

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА,**

доктора технических наук, профессора Джураева Хайрулло Файзиевича на диссертационную работу Икроми Хуршеда Икрома «Инновационные технологические процессы получения пектинов и их пищевых композитов с белками», представляемой к защите на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.18.12 – Процессы и аппараты пищевых производств

**Актуальность темы диссертационной работы.** Биоматериалы с исключительными свойствами вызвали большой исследовательский интерес, особенно в области создания новых пищевых продуктов и систем доставки лекарств (СДЛ). Как синтетические, так и природные полимеры считаются лучшими кандидатами для производства биоматериалов и пищевых продуктов нового поколения. Гидрогели, пленки, наночастицы и нанокомпозиты это лишь некоторые продукты и лекарственные формы, которые были разработаны и усовершенствованы в различных областях пищевой и фармацевтической промышленности.

За последние несколько десятилетий гидрогелиевые системы с использованием природных полимеров широко использовались в функциональных пищевых продуктах и как СДЛ. Среди известных гидрогелиевых СДЛ, на основе биополимеров, пектин является исключительным природным полимером благодаря своим уникальным функциональным возможностям и превосходным свойствам, таким как биосовместимость, биоразлагаемость, низкая стоимость и простая способность к гелеобразованию, что вызвало значительный интерес в пищевой и фармацевтической областях.

В настоящее время пектин производится в больших объемах зарубежными компаниями по классической технологии, и они распложены в Америке, Европейских стран, а также в Китае. В 2002 году в мире было произведено около 45 тысяч тонн пектина, по цене менее 10 долларов за 1 кг. В 2015 году цена на пектин выросла до 15 долларов за кг, а через 5 лет цена на пектин достигла 18-20 долларов, а производство этого продукта увеличилось до 70 тысяч тонн. Тем не менее, существует растущая потребность в пектинах и биоматериалах на их основе с уникальными свойствами для доставки лекарств и

пищевых систем, что свидетельствует об актуальности темы и результатах диссертационной работы Икроми Хуршеда Икрома.

Кроме того, необходимо отметить, что цели и задачи данного исследования очень широкие и объединяют множество проблем в технологии производства пектина и процессах создания функциональных пищевых продуктов, таких как поиск сырьевых источников, исследование процессов производства пектина, изучение основных свойств пектинов (гелеобразования и комплексообразования) с целью получения стабильных композитов и гидрогелиевых систем, требуемых для нужд пищевой и фармацевтической отраслей.

В связи с растущим потребительским спросом на низкокалорийные и безопасные продукты питания с хорошими вкусовыми качествами, преимущественно растительного происхождения, в последнее десятилетие (2010–2020 гг.) спрос на пектиновые вещества растет быстрыми темпами.

Результаты, полученные Икроми Х.И. с соавторами, дают единое представление о новом достижении науки в области технологии получения пектина и функциональных продуктов на его основе. Помимо проблем безопасности и окружающей среды, связанных с использованием легковоспламеняющихся спиртов и вакуумных установок, создающих экологическую опасность из-за взрывоопасных паров спирта, в процессе кислотного гидролиза происходит значительная деградация исходной молекулярной структуры пектинового полисахарида (ПП). Разработанные в данной работе процессы позволяют получить пектин, с сохранёнными нативными свойствами.

В диссертационной работе Икроми Х.И. также обсуждаются процессы производства потенциальных продуктов, связанных с созданием СДЛ и функциональной пищи на основе пектина и их комплекса с различными белками. В этом плане привлекаемыми является разработка СДЛ, для перорального введения многих лекарств, которые создают удобство больным, чувствительных к инъекционной боли, соблюдения пациентами режима лечения, кроме того

введение лекарств в СДЛ делает их биодоступными и малотоксичными, что делает результаты данной диссертационной работы весьма актуальными.

**Научная новизна диссертационной работы.** Научная новизна работы состоит в том, что на основе научного подхода диссертантом разработана новая инновационная технология получения пектинов и их пищевых композитов с белками.

Теоретические предпосылки и установленные закономерности использованы автором при разработке новых технологических методов и способов позволяющей улучшить качество пектина. Наиболее существенные аспекты новизны работы заключены в следующих решениях основных технологических стадий и операций по процессам получения пектинов и их композитов:

- разработан новый способ гидролиз-экстракции пектинов из фруктовых выжимок и корзинок подсолнечника: флеш и динамический методы;
- исследован процесс гелеобразования низкометилизованного (НМ) пектина и выявлен механизм гелеобразования;
- разработаны условия получения СДЛ на основе комплексов пектина и зеина с инкапсулированными лекарствами, устойчивыми к действию среды желудка.
- разработана и внедрена в производство диа-ультрафильтрационная очистка пектина и концентрирование пектинового гидролизата.

Обоснованность сформулированных в диссертации научной новизны, выводов и рекомендацией подтверждается согласованностью теоретических и экспериментальных исследований, выполненных с использованием современных средств, а также положительными результатами производственных испытаний.

**Оценка содержания диссертации, ее оформления и завершенности.** Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, четырёх глав, выводов, рекомендации по практическому использованию результатов, литературы (335 наименований). Работа изложена на 310 страниц, содержит 54 рисунка, 41 таблицу и 6 приложений.

**Во введении** представлены актуальность темы и основные характеристики полученных результатов диссертации.

**В первой главе** проведены анализ литературных данных по химии и технологии ПП и технологические особенности их получения, характеристики белков, и композиционных материалов на их основе.

**Вторая глава** посвящена объекту исследования, способы подготовки реагентов, методики проведения исследований.

**В третьей главе** изложены результаты исследования: флеш-способ гидролиз-экстракции пектинов из различных источников растительного сырья; динамический способ получения пектина из корзинки подсолнечника; применение мембранной технологии в процессе очистки и концентрировании пектинов; оценка качества пектинов ЯМР спектроскопией; расчет экономической эффективности разработанных процессов в производстве пектина; выделение и идентификация белков; процессы гелеобразования низкометилованных пектинов (НМ) и разработка условий получения СДЛ на основе комплексов пектина и белков с инкапсулированными лекарствами, устойчивыми к действию среды желудка; получение функциональных продуктов на основе композитных гелей и лактозы.

**Четвертая глава** посвящена обсуждению полученных результатов. Представлены результаты инновационных технологических процессов выделения, очистки и концентрирования пектинового полисахарида (ПП). Предложен новый способ гидролиз-экстракции ПП – флеш-способ, который характеризуется быстрой скоростью экстракции под давлением. В результате проведенных экспериментов продемонстрировано очевидное преимущество использования флеш-способа для гидролиз-экстракции пектиновых веществ из различных местных сырьевых ресурсов. Приводятся и обсуждаются детальные исследования физико-химических и молекулярно-массовых параметров полученных пектинов данным способом. Было установлено, что метод быстрой экстракции позволяет получать пектин из разных источников с оптимальными параметрами молекулярной массы, содержанию галактуроновой кислоты и степени

этерификации, что расширяет спектр его применения в различных областях пищевой промышленности и биомедицине.

Разработан динамический метод получения пектинов и проведен сравнительный анализ его с известным методом гидролиза в статическом режиме по таким параметрам, как выход всех фракций полисахаридов, изменения выхода полисахаридов от кислотности растворов гидролизата, молекулярные массы и гидродинамические параметры пектинов. Сделан вывод, что применение метода динамического гидролиза в колончатом экстракторе обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционным, так как позволяет контролировать процесс гидролиза, избегая чрезмерного воздействия кислот и высоких температур на состав и структуру молекул пектина, выделенного из раствора гидролизата растительного сырья.

Исследованы процессы диа-ультрафильтрационной (ДУФ) очистки и концентрирования пектинового гидролизата. Были проведены серия экспериментов с пектиновыми растворами, полученных из яблок и корзинки подсолнечника. Изучены основные параметры процесса ДУФ с тангенциальным потоком (ТДУФ) – селективность и производительность выбранных мембран. Влияние концентрации раствора пектина, степени деградации и молекулярных параметров пектинового гидролизата на производительность мембраны определены в зависимости от режима процесса гидролиз-экстракции. Установлено, что высокая степень очистки наблюдается в конечном продукте, очищенном ТДУФ, в котором содержание балластных веществ, ухудшающих потребительские свойства пектина, уменьшается в 3-6 раз.

Для детального анализа влияния спиртового осаждения и ТДУФ методов на структуру и качество пектина был использован метод 1D и 2D ЯМР-спектроскопии. Сравнение двух наборов спектров ( $^1\text{H}$  ЯМР и  $^{13}\text{C}$  ЯМР) показывает, что процесс ТДУФ удаляет из пектиновых растворов больше свободных примесей (моносахариды и другие низкомолекулярные балласты), которые отрицательно сказываются на качестве пектина, что делает этот метод предпочтительнее для использования в производстве. Демонстрирована

эффективность процесса ТДУФ по расходу спирта и энергии в производстве пектина. Расчёт экономической эффективности производства пектинов предложенными инновационными методами показал, что производство по предлагаемой ресурсосберегающей технологии и эффективностью производственного цикла, а также по сравнительно низкой себестоимости создает существенные преимущества перед конкурентами из зарубежных стран, поставляющих пектины в Республику Таджикистан.

Установлены оптимальные технологические параметры процесса гидролиз-экстракции (температура, продолжительность процесса и давление) для отдельных видов растительного сырья на основе составленной математической модели. Автором предложена математическая модель процесса изменения производительности мембраны как за счет образования сплошного гелевого слоя, так и за счет блокирования отдельных пор. Также предложена программа для возможного запуска промышленного производства пектина.

Был разработан метод выделения концентрата лактоглобулинов с использованием комбинации методов центрифугирования и УФ, и были определены оптимальные параметры процесса концентрирования. Показано, что на выход концентрата лактоглобулинов существенное влияние оказывают следующие факторы: рН, температура и молекулярная масса компонентов молочной сыворотки.

Полученные результаты по разработке условий получения комплексов на основе пектина и зеина с инкапсулированным средством, устойчивых к действию среды желудка показывают, что на процесс комплексообразования и степень насыщения лекарственного вещества влияют природа биополимеров, их пропорции, а также наличие и тип двухвалентного металла.

В результате оптимизации процесса ферментации УФ-пермеата молочной сыворотки  $\beta$ -галактозидазой совершенствована технология производства глюкозно-галактозного сиропа, в частности, было предложено время проведения процесса длительностью в 2 часа.

**В приложении** представлены результаты применения пектиновых концентратов при производстве пищевых продуктов на предприятиях пищевой промышленности Республики Таджикистан.

**Степень обоснованности и достоверности основных научных положений, выводов и практических рекомендаций.**

Достоверность полученных результатов подтверждается использованием таких взаимодополняющих современных физико-химических методов, как ЯМР-спектроскопия (методы 1D и 2D) и ИК-Фурье спектроскопия и МУЛС, выполненные на уникальных приборах известных компаний (Waters, Tesla, Wyatt Technology (США), Perkin Elmer (Швейцария) и др.), и хорошим воспроизведением результатов исследований и статистических методов анализа.

Результаты работы Икромии Х.И. с соавторами широко цитировались в международных признанных изданиях. Например, как пишет R. Ciriminna и ее соавторы в статье «Pectin: New science and forthcoming applications of the most valued hydrocolloid» опубликованном в журнале «Food Hydrocolloids 127 (2022) 107483» «..... Было разработано несколько альтернативных процессов для извлечения менее деградированного пектина с помощью бескислотных технологий». Будут ли эти технологии коммерциализованы, будет зависеть не от снижения воздействия на окружающую среду или улучшения качества продукции (меньшее разложение и более высокая чистота), а от их более высокой рентабельности из-за значительно более низких капитальных и производственных затрат. Такая повышенная рентабельность может быть обусловлена также новыми промышленными возможностями по извлечению и других побочных продуктов. По мнению Мухидинова и его коллег (Structural characterization of pectin obtained by different purification methods / Z.K. Muhidinov, **Kh.I. Ikromi**, A.S. Jonmurodov, A.S. Nasriddinov, S.R. Usmanova, J.T. Bobokalonov, G.D. Strahan, L.S. Liu // International Journal of Biological Macromolecules. – 2021. – V.183. – P. 2227-2337. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.05.094>.), разделение этих продуктов в производстве пектина увеличивает стоимость всего производственного процесса.

Кроме того, достижения в технологии очистки уже позволяют заменить традиционную технологию спиртового осаждения на ДУФ с использованием мембран (Physico-Chemical Characterization of Pectic Polysaccharides from Various Sources Obtained by Steam Assisted Flash Extraction (SAFE) / Z.K. Muhidinov, Kh.I. Teshayev (**Kh.I. Ikromi**), A.C. Jonmurodov, D.Kh. Khalikov, M. Fishman // Macromol. Symp. Editors: V. Aseyev, H. Tenhu. – 2012. – V. 317-318, No 1. – P.142-148). Сравнение структур пектина, экстрагированного флеш-гидролизом в разбавленном растворе минеральной кислоты и выделенного с помощью спиртового осаждения и ДУФ непосредственно в пилотном масштабе, показывает, что последний процесс очистки дает (за 2 цикла) пектин с пониженной полидисперсностью и увеличенной молярной массой благодаря разделению пектиновых полимеров с более высокой молярной массой при затратах энергии, не превышающих энергозатраты процесса спиртового осаждения.

Действительно, как показано в главе 3 диссертационной работы, при сравнительном расчете эффективности разработанных процессов в производстве пектина, количество этанола и мощности, необходимые для выделения пектина при использовании классического процесса, соответственно в два и четыре раза превышают те, которые используются для выделения пектина методом ДУФ. Этот факт говорит о высокой достоверности и цитируемости работы диссертанта.

Несмотря на высокий уровень полученных результатов диссертационной работы, она не лишена некоторых недостатков.

#### **Вопросы и замечания по диссертации.**

1. В работе упоминается о возможных аномалиях в поведении некоторых пектиновых веществ, но не указывается, каким методом эти аномалии были обнаружены.
2. Диссертационная работа Икромии Х.И. представляет энциклопедический характер и объединяет различные процессы, от получения сырья до производства продукции, поэтому я считаю, что некоторые части работы

можно было сократить, чтобы лучше сформулировать ее научно-практическую ценность.

3. При расчете экономической эффективности производства пектинов не учтены виды сырья и степени их подготовки.
4. В раздел 3.3.2 приводятся методы и процессы выделения сывороточных белков с применением НМ-пектина, однако эти результаты недостаточно обсуждены в диссертации и автореферате.
5. Данные, полученные автором по реологическим свойствам гелей на основе различных пектинов в работе не обсуждаются.
6. Комментарий к некоторым графикам диссертации приведены на английском языке.
7. Один из основных параметров в процессе сушки пектинового концентрата является коэффициент массоотдачи. Однако об этом в диссертации информация отсутствует.

Приведенные замечания не отражаются в целом на положительной оценке обсуждаемой диссертационной работы, которая является законченным исследованием, проведенным автором на достаточно высоком научно-методическом уровне. Диссертационная работа актуальна и имеет практическое значение, а её результаты с успехом можно внедрить в производство различных пектинов, жележных продуктов и при переработке вторичного молочного сырья на ценные профилактические продукты, а также получения СДЛ в которых, сегодня нуждаются многие предприятия пищевой и фармацевтической отрасли Республики Таджикистан.

### **Заключение.**

На основании вышеизложенного считаю, что диссертационная работа Икромии Х. И. «Инновационные технологические процессы получения пектинов и их пищевых композитов с белками», представленная к защите на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.18.12 – Процессы и аппараты пищевых производств, по своему содержанию и полученным результатам соответствует паспорту специальности 05.18.12 – Процессы и

аппараты пищевых производств (пункты 1-3), отвечает всем требованиям Высшей аттестационной комиссии при Президенте Республики Таджикистан, предъявляемым к докторским диссертациям в соответствии с положением «Порядка присуждения учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства Республики Таджикистан от 30 июня 2021 г. № 267 (в редакции Постановления Правительства РТ от 26.06.2023 г. № 295), а ее автор Икром Хуршед Икром заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 05.18.12 – Процессы и аппараты пищевых производств.

### **Официальный оппонент**

Профессор кафедры «Информационно-коммуникационные системы управления технологическими процессами» Бухарского инженерно-технологического института, доктор технических наук по специальности 05.18.12- «Процессы, машины и агрегаты пищевой промышленности», профессор по специальности 02.00.16 – Процессы и аппараты химических технологий и пищевых производств:

07.06. 2024 г.

**Джураев  
Хайрулло Файзиевич**

200100, ул. К. Муртазаева, 15, г. Бухара, Узбекистан

E-mail: <https://bmti.uz>

Тел.: (+99865) 223-78-84

Подпись д.т.н., проф. Х.Ф. Джураева удостоверяю:

Начальник отдела кадров Жумаева Г.Т.

