

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, доцента, профессора кафедры машин и аппаратов пищевых производств федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный университет инженерных технологий» Шахова Сергея Васильевича 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)

Актуальность темы.

Стратегия развития рыбохозяйственного комплекса России до 2030 года в качестве одного из главных приоритетов определяет переход к рациональному природопользованию. Это подразумевает внедрение высокотехнологичных методов переработки и вовлечение вторичных ресурсов в промышленный оборот. Задача эффективной утилизации отходов является настолько значимой, что была обозначена Президентом Российской Федерации В.В. Путиным в ходе Петербургского международного экономического форума в 2025 году как важный резерв для экономического и экологического развития страны. Одним из наиболее перспективных, но в настоящее время недооцененных видов вторичного сырья является печень сома обыкновенного (*Silurus glanis*). Печень сома обладает уникальным химическим составом: содержание белка достигает 20–25%, жировая фракция богата полиненасыщенными жирными кислотами омега-3 и омега-6, а также содержит полный спектр незаменимых аминокислот, витамины А и Е, а также ценные микроэлементы (железо, цинк, фосфор, кобальт).

Несмотря на очевидную пищевую ценность, использование этого побочного продукта рыбопереработки на современных предприятиях остается не востребованной. В лучшем случае печень сома идет на производство низкокачественных кормов, в худшем – утилизируется вместе с прочими отходами. При этом, по данным Волго-Каспийского территориального управления Росрыболовства, ежегодный вылов сома в Астраханской области составляет более 5 тысяч тонн. Учитывая, что массовая доля печени в теле рыбы достигает 1,5–5%, только за последние три года безвозвратно потеряно около 750 тонн ценного сырья. Такая практика не только наносит экологический ущерб, но и лишает производителей значительной доли прибыли.

Отсутствие специализированных технологий консервации делает печень сома скоропортящимся объектом, что затрудняет её транспортировку и дальнейшую промышленную переработку. Рациональным решением является сушка. Однако предлагаемые методы сублимационной сушки являются слишком энергозатратными, а использование конвективного энергоподвода при влагоудалении, вследствие высокой жирности рыбного сырья, приводит к заметному ухудшению качества конечного продукта. В связи с этим научное обоснование и разработка технологии сушки печени сома в поле СВЧ, позволяющей сохранить нативные свойства продукта за счет объемного энергоподвода и щадящего температурного режима, является актуальной научно-технической задачей, имеющей важное значение для развития рыбоперерабатывающей промышленности.

Оценка объема, структуры и содержания работы.

На оппонирование представлена диссертация в форме рукописи объемом 185 страниц, которая состоит из следующих разделов: введение, шесть глав, заключения, списка использованной литературы из 140 наименований (включая 51 иностранный источник) и 16 приложений. Иллюстративный материал представлен 24 таблицами и 42 рисунками.

Диссертация оформлена надлежащим образом, её текст унифицирован по стилю и отвечает всем установленным стандартам.

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 современного состояния и перспектив переработки вторичного рыбного сырья. Рассмотрены направления получения биологически активных соединений, обоснована целесообразность использования печени сома как ценного сырьевого ресурса, а также аргументирован выбор микроволновой сушки как эффективного метода её переработки.

Во второй главе приведена характеристика объекта исследования и комплекс применённых методов, включающие оригинальные и стандартные методики, приведена структурная схема диссертационного исследования.

Третья глава посвящена экспериментальному определению и математическому описанию гигроскопических, теплофизических, диэлектрических и плотностных характеристик печени сома. Особое внимание уделено термодинамическому анализу процессов сорбции влаги, что обеспечивает более глубокое понимание взаимодействия влаги с сухим веществом сырья.

В четвертой главе исследованы кинетические закономерности микроволновой сушки печени сома в тонком слое. Установлено отсутствие периода постоянной скорости сушки и показано влияние мощности СВЧ-излучения на продолжительность процесса. Разработана и численно решена методом конечных разностей адаптированная математическая модель совместного тепломассопереноса с учётом внутреннего источника тепла, диэлектрических и теплофизических свойств, изменяющихся в процессе сушки. С учётом выявленных закономерностей предложена конструктивно-технологическая схема петлевой сушильной установки, реализующей комбинированный (СВЧ + конвективный) энергоподвод.

В пятой главе приведена детальная технохимическая характеристика нативного и высушенного продукта, включая анализ липидного, аминокислотного, витаминного и минерального состава, а также показатели микробиологической безопасности, которые имеют важное значение для обеспечения качества конечного продукта. Полученные результаты подтверждают высокую пищевую и биологическую ценность продукта.

В шестой главе приведено экономическое обоснование технологии, представлена схема получения конечного продукта и определены направления его целевого использования.

В заключении приведены основные выводы по работе, выделены перспективные направления для дальнейшего исследования.

Приложения содержат материалы, подтверждающие научную и практическую значимость исследования, включая объекты интеллектуальной собственности, акты внедрения, результаты апробации, а также материалы по математическому моделированию в среде Mathcad Professional и статистической обработке экспериментальных данных.

Диссертация удовлетворяет предъявляемым требованиям к работам, претендующим на степень кандидата технических наук, как по структуре, так и по своему содержанию.

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

Сформулированные в диссертации научные положения и выводы являются убедительными благодаря рациональному сочетанию теории и эксперимента. Взаимная верификация полученных результатов подтверждает их достоверность. Экспериментальные исследования выполнены с применением аттестованного оборудования и стандартизированных методик, а полученные данные подвергались статистической обработке, что исключает влияние случайных погрешностей. Работа прошла многоплановую

апробацию. Её результаты доложены на научных конференциях, отражены в 10 печатных трудах (из них 4 – в рецензируемых журналах из перечня ВАК), защищены патентом РФ и подкреплены актами производственного внедрения на пищевых предприятиях.

Новизна научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Научная новизна диссертационной работы заключается в получении комплекса новых теоретических и прикладных результатов, направленных на научное обоснование процесса микроволновой сушки печени сома как объекта с высокой липидностью и сложной структурой.

Диссертантом:

- экспериментально установлены и математически описаны зависимости теплофизических, гигроскопических, диэлектрических и плотностных характеристик печени сома от влажности в диапазоне 5–68%, что позволяет учитывать эволюцию свойств сырья непосредственно в процессе сушки;
- впервые разработан и обоснован рациональный способ микроволновой сушки печени сома в тонком слое, базирующийся на оригинальной математической модели процесса с объёмным подводом энергии частотой 2450 МГц;
- количественно описана взаимосвязь режимных параметров СВЧ-сушки с её удельной производительностью;
- доказано, что предложенные режимы обеспечивают максимальное сохранение нативных свойств и биологической ценности продукта: сохраняется жирнокислотный профиль (включая полиненасыщенные ω -3 и ω -6 кислоты), полный спектр незаменимых аминокислот, витамины А и Е, а также микроэлементный состав.

Следует отметить, что новизна диссертации состоит в формировании целостного научно обоснованного подхода, объединяющего исследование свойств сырья, разработку математической модели, обоснование рациональных режимов и создание инженерного решения процесса сушки. Это позволяет рассматривать полученные результаты как вклад в развитие теории и практики процессов тепломассопереноса при обезвоживании сложных пищевых систем.

Теоретическая и практическая значимость.

Теоретическая значимость исследования состоит в расширении научных представлений о химическом составе и биологической ценности печени сома,

а также в углублении теории тепломассопереноса применительно к рыбным субпродуктам. Установленные и математически формализованные зависимости теплофизических и диэлектрических характеристик от влажности, результаты термодинамического анализа сорбции и выявленные кинетические закономерности СВЧ-обезвоживания вносят вклад в научные основы проектирования процессов сушки многокомпонентных пищевых систем.

Практическая значимость определяется созданием конкретной ресурсосберегающей технологии микроволновой сушки печени сома, защищённой патентом РФ на полезную модель № 231633. Разработанная технология позволяет получать стандартизированный сухой пищевой ингредиент с высокими потребительскими свойствами, превращая побочное вторичное сырьё в экономически выгодный продукт. Экономические расчёты подтверждают рентабельность предложенного решения, а акты внедрения на предприятиях города Астрахани свидетельствуют о его готовности к промышленному использованию.

Замечания по диссертационной работе.

1. В первой главе соискателем убедительно показаны преимущества СВЧ-энергоподвода перед конвективной сушкой (объёмный нагрев, сокращение времени), однако недостаточно полно проведен сравнительный анализ двух щадящих методов консервации рыбного сырья влагоудалением: предлагаемой СВЧ-сушки и сублимационной сушки. Соискатель лишь вскользь упоминает, что сублимация – это «дорогое и сложное техническое обеспечение» (стр. 30), констатируя факт, но не раскрывая его в цифрах и физике процесса. Такое упрощение ослабляет аргументацию.

2. В разделе 3.1 диссертации соискатель приводит экспериментально полученные изотермы сорбции печени сома (ПСО) при двух температурах: 298 К (25°C) и 313 К (40°C). Однако в тексте диссертации отсутствует какое-либо пояснение, чем обусловлен выбор именно этих температурных режимов.

3. На стр. 63 диссертации соискатель при расчете коэффициента теплоотдачи с использованием критериев подобия Gr и Pr в качестве определяющего линейного размера L принимает длину стенки рабочей камеры СВЧ-печи, обосновывая это тем, что она «лимитирует воздействие микроволнового поля». Однако с точки зрения теплообмена корректнее было бы использовать гидравлический диаметр канала, например, удвоенный зазор между лентами в разработанной петлевой сушилке.

4. В разделе 4.1 соискатель экспериментально исследует процесс микроволновой сушки при мощностях 90, 180, 270 и 360 Вт, отмечая, что при

360 Вт наблюдается очаговое подгорание продукта. Далее, соискатель обоснованно исключает мощность 360 Вт из-за подгорания продукта, однако не объясняет, почему при наличии экспериментальных данных для 270 Вт дальнейшее моделирование проводится только для 90 и 180 Вт. Выбор этих двух режимов в ущерб третьему (270 Вт) оставлен без комментариев, что снижает обоснованность последующих расчётных выводов.

5. Одним из основных результатов диссертационного исследования заявлено, что разработанный режим микроволновой сушки обеспечивает максимальную сохранность биологически активных веществ, включая витамины А и Е. При этом, в диссертации не рассмотрены возможные потери ценных компонентов печени сома (в частности, витаминов А и Е) при её тепловой обработке.

6. В диссертации отсутствуют данные о хранимоспособности полученного сухого продукта. Учитывая, что целью сушки является консервация скоропортящегося сырья для его длительного хранения и последующей промышленной переработки, соискателю следовало бы оценить динамику изменения микробиологических показателей, окислительной порчи липидов (кислотное и перекисное числа) либо содержания витаминов в процессе хранения.

7. В разделе 6.1 представлен расчёт себестоимости сухого порошка из печени сома, однако работа не содержит ключевых показателей экономической эффективности: не рассчитаны ожидаемая прибыль (при разных рыночных ценах реализации), рентабельность производства, а также срок окупаемости капитальных вложений (оборудование). Без этих показателей трудно оценить практическую привлекательность разработанной технологии для потенциальных инвесторов или промышленных предприятий.

Приведенные замечания не снижают общей научной ценности, методологической обоснованности и практической значимости диссертационного исследования, выполненного на высоком научно-методическом уровне и соответствующего современным требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Заключение.

Выполненное Ясновым Андреем Сергеевичем диссертационное исследование является целостным научно-квалификационным трудом, посвящённым решению актуальной задачи – разработке технологии и аппаратного оформления процесса микроволновой сушки печени сома как вторичного ресурса рыбохозяйственного комплекса. Предложенный подход

обеспечивает эффективное вовлечение этого сырья в промышленный оборот при полном сохранении его исходных биологически ценных качеств.


В целом результаты и выводы, приведённые в диссертационной работе, рекомендуются для широкого практического применения. Полученные научно-технические решения целесообразно широко внедрить в промышленное производство для создания новых видов функциональной продукции, использовать в исследовательской работе для расширения ассортимента и создания перспективных технологий из рыбной продукции, а также включить в учебные программы подготовки специалистов пищевой отрасли.

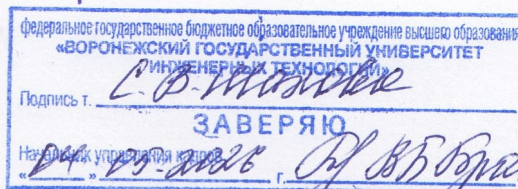
На основании вышеизложенного считаю, что диссертационная работа Яснова Андрея Сергеевича на тему «Научное обоснование технологии и технических решений сушки печени сома в поле СВЧ», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, полностью соответствует требованиям п.9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (в актуальной редакции), а её автор, Яснов Андрей Сергеевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 4.3.3. Пищевые системы.

Официальный оппонент:

Профессор кафедры машин и аппаратов пищевых производств ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»
доцент, доктор технических наук по специальности 05.18.12 – Процессы и аппараты пищевых производств

Шахов Сергей Васильевич

 «04» 05 2026 г.



Сведения об организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный университет инженерных технологий»

Адрес: Россия, 394036 г. Воронеж, пр. революции, д. 19

e-mail: shahov.s@vsuet.ru, Тел.: 8 (473) 255-38-96

