

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Малинина Артема Владимировича на тему
«Разработка технологических подходов получения биоактивных
упаковочных материалов для пищевых систем», представленной на
соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности: 4.3.3 — Пищевые системы

Актуальность темы диссертационной работы

Во все исторические периоды качеству пищевых продуктов придавалось большое значение, поскольку нарушение условий хранения или превышение допустимых сроков годности ведет к их порче и образованию вредных для здоровья соединений. Употребление таких продуктов может привести к пищевым отравлениям, включая массовые случаи, что оказывает негативное влияние на состояние здоровья и общее самочувствие человека. Рациональное питание, основанное на употреблении безопасной и качественной пищи, считается одной из ключевых составляющих здорового образа жизни и общего состояния здоровья населения. В последние годы этому вопросу уделяется все больше внимания в странах с высоким уровнем социального и экономического развития, что обусловлено неблагоприятными изменениями в окружающей среде. Тем не менее, определение степени свежести и качества пищевых продуктов остается весьма трудоемкой задачей, так как требует использования дорогостоящего аналитического оборудования, специализированных микробиологических лабораторий, участия квалифицированных специалистов, а также значительных временных затрат. В связи с этим контроль качества продуктов питания на этапах хранения и реализации, как правило, не осуществляется. Обычно проверка ограничивается контролем сроков годности, указанных производителем. Однако визуальный осмотр упакованных продуктов покупателями не предоставляет объективной информации об их реальном качестве.

Контроль свежести и качества пищевых продуктов на всех этапах — от поступления сырья на перерабатывающее предприятие до момента потребления — представляет собой актуальную и важную задачу. Используемые для этого методы должны быть простыми, доступными для потребителя, не требующими применения дорогостоящего и сложного оборудования, а также участия квалифицированного персонала. Одним из перспективных направлений решения данной проблемы является разработка инновационных видов биоактивной упаковки. Такие упаковочные материалы содержат специальные вещества или индикаторы, способные реагировать на появление соединений, возникающих при порче пищевых продуктов, за счет изменения своих физико-химических свойств.

Особую значимость для создания биоактивных упаковочных материалов, способных отображать изменения, происходящие в пищевой системе, приобретает использование композиций на основе растительных

полимеров и сенсорных пигментов. Это направление остается востребованным и имеет высокий потенциал в обеспечении качества сырья и безопасности пищевой продукции для конечного потребителя.

На сегодняшний день основная часть научных разработок в этой области осуществляется исследовательскими группами, расположенными в экономически развитых странах. Следует отметить, что в Российской Федерации технологии, позволяющие производить биоактивные упаковочные материалы, обеспечивающие мониторинг качества пищевых продуктов в реальном времени, практически не развиты.

Таким образом, тематика настоящего диссертационного исследования обладает несомненной актуальностью, поскольку направлена на решение комплекса научных и прикладных задач, объединенных общей целью – разработкой биоактивных сенсорных пленочных материалов, обладающих функцией пролонгирования сроков хранения и индикации изменений качества в пищевых системах.

Научная новизна диссертационной работы

Научная новизна результатов, полученных в ходе выполнения диссертационного исследования, а также сформулированных выводов и разработанных рекомендаций не вызывает сомнений. В целом, она заключается в создании композиций на основе растительных полимеров и сенсорных пигментов, предназначенных для изготовления биоактивных упаковочных материалов, обладающих функциями индикации изменения качества пищевых систем. Представленные в диссертационной работе разработки отличаются оригинальностью и соответствуют критериям научной новизны.

Научная новизна диссертации Малинина А.В. соответствует требованиям паспорта специальности ВАК РФ 4.3.3 — Пищевые системы, в частности, положениям пунктов 8, 13, 17 и 27, и выражается в следующих аспектах:

- научно обоснована и доказана с использованием квантово-химических вычислений целесообразность применения комплекса антоцианов экстракта черники в качестве пигмента-сенсора в составе полисахаридной матрицы биоактивного экоматериала.

- впервые доказана эффективность применения низкочастотного ультразвукового воздействия в режиме воздействия 700 Вт/л, экспозиции 5 мин для получения биоактивных пленочных экоматериалов с улучшенными эксплуатационными свойствами, контролируемой биоразлагаемостью и безопасностью для упаковки, сигнализирующей о процессах порчи продукта.

- обоснована и экспериментально доказана эффективность использования эмульсии Пикеринга, структурированной комплексом альгината натрия (Alg-Na) и наночастиц оксида цинка (НЧ ZnO), в составе биоматериалов-сенсоров для усиления барьерных и бактерицидных свойств упаковки.

- показана эффективность применения биоматериалов-сенсоров, чувствительных к pH, при упаковке разных видов пищевых систем для оценки динамики изменения их качества с использованием колориметрической шкалы.

Новизна предлагаемых в диссертационной работе технических решений подтверждается наличием четырёх патентов Российской Федерации:

- «Метод получения модифицированного крахмала» (патент РФ № 2708557),
- «Метод получения биоразлагаемого композиционного материала на основе растительных биополимеров (варианты)» (патент РФ № 2731695),
- «Метод производства полисахаридного композиционного материала с использованием ультразвуковой обработки» (патент РФ № 2784190),
- «Метод получения пищевого ингредиента на основе эмульсии Пикеринга» (патент РФ № 2812707).

Данные охранные документы свидетельствуют о технической реализуемости и оригинальности разработанных подходов и решений.

Практическая значимость диссертационной работы

Практическая значимость выполненного диссертационного исследования является очевидной и заключается в том, что его основные методические положения и сформулированные выводы имеют прикладной характер и оформлены в виде конкретных рекомендаций. Эти рекомендации могут быть использованы при контроле качества пищевых продуктов с ограниченным сроком хранения в процессе их реализации в торговых сетях.

Экспериментально обоснованы и подтверждены новые технологические подходы к получению сенсорных биоматериалов, предназначенных для мониторинга и контроля состояния пищевых систем. Разработанные биоматериалы прошли успешную апробацию в условиях функционирующего производственного предприятия. Практическая реализация и проверка разработанных технологических решений осуществлены на базе ООО «Линум» (г. Челябинск), что свидетельствует о высокой степени их прикладной пригодности.

Степень обоснованности основных научных положений, выводов и рекомендаций, изложенных в диссертационной работе, а также их

достоверность подтверждаются всесторонним анализом отечественной и зарубежной научно-технической литературы и патентных источников. Достоверность результатов обеспечивается применением научно обоснованной методологии, основанной на теоретическом осмыслении проблемы совершенствования технологий получения пролонгированно действующих биоматериалов-сенсоров для упаковки пищевых систем.

Дополнительное подтверждение достоверности выводов обеспечено масштабом проведенных экспериментальных исследований, использованием высокоинформативных инструментальных методов анализа (ИК-Фурье-спектроскопии, оптической и сканирующей электронной микроскопии, вискозиметрии), а также применением современного аналитического оборудования. Обработка экспериментальных данных и статистическая оценка достоверности результатов выполнялись с использованием специализированного программного обеспечения: Microsoft Office Word и Excel (Windows 10), Statistica 13, MathCad 14.0 Professional, OriginPro 8.0, AutoDock, SR5, SPSS 25.0, xTB, MOPAC.

Достоверность также подтверждается согласованностью полученных данных с результатами, представленными в работах ведущих отечественных и зарубежных исследователей, а также наличием актов промышленной апробации и внедрения разработок.

Полнота опубликованных результатов диссертационной работы

В рамках темы диссертационного исследования опубликовано 22 научные работы, включая 13 статей в изданиях, входящих в перечень, рекомендованный ВАК РФ, а также одну статью в международном научном журнале, индексируемом в базе данных Scopus. Кроме того, получены 4 патента Российской Федерации на изобретения, подтверждающие оригинальность и прикладную значимость разработанных технических решений.

Основные результаты и положения диссертации неоднократно представлялись, обсуждались и получали одобрение научного сообщества на международных, всероссийских и межрегиональных научно-практических конференциях, семинарах и форумах, проводившихся в период с 2019 по 2025 годы. В связи с этим научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертационной работе, являются аргументированными и заслуживают доверия.

Соответствие автореферата содержанию диссертации

Содержание автореферата, а также представленных научных публикаций в полной мере отражает основное содержание, цели, задачи и

результаты, изложенные в диссертационной работе. Основные положения, выводы и рекомендации, представленные в автореферате, адекватно и полно воспроизводят структуру и логику исследования, выполненного в рамках диссертации.

Личный вклад соискателя

Личный вклад автора в разработку рассматриваемой научной проблемы заключается в самостоятельной постановке и обосновании актуальности исследования, формировании концепции и структуры работы, проектировании и проведении как теоретических, так и экспериментальных исследований. Соискателем также осуществлены анализ и интерпретация полученных данных, обобщение научных и экспериментальных материалов, подготовка результатов к публикации, а также организация их практического внедрения.

Анализ содержания диссертационной работы

Структура и объем диссертационной работы

Материал диссертации Малинина А.В. изложен на 124 страницах, включает 27 таблиц, 18 рисунков и 159 литературных источников, в том числе 86 иностранных.

Диссертационная работа имеет традиционную структуру: введение, аналитический обзор, методическая часть, результаты исследования и их анализ (3 главы), заключение, список литературы и приложения.

Во введении раскрывается актуальность выбранной проблематики, анализируется степень ее научной разработанности, а также формулируются цель и основные задачи исследования. Представлены научная концепция работы, новизна полученных результатов, а также теоретическая и практическая значимость проведенных исследований. Сформулированы научные положения, выносимые на защиту. Обоснована достоверность полученных результатов, приведены данные по их апробации в научном сообществе. Отражен личный вклад автора в решение поставленных научных проблем. Кроме того, во введении содержится информация о структуре и объеме диссертации, а также о количестве опубликованных научных трудов, выполненных по теме диссертации.

Первая глава посвящена всестороннему анализу литературных источников, касающихся проблем сохранения продовольственных ресурсов и поиску эффективных решений для обеспечения продовольственной безопасности и стабильности.

Автор проводит детальный анализ факторов, влияющих на качество пищевых продуктов, изучает возможные механизмы их порчи и

рассматривает пути повышения сохранности пищевой продукции посредством разработки биоактивной и биоразлагаемой упаковки.

В работе проведен тщательный патентный обзор биоактивных материалов, применяемых при производстве упаковки для пищевых систем. Особое внимание уделено технологическим свойствам природных полимеров, которые характеризуются способностью к формированию пленок, биоразлагаемостью, а также антимикробными и антиоксидантными свойствами, что делает их перспективными матрицами для создания биоразлагаемых пленочных материалов. Дополнительно представлены характеристики ряда природных пигментов-сенсоров, предназначенных для мониторинга и контроля качества пищевых продуктов.

Проанализировав данные, представленные в литературе, автор приходит к выводу, что проблема сохранения продовольственных ресурсов с целью обеспечения продовольственной безопасности остается одной из наиболее актуальных на сегодняшний день. Потеря качества пищевых продуктов происходит на различных этапах товародвижения и обусловлена совокупностью факторов. В связи с этим поиск эффективных решений по сохранению продовольствия имеет глобальное значение и представляет собой важное направление научных и технологических исследований.

Ключевые стратегии, направленные на совершенствование методов хранения пищевых продуктов, включают инновационные упаковочные технологии и передовые способы хранения, способствующие продлению срока годности и повышению безопасности продукции. Важно отметить, что существующие методы сохранения качества оказывают стабильный эффект лишь при условии предотвращения воздействия экзогенной и остаточной эндогенной микрофлоры, что требует разработки упаковочных материалов с улучшенными барьерными свойствами. Обеспечение качества и безопасности продуктов с высоким содержанием белка, в частности, мясных и морепродуктов предполагает комплексный подход, учитывающий все потенциальные факторы порчи и предусматривающий внедрение современных практик сохранения.

Автор считает, что для достижения поставленной цели необходимо исследовать полный жизненный цикл упаковки – начиная от выбора сырья и производства, анализа взаимодействия с пищевыми продуктами, до использования и утилизации – с учетом баланса стоимости, эффективности, здоровья потребителей и экологических аспектов.

Обзор научно-технической литературы и патентных источников позволил диссертанту обоснованно сформулировать цель, задачи и направления дальнейших исследований.

Экспериментальная часть работы состоит из четырёх глав.

Вторая глава посвящена организации проведения экспериментальных исследований. Автором представлена наглядная схема эксперимента, демонстрирующая способность соискателя грамотно планировать и организовывать научную работу. Описаны объекты исследования, а также подробно изложены методология, включающая применение различных

физико-химических методов анализа, таких как ИК-Фурье-спектроскопия, оптическая и сканирующая электронная микроскопии, вискозиметрия, а также микробиологических, органолептических и статистических методов исследования.

В главах 3–5 изложены результаты экспериментальных исследований, а также проведен их детальный анализ и обсуждение.

В третьей главе представлены результаты экспериментального обоснования ресурсной базы для разработки биоактивных упаковочных материалов. В ходе исследования объектов выборки по таким показателям, как растворимость, вязкость водных суспензий, способность к гелеобразованию, размер частиц и пленкообразующая способность гидрогелей, автором были определены полимерные композиции, пригодные для использования в качестве основной матрицы биоактивного пленочного материала.

На основании анализа биоактивных и кислотно-основных характеристик экстрактов растительных пигментов-сенсоров выявлен наиболее оптимальный индикаторный наполнитель для биополимерной матрицы.

В четвертой главе изложены результаты разработки технологических решений, направленные на создание матрицы биоактивного упаковочного материала. Проведено исследование влияния ультразвуковой обработки на процессы формирования пленок с заданными пленкообразующими свойствами и определенными структурно-механическими характеристиками. Автором осуществлен комплексный анализ влияния ультразвука различной мощности и продолжительности воздействия на функциональные и эксплуатационные параметры получаемых материалов. Применение метода центрального композиционного планирования дало возможность автору провести моделирование условий эффективного использования ультразвука в технологии производства биоактивной упаковки.

Определены оптимальные технологические режимы, обеспечивающие формирование матрицы с требуемыми характеристиками, способствующими достижению необходимых функциональных и эксплуатационных свойств упаковочных биоматериалов.

Представлены экспериментальные данные, подтверждающие возможность введения антоцианов черники в состав пленок для выполнения функции сенсорного индикатора. Разработанный состав матрицы демонстрирует антимикробную активность, а также чувствительность к изменениям кислотности среды.

Также продемонстрирована эффективность включения в структуру матрицы биоактивного материала эмульсии Пикеринга. Добавление

антоцианов и эмульсии Пикеринга способствовало улучшению механических, структурных и эксплуатационных характеристик сформированных пленочных материалов.

В пятой главе рассмотрен комплексный подход к оценке показателей, характеризующих процессы порчи пищевых систем в условиях реального хранения, с целью сохранения их качества за счет индикации изменений, происходящих с использованием разработанных биоактивных пленочных материалов, функционирующих как сенсоры, чувствительные к изменениям pH.

В рамках анализа эксплуатационных характеристик биосенсорных упаковочных материалов, предназначенных для различных категорий скоропортящихся пищевых продуктов, автором решены задачи по выбору подходящих пищевых систем с ограниченным сроком годности и организации системы контроля качества на разных этапах хранения с возможностью своевременной фиксации начальных признаков порчи.

С применением методов молекулярного моделирования установлены взаимосвязи между активными формами антоцианидинов и изменением pH-среды, а также взаимодействие с ферментативной системой мясных продуктов и морепродуктов. Это позволило обосновать потенциал биоактивной упаковки как эффективного ингибитора микробиологической порчи и средства пролонгирования сроков хранения за счет консервирующего действия.

В завершение главы представлена экспериментальная и теоретическая база, подтверждающая эффективность использования разработанных биоактивных пленок в целях мониторинга состояния пищевых систем в процессе хранения и обеспечения их сохранности за счет раннего выявления изменений качества.

В заключении диссертантом сформулированы ключевые выводы по выполненному исследованию, которые опираются на результаты проведенных экспериментальных работ и полностью соответствуют поставленным в диссертации задачам. Сделанные выводы являются обоснованными, логично вытекают из содержания описанных материалов и подтверждаются полученными в работе данными.

В приложении представлены акт промышленного производства новых биоактивных материалов, а также два комплекта нормативной документации (технических инструкций) для изготовления биоактивного материала-сенсора для пищевых систем: первый вариант технологического подхода — метод прямого внесения, второй — метод ультразвукового воздействия (НУЗВ). Кроме того, приложены четыре патента на изобретения, которые в совокупности подтверждают научную и практическую значимость выполненной работы.

Ознакомление с диссертацией позволяет сделать вывод, что представленные материалы являются результатом масштабных экспериментальных и аналитических исследований, выполненных с тщательным планированием и на высоком техническом и методическом уровне. Работа обладает несомненной научной ценностью и перспективами практического применения.

Замечания и вопросы по диссертационной работе

В целом положительно оценивая диссертационную работу Малинина Артема Владимировича, имеются следующие **замечания**:

1. В представленной работе для исследования реакции пигментов-сенсоров и пленочных упаковочных материалов на изменения рН среды были использованы буферные растворы с рН 2, 4, 7, 9 и 12. Антоцианы характеризуются крайне узким интервалом рН, в котором наблюдается визуально различимая смена окраски. Это качество делает их перспективными сенсорными элементами для мониторинга состояния пищевой продукции в реальном времени. Однако примененный в исследовании диапазон рН, охватывающий только значения 4 и 7, затрудняет четкое выявление изменений цвета антоцианами. Более целесообразным было бы сосредоточить внимание на более узком диапазоне рН – от 5,5 до 6,5, поскольку именно в этом интервале происходят изменения активной кислотности продуктов, богатых белком на фоне их порчи. Более детальное исследование данной области могло бы обеспечить получение более достоверных данных, способствующих выявлению начальных этапов порчи пищевых продуктов.
2. В таблице 16 приведены результаты, демонстрирующие повышение антиоксидантной активности (АОА) исследуемых образцов. Однако, причина увеличения АОА у сенсорных пленочных материалов под воздействием ультразвука остается неясной и требует дополнительного обоснования.
3. В тексте работы отсутствует информация о форме введения антоцианов в матрицу, а также не указана их дозировка.
4. На рисунке 14 представлена общая схема получения биоактивных пленочных упаковочных материалов-сенсоров для пищевых систем. Однако, вызывает вопросы необходимость охлаждения смеси до 21–23 °С перед стадией формования методом литья. Логичнее было бы осуществить формование непосредственно после этапа нагрева, поскольку охлаждение может затруднить равномерное распределение компонентов в пленке. Кроме того, неясна цель этапа нагрева на водяной бане при температуре 90–100 °С в течение 5 мин раствора для

пленочного сенсорного материала на основе картофельного крахмала и экстракта черники по технологии прямого внесения.

5. В процессе хранения пищевых продуктов антоцианы, содержащиеся в упаковочном материале, могут мигрировать в пищевую среду и вызывать ее окрашивание. Такое изменение цвета поверхности продукта при использовании биоактивной упаковки способно негативно повлиять на его органолептические свойства и снизить потребительскую привлекательность. В исследовании в качестве полимерной матрицы были использованы гидрофильные материалы, при этом не проводилась стабилизация (иммобилизация) антоцианов, что увеличивает риск их миграции. Кроме того, в работе не представлены данные, характеризующие степень перехода антоцианов из упаковочного материала в водные или другие гидрофильные системы. В связи с этим остается неясным, каким образом автор планирует решать проблему неконтролируемой миграции пигментов и обеспечивать сохранность органолептических характеристик упакованного продукта.
6. В Главе 5.1 автором рассмотрено антимикробное действие антоцианов в отношении микроорганизмов, вызывающих порчу пищевых продуктов. Экспериментальные данные демонстрируют снижение жизнеспособности бактериальных клеток при их контакте с антоцианами. Однако, в работе отсутствует анализ влияния консервирующих свойств антоцианов, включенных в состав упаковочных материалов, на фактическое продление сроков хранения пищевой продукции. Таким образом, остается неясным, в какой мере биоактивная упаковка с антоцианами способна замедлять микробиологическую порчу и обеспечивать пролонгирование свежести продуктов в реальных условиях хранения.
7. В Главе 5.2 представлены данные об изменении показателей pH у креветок и филе птицы в процессе хранения. Однако вызывает вопросы зафиксированное снижение pH филе птицы на фоне повышения pH у креветок. Причины такого расхождения в динамике изменения активной кислотности не раскрыты. Если в процессе хранения действительно происходит снижение pH филе птицы, целесообразность применения сенсорных упаковочных материалов, содержащих антоцианы, для мониторинга его качества остается под сомнением. В диапазоне pH 5,2–5,7 антоцианы сохраняют стабильную окраску, и, соответственно, визуальных изменений цвета упаковки, сигнализирующих о порче, не произойдет. Это существенно ограничивает практическую эффективность предлагаемой упаковки для контроля свежести данного вида сырья.

**Заключение о соответствии диссертации требованиям
Положения ВАК о порядке присуждения ученых степеней**

Результаты, полученные диссертантом, обладают очевидной научной и практической значимостью, поскольку представляют собой новый методологический подход к мониторингу качества пищевых продуктов в процессе хранения. Этот подход основан на разработанных принципах, алгоритмах и технологиях создания биоактивных упаковочных материалов, обладающих одновременно пролонгирующими свойствами и функцией индикации.

Все вышесказанное дает основание считать, что диссертационная работа «Разработка технологических подходов получения биоактивных упаковочных материалов для пищевых систем» является значимой завершенной научно-квалификационной работой, выполнена на актуальную тему и посвящена решению важной социально-экономической задачи в сфере обеспечения продовольственной безопасности и сохранения качества сырья и продуктов переработки;; соответствует требованиям, изложенным в п.п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 № 842 «О порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а ее автор Малинин Артем Владимирович заслуживает присуждения искомой степени кандидата технических наук по специальности 4.3.3. — Пищевые системы.

Официальный оппонент:

Доктор технических наук (научная спец. 05.18.07), доцент,
профессор базовой кафедры «Пищевой и клеточной инженерии»
Передовой инженерной школы
«Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем»
ФГБОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет»

01.08.2025



Н.Ю. Чеснокова

690000, Россия, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс 10,
тел. 8 (423) 243 23 15, e-mail: chesnokova.nyu@dvfu.ru

