

УТВЕРЖДАЮ

И.о. ректора

ФГАОУ ВО «Мурманский арктический
университет»

кандидат физико-математических наук

М.А. Князева

«23» апреля 2026 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации – Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Мурманский арктический университет» (ФГАОУ ВО «МАУ») на диссертационную работу Яснова Андрея Сергеевича на тему «Научное обоснование технологии и технических решений сушки печени сома в поле СВЧ», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 4.3.3. Пищевые системы (технические науки) в диссертационный совет 24.2.398.07, созданного на базе ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»

Актуальность темы диссертационного исследования.

Представленная диссертационная работа посвящена решению важной научно-практической задачи, направленной на разработку эффективной технологии переработки вторичных ресурсов рыбной промышленности с целью получения продукции с высокой добавленной стоимостью. Актуальность исследования обусловлена стратегическими ориентирами развития рыбохозяйственного комплекса и пищевого машиностроения Российской Федерации до 2030 года (Стратегия развития рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года, утвержденная Правительственным распоряжением от 26 ноября 2019 г. № 2798-р и Стратегия развития машиностроения для пищевой индустрии РФ до 2030 года, утвержденная распоряжением Правительства РФ от 30 августа

2019 г. № 1931-р), предусматривающими повышение эффективности и глубины переработки пищевого сырья, рациональное природопользование, внедрение высокотехнологичных методов переработки и расширение использования вторичных ресурсов.

В современных условиях особое значение приобретает вовлечение в хозяйственный оборот малоиспользуемых побочных продуктов переработки рыбы, что позволяет одновременно решать задачи ресурсосбережения, экологической безопасности и повышения экономической эффективности производства. Исследования, представленные в диссертационной работе направлены на вовлечение в хозяйственный оборот малоиспользуемого ресурса – печени сома обыкновенного (*Silurus glanis*), обладающей высоким содержанием биологически ценных веществ, но в настоящее время используемой недостаточно эффективно.

Предлагаемый соискателем подход, основан на применении СВЧ-сушки, позволяющий интенсифицировать процессы тепломассопереноса, повысить сохранность термолабильных компонентов и улучшить технико-экономические показатели переработки. Работа соответствует современным тенденциям развития пищевой науки и промышленности, ориентированным на ресурсосбережение, экологическую безопасность и создание функциональных продуктов питания, что делает ее востребованной.

Дополнительную значимость работе придает ее соответствие современным принципам развития биоэкономики, представляющей собой систему хозяйственной деятельности, основанную на рациональном использовании возобновляемых биологических ресурсов для производства пищевой продукции и биологически активных компонентов с соблюдением принципов устойчивого развития и циркулярной экономики. Технология позволит обеспечить высокую маржинальность для предприятий, открывая новые экономические ниши.

Степень обоснованности и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Научные положения, выводы и рекомендации диссертации научно

обоснованы и достоверны. Это подтверждается применением взаимодополняющих теоретических и экспериментальных методов. Достоверность данных методов обеспечена использованием аттестованной аппаратуры, соблюдением стандартных методик, многократной повторяемостью опытов со статистической обработкой и корректным математическим моделированием, адекватность которого проверена расчетно-экспериментальным путем. Достоверность также подтверждена 10 публикациями, включая 4 статьи в рецензируемых журналах из Перечня ВАК. Технологические и конструкторские решения обоснованы апробацией, патентной защитой, экономическими расчетами и актами о внедрении на предприятиях.

Научная новизна диссертационной работы.

В соответствии с паспортом научной специальности, научной новизной обладают следующие результаты диссертационной работы:

- экспериментально установлены и математически описаны зависимости теплофизических, гигроскопических, диэлектрических и плотностных характеристик печени сома от влажности в диапазоне 5-68 %, что позволяет учитывать изменение свойств сырья при его сушке;
- разработан и научно обоснован рациональный способ СВЧ сушки печени сома в тонком слое, основанный на оригинальной математической модели процесса, учитывающей специфику объекта сушки и особенности объемного подвода энергии микроволнового излучения частотой 2450 МГц;
- установлена количественная взаимосвязь между режимными параметрами СВЧ сушки и ее удельной производительностью;
- доказано, что предложенные режимы СВЧ-сушки обеспечивают максимальное сохранение нативных свойств и биологической ценности продукта, включая сохранность жирнокислотного состава (в том числе полиненасыщенных ω -3 и ω -6 жирных кислот), полного спектра незаменимых аминокислот, витаминов А и Е, а также микроэлементного состава.

Полученные результаты соответствуют паспорту специальности 4.3.3 «Пищевые системы» (технические науки) в части направлений исследований п. 20 – «Процессы и аппараты пищевых производств», что подтверждается проведенными исследованиями процесса микроволновой сушки печени сома, позволившими обосновать рациональные режимные параметры его проведения и предложить конструктивно-технологическое решение сушильной установки, реализующей сушку в тонком слое для последующего использования полученного продукта в технологиях индустрии питания и производства биологически активных веществ. Также соответствуют п. 22 – «Физико-химические основы, механизмы и закономерности процессов пищевых производств», что выражается в установлении гигроскопических, теплофизических и структурно-механических характеристик печени сома, а также в математическом описании закономерностей изменения ее свойств в зависимости от влажности и температуры в процессе сушки. Кроме того, диссертационное исследование соответствует п. 23 – «Адаптация процессов пищевых производств к перерабатываемому сырью», поскольку соискателем разработана и адаптирована к объекту исследования (печени сома) математическая модель микроволновой сушки, а также определены рациональные режимные параметры процесса (мощность, толщина слоя, температура, продолжительность). Это является прямой адаптацией процесса сушки к специфике конкретного вида сырья.

Полученные результаты вносят вклад в развитие научных основ процессов СВЧ-сушки биологического сырья и расширяют представления о закономерностях тепломассопереноса в пищевых системах.

Теоретическая и практическая значимость диссертационной работы.

Теоретическая значимость диссертационного исследования заключается в развитии и углублении научных представлений о процессах тепломассопереноса при микроволновом обезвоживании капиллярно-пористых пищевых систем животного происхождения. Проведенный

термодинамический анализ сорбционных свойств и установленные кинетические закономерности процесса микроволнового обезвоживания углубляют понимание механизмов удаления влаги в поле СВЧ-излучения, а также энергетических аспектов взаимодействия влаги с биополимерной матрицей сырья. Разработанная и успешно верифицированная математическая модель процесса сушки вносит отдельный вклад в теорию теплопереноса и может быть использована для описания аналогичных пищевых систем.

Теоретическую значимость работе придает обоснование возможности получения сухого порошкового полуфабриката из печени сома, что расширяет научные представления о направлениях глубокой переработки вторичных биоресурсов и формирует основу для дальнейших исследований в области создания функциональных пищевых ингредиентов.

Практическая значимость работы подтверждается созданием и успешной апробацией новой ресурсосберегающей технологии сушки печени в тонком слое в поле СВЧ, а также оригинального аппаратного оформления для ее реализации, что закреплено патентом на полезную модель (№ 231633). Данная разработка обеспечивает максимальное сохранение нативных потребительских свойств и высокой биологической ценности печени сома. Предложенная технология решает важную прикладную задачу, позволяя трансформировать практически не востребованные вторичные ресурсы аквакультуры в качественный, стандартизированный пищевой полуфабрикат с добавленной стоимостью. Экономическая целесообразность и рентабельность технологического процесса получили подтверждение в результате технико-экономических расчетов, а готовность к масштабированию и промышленному применению – документально зафиксирована в актах внедрения на профильных предприятиях рыбоперерабатывающей отрасли г. Астрахани.

Рекомендации по использованию результатов и выводов, приведенных в диссертационной работе.

Новизна и практическая ценность результатов и выводов диссертаци-

ционной работы состоят в создании комплексного научно-технологического подхода, который обеспечивает переход от фундаментального исследования свойств сырья к внедрению готового инженерного решения. Этот подход включает изучение теплофизических свойств печени, разработку и верификацию математической модели процесса ее сушки, а также предложение конкретного аппаратного оформления и его экономическое обоснование. Таким образом, формируется целостный научно-практический задел в области сушильных технологии для пищевой промышленности, ориентированный на глубокую переработку вторичных ресурсов в рыбной отрасли.

Соответствие диссертации и автореферата требованиям положения о порядке присуждения ученых степеней.

Диссертационная работа Яснова Андрея Сергеевича по структуре и оформлению соответствует требованиям, предъявляемым к оформлению диссертационных работ. Она состоит из введения, обзора литературы, методической и экспериментальной частей, основных результатов исследования, выводов, списка литературы, а также приложений.

Содержание работы изложено на 185 страницах печатного текста, включает 42 рисунка, 24 таблицы и 16 приложений. Список использованных источников содержит 140 наименований.

Автореферат изложен на 24 страницах печатного текста, включает 7 рисунков, 11 таблиц и сведения о 10 научных работах, опубликованных по материалам диссертации. По оформлению и содержанию он соответствует требованиям ВАК РФ. Материалы автореферата в полной мере отражают основное содержание диссертации.

Оценка объема, структуры и содержания работы.

Диссертационная работа написана логично и ясным языком, четко структурирована, носит законченный характер. Работа содержит достаточное количество исходных данных, пояснений, рисунков, графиков и схем.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, научная новизна, теоретическая и практическая значимость исследований.

Поставлена цель и сформулированы задачи диссертационной работы.

В первой главе представлен аналитический обзор существующих технологий переработки рыбного сырья в пищевые продукты и биологически активные соединения, обоснована перспективность использования печени сома в качестве сырьевой базы. Выполнен анализ ее компонентного состава. Рассмотрены аспекты ее промышленной переработки. На основе анализа известных методов переработки аналогичных продуктов и применяемого для этого оборудования обоснован выбор перспективных способов сушки печени сома.

Во второй главе приведены объект, методы и структурная схема диссертационного исследования.

В третьей главе приведены результаты комплексного экспериментального исследования гигроскопических, теплофизических, диэлектрических и плотностных характеристик печени сома в зависимости от ее влажности и температуры. Установлены и математически описаны соответствующие зависимости, необходимые для инженерного расчета процесса сушки. Проведен термодинамический анализ сорбционных свойств материала, включая построение изотерм сорбции, определение форм связи влаги с сухим веществом и оценку энергетических характеристик взаимодействия влаги, что позволило обосновать рациональную конечную влажность продукта.

В четвертой главе исследованы кинетические закономерности микроволновой сушки печени сома в тонком слое с использованием методов математической обработки экспериментальных данных. Получены зависимости скорости сушки от содержания сухих веществ и мощности СВЧ-излучения, выявлены характерные периоды влагоудаления. На основе установленных закономерностей разработана математическая модель процесса микроволновой сушки, учитывающая тепло- и массообмен, а также объемный подвод энергии. Проведено численное моделирование температурных полей в высушиваемом материале и обоснованы рациональные режимные параметры процесса. Предложена конструктивно-технологическая схема сушильной установки, реализующей сушку в тонком слое.

В пятой главе представлена технoхимическая характеристика печени сома в нативном и высушенном состоянии. Проведен анализ химического состава, включая содержание микро- и макроэлементов, жирнокислотный и аминокислотный состав, а также оценка содержания витаминов. Установлено сохранение биологической ценности продукта после сушки. Выполнены микробиологические исследования, подтверждающие безопасность полученного продукта и его соответствие нормативным требованиям.

В шестой главе приведено экономическое обоснование разработанной технологии переработки печени сома, включая расчет себестоимости получаемого продукта. Даны рекомендации по практическому применению результатов исследования, рассмотрены возможные направления использования полученного сухого продукта в пищевой промышленности, в том числе в качестве функционального ингредиента и биологически активной добавки.

В заключении сформулированы основные выводы по результатам выполненного диссертационного исследования.

В приложениях приведены данные об объемах добычи водных биоресурсов и производства товарной продукции за 2023-2024 года в Астраханской области, акты внедрения и производственной апробации разработанной технологии, объект интеллектуальной собственности, скриншоты разработки и решения математической модели сушки печени сома в среде Mathcad Professional, результаты статистической обработки экспериментальных данных, а также представлены материалы, подтверждающие достоверность и практическую значимость работы.

Замечания по диссертационной работе.

1. Соискателем в качестве объекта исследования выбран сом обыкновенный (*Silurus glanis*). Чем руководствовался соискатель при выборе данного вида из промысловых рыбных объектов?

2. При описании механизма СВЧ-нагрева (стр. 39–40 диссертации) соискатель указывает, что поглощательная способность материала находится «в прямой пропорции от тангенса угла диэлектрических потерь и его диэлектрической проницаемости». Данная формулировка не является

строгой: поглощение СВЧ-энергии пропорционально мнимой части комплексной диэлектрической проницаемости (ε''), а не тангенсу угла потерь ($\tan \delta = \varepsilon''/\varepsilon'$) и не самой диэлектрической проницаемости (ε'). Указанная неточность не влияет на общие выводы работы, но свидетельствует о недостаточно строгом использовании терминологии при описании физики процесса.

3. В разделе 3.1 (рис. 3.11, стр. 62 диссертации) соискателем представлена зависимость коэффициента температуропроводности от влажности с явно выраженным экстремумом, однако соискатель не приводит физико-химического обоснования его возникновения. Отсутствует объяснение того, какие процессы в материале (структурные трансформации, изменение характера связи влаги) приводят к немонотонному изменению температуропроводности.

4. В разделе 3.3 (стр. 75–80 диссертации) при термодинамическом анализе статических закономерностей процесса сорбции влаги соискатель вводит понятие энтропийной составляющей свободной энергии Гиббса, однако физический смысл данной величины им раскрыт недостаточно полно.

5. В разделе 4.1 (стр. 82–88 диссертации) соискатель заменяет влажность (W) на содержание сухих веществ (C) при выводе кинетических уравнений (4.2–4.5), но не обосновывает правомерность и необходимость такой замены. Обусловлен ли этот переход физическими особенностями процесса сушки печени сома, или является исключительно математическим приёмом для аппроксимации экспериментальных данных?

6. В разделе 4.1 (стр. 83 диссертации, рис. 4.1) при описании экспериментального стенда для микроволновой сушки указано наличие термометра (поз. 3) и датчика контроля температуры (поз. 7). Однако из текста диссертации не ясно, каким образом эти датчики защищены от прямого воздействия СВЧ-излучения. Соискателю следовало бы описать применённый метод защиты.

7. В главе 5 (стр. 97–111 диссертации) соискателем представлен обширный экспериментальный материал по теххимической

характеристике печени сома в нативном и высушенном состоянии. Однако из текста не вполне ясно, каков конечный результат столь детального исследования и какие конкретные выводы из него вытекают применительно к цели работы – разработке технологии СВЧ-сушки?

Следует отметить, что перечисленные замечания не меняют общей положительной оценки диссертационного исследования Янова Андрея Сергеевича.

Заключение.

Диссертационная работа Янова Андрея Сергеевича представляет собой завершённое научное исследование, выполненное на актуальную тему для пищевой промышленности. Полученные автором результаты обладают теоретической и практической значимостью, поскольку направлены на решение важной научно-производственной задачи – создание технологии и аппаратного оформления процесса микроволновой сушки печени сома. Разработанная технология позволяет сохранить нативные свойства сырья, увеличить выход готового продукта и обеспечить рациональное использование вторичных ресурсов рыбохозяйственного комплекса.

На основании вышеизложенного можно полагать, что диссертационная работа Янова Андрея Сергеевича на тему «Научное обоснование технологии и технических решений сушки печени сома в поле СВЧ», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, полностью соответствует критериям, которым должна отвечать диссертация изложенным в пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (в действующей редакции), а ее автор, Янов Андрей Сергеевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 4.3.3. Пищевые системы (технические науки).

Отзыв подготовил Похольченко Вячеслав Александрович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологического и холодильного оборудования, ФГАОУ ВО «Мурманский арктический

университет»

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании кафедры технологического и холодильного оборудования ФГАОУ ВО «Мурманский арктический университет», протокол №6 от 20 апреля 2026 г. В заседании кафедры участвовало 8 человек. В обсуждении приняли участие 8 человек. Результаты голосования: «за» – 8, «против» – 0, «воздержалось» – 0.

Похольченко Вячеслав Александрович

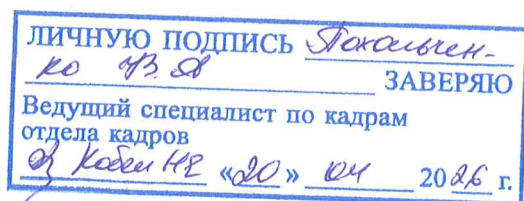
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Мурманский арктический университет», кафедра технологического и холодильного оборудования, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологического и холодильного оборудования

рабочий телефон: 88152403282, 88152403361

e-mail: pokholchenkova@mauniver.ru

сайт: <https://mauniver.ru>

Подпись Похольченко Вячеслава Александровича заверяю



Сведения об организации:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Мурманский арктический университет»

Адрес: 183038, г. Мурманск, ул. Капитана Егорова, 15

e-mail: office@mauniver.ru, тел.: +7(8152) 21-38-01