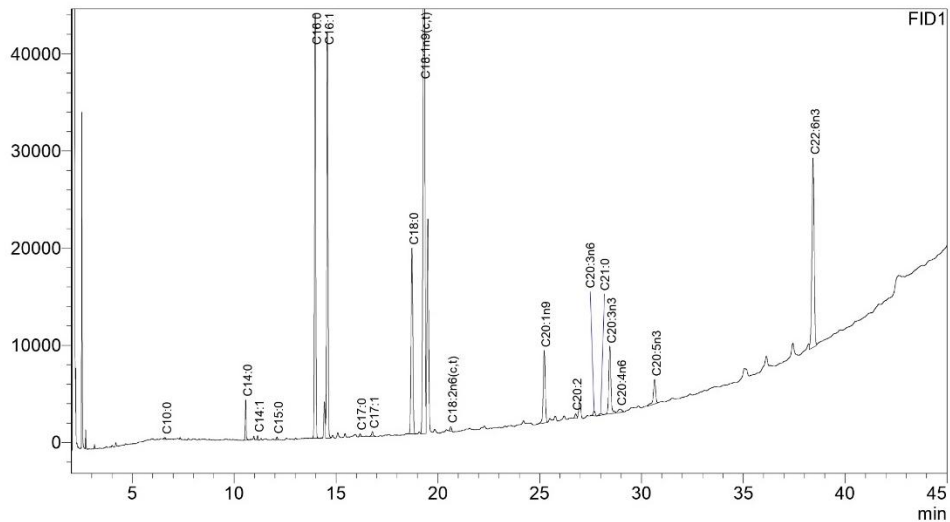
6/4/2024 3:40:18 PM Page 1 / 1

SHIMADZU
LabSolutions Analysis Report

<Sample Information>

Data Filename : 040624-pechen-1.gcd
Method Filename : GKME Omegawax 250-split-20-dubl.gcm
Batch Filename : GKME Omegawax 250-pilcha.gcb

uV



<Peak Table>

Peak#	Name	Ret. Time	Area	Area%
1	C10:0	6.612	1099	0.094
2	C14:0	10.562	12506	1.075
3	C14:1	11.145	1271	0.109
4	C15:0	12.096	1209	0.104
5	C16:0	13.976	184507	15.860
6	C16:1	14.575	179384	15.420
7	C17:0	16.182	1485	0.128
8	C17:1	16.787	2927	0.252
9	C18:0	18.730	115087	9.893
10	C18:1n9(c,t)	19.320	380923	32.743
11	C18:2n6(c,t)	20.634	2516	0.216
12	C20:1n9	25.227	50635	4.353
13	C20:2	26.769	3150	0.271
14	C20:3n6	27.674	3121	0.268
15	C21:0	27.995	1814	0.156
16	C20:3n3	28.444	49914	4.291
17	C20:4n6	28.937	4740	0.407
18	C20:5n3	30.644	19543	1.680
19	C22:6n3	38.424	147529	12.681
Total			1163360	100.000

Приложение Р. Отчет по определению жирно-кислотного состава сухой печени,
проведенного на газовом хроматографе Nexis GC-2030AF

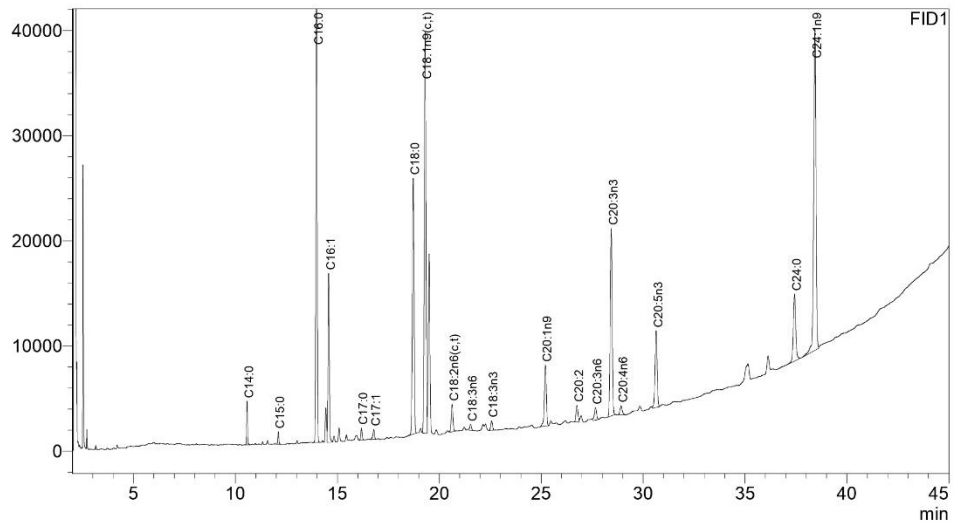
6/4/2024 5:09:19 PM Page 1 / 1

SHIMADZU
LabSolutions Analysis Report

<Sample Information>

Data Filename : 040624-pechen-2-cyxaj.gcd
 Method Filename : GKME Omegawax 250-split-20-dubl.gcm
 Batch Filename : GKME Omegawax 250-pilcha.gcb

uV

**<Peak Table>**

FID1

Peak#	Name	Ret. Time	Area	Area%
1	C14:0	10.570	12158	1.001
2	C15:0	12.103	4186	0.345
3	C16:0	13.979	205390	16.912
4	C16:1	14.574	71175	5.861
5	C17:0	16.182	5113	0.421
6	C17:1	16.786	5231	0.431
7	C18:0	18.724	140434	11.564
8	C18:1n9(c,t)	19.308	211887	17.447
9	C18:2n6(c,t)	20.630	15729	1.295
10	C18:3n6	21.535	3401	0.280
11	C18:3n3	22.569	5278	0.435
12	C20:1n9	25.207	39487	3.251
13	C20:2	26.757	10651	0.877
14	C20:3n6	27.663	8735	0.719
15	C20:3n3	28.438	120756	9.943
16	C20:4n6	28.916	6599	0.543
17	C20:5n3	30.639	51901	4.274
18	C24:0	37.428	53049	4.368
19	C24:1n9	38.433	243285	20.033
Total			1214444	100.000