

На правах рукописи



КОРЫШЕВА НАДЕЖДА НИКОЛАЕВНА

**НАУЧНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ НАПИТКОВ
НА ОСНОВЕ ЯБЛОЧНОГО СОКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
БАРОМЕМБРАННЫХ МЕТОДОВ**

Специальности: 05.18.01 - Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства;
05.18.12 - Процессы и аппараты пищевых производств

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Воронеж – 2022

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Воронежский государственный университет инженерных технологий» (ФГБОУ ВПО «ВГУИТ»).

Научные руководители -

доктор технических наук, профессор
Титов Сергей Александрович
(ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»)

доктор технических наук, профессор
Шахов Сергей Васильевич
(ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»)

Официальные оппоненты -

Перфилова Ольга Викторовна,
доктор технических наук,
(ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет») профессор кафедры технологии продуктов питания и товароведения

Лазарев Сергей Иванович,
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», заведующий кафедрой «Механика и инженерная графика»

Ведущая организация -

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Майкопский государственный технологический университет"

Защита диссертации состоится «30» сентября 2022 г. в 12³⁰ часов на заседании совета по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Д 212.035.04 при ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» по адресу: 394036, г. Воронеж, проспект Революции, 19, конференц-зал.

Отзывы на автореферат (в двух экземплярах), заверенные гербовой печатью учреждения, просим присылать ученому секретарю совета Д 212.035.04

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «ВГУИТ». Автореферат размещен в сети Интернет на официальном сайте Министерства науки и высшего образования РФ по адресу vak.ed.gov.ru и на официальном сайте ФГБОУ ВО «ВГУИТ» www.vsuet.ru «26» июля 2022 г.

Автореферат разослан «15» августа 2022 г.

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций
на соискание ученой степени
кандидата наук, на соискание
ученой степени доктора наук
Д 212.035.04

Е.В. Белокурова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования обусловлена необходимостью обеспечить население полноценным здоровым питанием, продуктами, производимыми на высокоэффективном оборудовании с низким энергопотреблением. Такие задачи были поставлены в Стратегии повышения качества пищевой продукции Российской Федерации до 2030 г., Государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия до 2025 г, Долгосрочном прогнозе социально-экономического развития сельского хозяйства Российской Федерации на период до 2036 года.

Степень разработанности темы исследования. Исследования в области получения напитков на основе фруктовых соков, а также баромембранной обработки сырья для таких напитков проводились рядом отечественных и зарубежных ученых: Мараевой О.Б., Бахаровым В.В., Макаровой Н.В., Перфиловой О.В., Храмцовым А.Г., Евдокимовым И.А., Рябцевой С.А., Серовым А.В., Лазаревым С.И., Гавриловым Г.Б., V. Aguirre Montesdeoca, Smith K., Simona M. Miron, Rocha-Mendoza D., R. Chan.

Несмотря на накопление достаточно большого объема экспериментальных и теоретических исследований по технологии соков и напитков, баромембранным методам переработки пищевого сырья, технологические и физические аспекты производства яблочно-сывороточных напитков с применением микро- и ультрафильтрации остаются малоизученной областью.

Работа проведена в рамках НОЦ «Живые системы» ФГБОУ ВО ВГУИТ «Живые системы в технологиях переработки сельскохозяйственного сырья и обеспечения здорового питания».

Цель работы: исследование и моделирование баромембранных технологических процессов при производстве яблочно-сывороточных напитков на основе комплексного анализа основных закономерностей этих процессов и физико-химических характеристик используемого сырья, разработка рекомендаций по совершенствованию технологий производства таких напитков, разработка конструкций баромембранных установок, минимизирующих загрязнение мембран.

В соответствии с поставленной целью решались **задачи:**

1. Провести анализ литературных источников, обосновать выбранный технологическую схему производства яблочно-сывороточных напитков с применением баромембранных процессов.

2. Провести исследование, моделирование и оптимизацию баромембранных процессов микро- и ультрафильтрации творожной сыворотки и яблочного сока, а также процесса сушки яблочных выжимок.

3. Разработать методики экспресс-контроля дисперсного распределения и структурно-механических характеристик суспензии пищевых волокон, а также пектиновых веществ яблочного сырья.

4. Исследовать функционально-технологические свойства и показатели качества сырья, продуктов и полупродуктов на различных стадиях технологического процесса получения яблочно-сывороточных напитков.

5. Создать математическую модель функционирования и разрушения динамической мембраны из пищевых волокон в ходе мембранных процессов переработки пищевого сырья.

6. Разработать мембранные аппараты для снижения влияния концентрационной поляризации на производительность фильтрации.

7. Разработать технические условия на технологию яблочно-сывороточных напитков с применением баромембранных процессов, провести апробацию технологии в производственных условиях.

Научная новизна.

1. Впервые при исследовании функционально-технологических свойств пищевых волокон, используемых для баромембранных процессов переработки, был применён метод корреляционной спектроскопии, позволивший определить гидродинамический радиус частиц, а также их распределение по размерам.

2. Установлено, что дисперсное распределение и структурно-механические характеристики гомогенизированной суспензии цитрусовых пищевых волокон позволяют использовать её для формирования динамических мембран при фильтрации творожной сыворотки

3. Показано, что динамические мембраны на основе цитрусовых волокон достаточно проницаемые, устойчивы к механическим воздействиям в диапазоне скоростей нормального потока 2-4 м/с и разрушаются совместным действием тангенциального потока со скоростью 7 м/с и противотока.

4. Создана физико-математическая модель разрушения динамической мембраны на основе цитрусовых пищевых волокон совместным действием тангенциального потока и противотока,

позволяющая определить проницаемость мембраны в зависимости от скорости тангенциального потока.

5. Найдено, что в ходе микрофльтрации суспензии цитрусовых волокон в творожной сыворотке при концентрации волокон 2 г на литр образуется динамическая мембрана, формирование и разрушение которой обеспечивает циклический режим работы без существенного снижения производительности и блокирования пор керамической мембраны частицами белка.

6. Разработанная технология яблочно-сывороточных напитков направлена на снижение количества микроорганизмов в напитках, исключение термообработки сырья, что позволяет максимально сохранять биологическую ценность продукта.

Теоретическая и практическая значимость. Получены новые и расширены существующие знания о решении проблемы потерь биологически активных компонентов яблочно-сывороточных напитков и вторичных продуктов переработки яблочного сырья на различных этапах технологического процесса получения напитков. Разработаны способы снижения влияния отложений на поверхности мембран на производительность баромембранных процессов переработки сырья для яблочно-сывороточных напитков.

Экспериментально получены закономерности изменения свойств динамических мембран на основе пищевых волокон в зависимости от параметров процесса фильтрации. Показано, что при динамической фильтрации яблочного сока и творожной сыворотки с использованием цикла фильтрация через слой волокон - противоток - пропускание над мембраной тангенциального потока с повышенной

скоростью не происходит существенного снижения производительности фильтрации во времени.

Результаты научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ создания сывороточно-соковых напитков на основе мембранных методов обработки сырья с использованием динамических мембран в составе опытно-экспериментальной установки для микрофильтрации жидких сред внедрены на производственной площадке ООО «Русский Урожай».

Разработан комплект технической документации на производство безалкогольного напитка «Надежда» на основе яблочного сока с использованием баромембранных методов (ТУ, ТИ, РЦ 11.07.19-02068108-2022)

Полученные результаты экспериментальных и теоретических исследований используются в образовательном процессе при подготовке бакалавров и магистров по направлениям 19.03.03 «Технология продуктов питания животного происхождения», 15.03.02 «Технологические машины и оборудование», а также при подготовке кадров высшей квалификации в аспирантуре по направлению 05.18.07 «Биотехнология пищевых продуктов и биологических активных веществ», 15.00.00 «Машины, агрегаты и процессы».

Методология и методы исследования. В диссертационной работе использованы общенаучные и специальные методы исследования: физические, физико-химические, микробиологические, органолептические и математические. Экспериментальные результаты прошли математическую обработку.

Положения, выносимые на защиту:

- условия получения и стабилизация качества яблочно-сывороточных напитков;
- закономерности изменения функционально-технологических свойств сырья и полупродуктов в зависимости от условий получения;
- результаты исследования физических процессов в ходе баромембранной обработки сырья для яблочно-сывороточных напитков.

Степень достоверности и апробация результатов. Исследования проводились в сертифицированных лабораториях ЗАО «ЭФКО-НТ», автономного научно-технического центра «Комбикорм», лабораториях НОЦ «Живые системы» при ВГУИТ, ЦКП ВГУИТ «КУЭП», ЦКП ВГУ, НИЛ кафедры МАПП, кафедры физики, тепло-техники и теплоэнергетики ВГУИТ. Корреляционную спектроскопию проводили в лаборатории кафедры физики и технологии наноструктур и материалов СКФУ.

Основные результаты исследований подтверждены сравнительным анализом литературных источников, использованием современных экспериментальных методов и статистической обработкой данных эксперимента.

Материалы доложены и обобщены: на международных научно-практических конференциях «Цифровизация агропромышленного комплекса» (Тамбов, 2018), IV и VI Международных научно-технических конференциях «Продовольственная безопасность: научное, кадровое и информационное обеспечение» (Воронеж, 2017 и 2019 гг.), «Инновационное предпринимательство: опыт регионов» (Воронеж, 2018), International Symposium Environmental, Engineering and Legal

Aspects for Sustainable Living (EURO-ECO – 2017) (Germany, Hannover, 2017), LVIII отчетной научной конференции преподавателей и научных сотрудников ВГУИТ (Воронеж, 2020), международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию кафедры сельхозмашин агроинженерного факультета Воронежского ГАУ (Воронеж, 2015 г.).

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Диссертационная работа соответствует пп. 1, 4, 12 паспорта специальности 05.18.01 и пп. 3, 4 паспорта специальности 05.18.12.

Публикации. По результатам исследования опубликованы 20 работ, из них 4 статьи в журналах, рекомендуемых ВАК РФ, 1 статья в журнале из базы данных Scopus, 2 патента РФ.

Структура и объем работы. Диссертация включает: введение, 7 глав, выводы, библиографический список, включающий 236 источников отечественных и зарубежных авторов. Работа изложена на 192 страницах текста, иллюстрирована 73 рисунками, 23 таблицами и приложениями.

Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации, состоит в критическом анализе информации по проблеме диссертационного исследования, постановке, осуществлении, обработке результатов экспериментов по совершенствованию баромембранных методов обработки плодово-ягодного сырья и творожной сыворотки применительно к технологии яблочно-сывороточных напитков с сохранением биотехнологического потенциала нативного сырья. Автором разработана техническая документация на яблочно-сывороточный напиток, результаты внедрены в производство.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы, представлена научная и практическая ценность диссертации.

В первой главе проведен обзор литературных источников и анализ технологических возможностей баромембранных процессов при концентрировании соков и молочной сыворотки, очистке от нежелательной микрофлоры, описаны технология и свойства различных напитков на основе соков и сыворотки. Рассмотрены методы интенсификации и оптимизации баромембранных технологических процессов, примеры применения динамической фильтрации в промышленности, условия функционирования динамических мембран, особенности работы баромембранных систем с обратной промывкой при переработке фруктовых соков. Охарактеризованы аппаратурные решения для интенсификации баромембранных процессов, а также математические модели, отражающие влияние концентрационной поляризации и блокирования пор мембран на производительность баромембранной обработки жидкостей.

Во второй главе описаны организация работы, объекты и методы исследований. Схема исследований представлена на рис. 1.

Объектами исследований явились: цитрусовые пищевые волокна (ГОСТ 26633-2012); пектин яблочный (ГОСТ 26574-2017); пектин цитрусовый (ГОСТ 0353-2016); глюкозо-фруктозный сироп (ГОСТ 2081-2010); яблоки сортов Лиголь, Голден, Призовое, Гранни (Острогожский плодопитомник); творожная сыворотка (ТУ 9229-110-04610209-2002, производитель ОАО фирма «Молоко», г. Россошь).

Пищевые волокна (ПВ) определяли каскадным ферментативным методом согласно АОАС Official Method 2001.03; сахарозу - методом ВЭЖХ (ГОСТ 31669-2012); влажность – по ГОСТ 13525.19-91; золу –

по ГОСТ Р 51411-99; жир – по ГОСТ 31902-2012; белок - методом Кьельдаля согласно AOAC Official Method 988.05; пектиновые вещества - гравиметрическим методом (Р4.1.1672-03). Микроструктуру керамических мембран определяли растровым микроскопом JSM-6380LVo, (Jeol, Япония). Корреляционную спектроскопию или эксперименты по динамическому рассеянию света частицами - на приборе «Photocor-Complex».

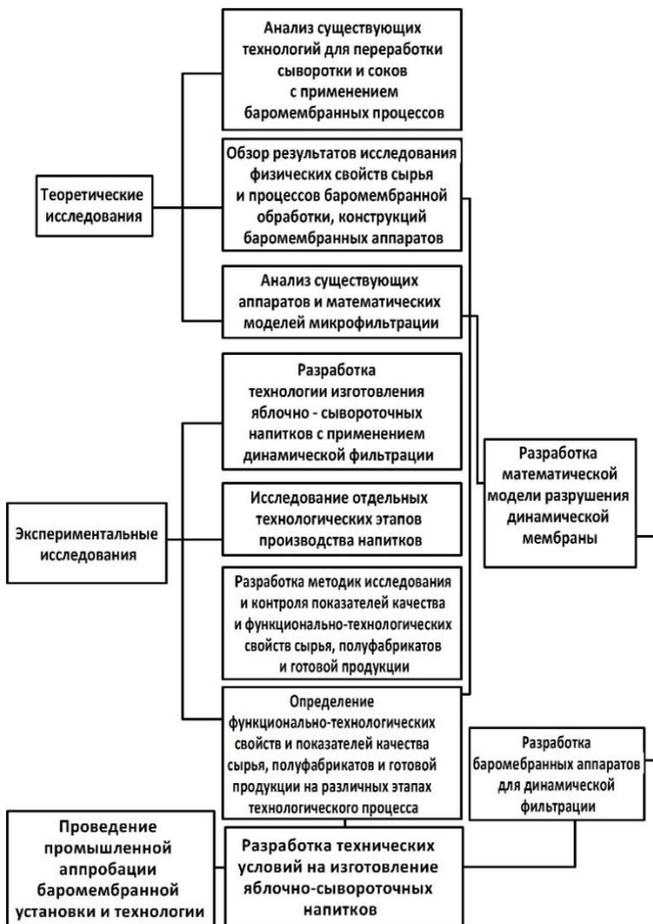


Рис. 1 Схема теоретических и экспериментальных исследований

Динамическую вязкость измеряли на вискозиметре «Brokfeeld». ДСК-анализ и СТА-анализ - на приборе синхронного термического анализа STA 449 F3 Jupiter® (NETZSCH, Германия) в интервале температур от +20 °С до +200 °С, скорость нагрева 5 град/мин в атмосфере гелия (расход продувочного газа 10 мл/мин, защитного газа - 10 мл/мин). Точность измерения температуры $\pm 0,3$ °С.

Разработана схема получения яблочно-сывороточных напитков, сочетающая получение соков прямого отжима с микрофильтрацией сока и сыворотки (рис. 2). Она отличается от традиционной схемы отсутствием энергоемких и приводящих к потерям биологически активных веществ сока операций выпаривания и сушки и применением баромембранных методов обработки сока и сыворотки.

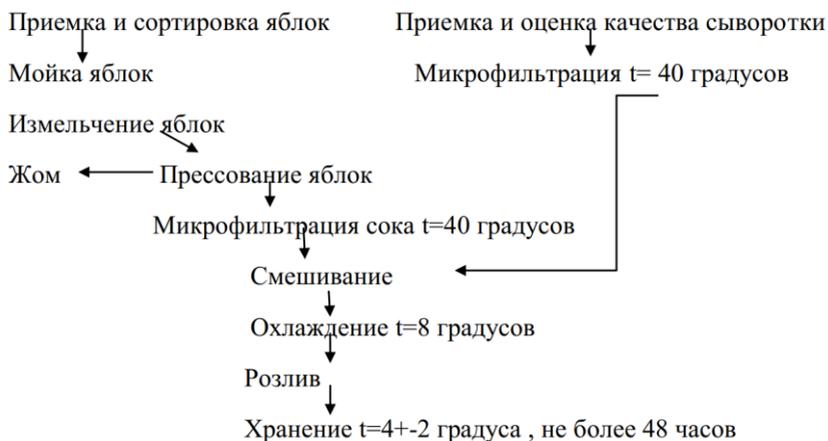


Рис. 2. Предлагаемая технологическая схема производства яблочно-сывороточных напитков

Однако, для стабильного функционирования, эти этапы технологического процесса необходимо исследовать с использованием модельных систем.

В третьей главе представлены результаты исследования технологических этапов производства яблочно-сывороточных напитков - микрофльтрация яблочного сока и творожной сыворотки, ультрафльтрация творожной сыворотки, сушка яблочных выжимок.

Опыты с модельными растворами пектина и суспензиями измельчённых яблочных выжимок показали, что пектин играет существенную роль в образовании динамической мембраны (слоя частиц фильтруемой суспензии вблизи поверхности керамической мембраны, играющий роль дополнительной мембраны) при фильтрации суспензии волокон, повышая внутреннее трение в мембранах и снижая ее проницаемость для фильтрата. Найден оптимальный режим динамической фильтрации яблочного сока с периодическим снижением давления фильтрации одновременно с повышением тангенциальной скорости ретентанта до 5-5,5 м/с. Для предотвращения блокирования пор частицами яблочных волокон необходимо периодически включать противоток фильтрата на 1-2 мин (рис. 3). При этом средняя толщина динамической мембраны остаётся постоянной, что связано с отрицательным зарядом молекул пектина.

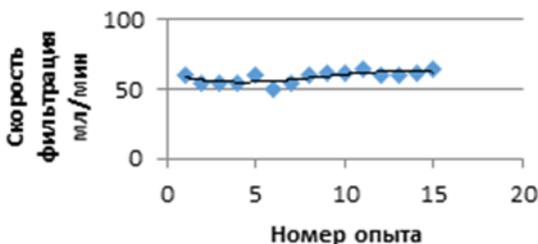


Рис. 3. Скорость фильтрации яблочного сока в зависимости от номера цикла «фильтрация-промывка»

Стабильная скорость микрофльтрации творожной сыворотки с добавлением цитрусовых пищевых волокон, создающих динамическую мембрану, в циклическом режиме фильтрация-противодавление

ние -повышенный тангенциальный поток показывает отсутствие существенного блокирования пор керамической мембраны белковыми частицами (рис. 4).

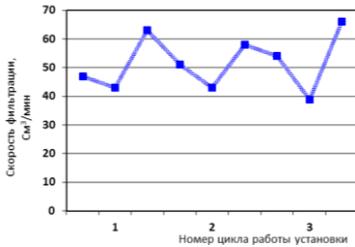


Рис. 4. Изменение скорости фильтрации (мл/мин) при циклической работе установки

Производительность ультрафильтрации сыворотки с применением динамической мембраны из частиц казеина и сывороточных белков выше по сравнению с фильтрацией через обычные ультрафильтрационные мембраны в 2-2,5 раза.

Сушку яблочных выжимок предлагается осуществлять перегретым паром пониженного давления в импульсном виброкипящем слое. Данный способ сушки позволяет снизить температуру сушильного агента, тем самым сохранив значительное количество полезных веществ в исходном продукте. Применение виброкипящего слоя с перегретым паром повышает величину коэффициентов тепло- и массообмена.

В четвертой главе разработаны методики исследования и контроля предельного напряжения сдвига суспензий ПВ по максимальной глубине погружения плоского индентора, внутреннего трения в суспензиях по затуханию колебаний крутильного маятника, дисперсного распределения суспензий по данным корреляционной спектроскопии. Описана аппаратура для их реализации.

В пятой главе исследовали функционально-технологические свойства и показатели качества сырья полупродуктов и продуктов на различных этапах технологического процесса получения яблочно-сывороточных напитков. Методами дифференциальной сканирующей калориметрии и термогравиметрии выявлено, что яблочный пектин по

сравнению, например, с цитрусовым (рис. 5) является наиболее гидратируемым, что влияет на структурно-механические свойства раствора.

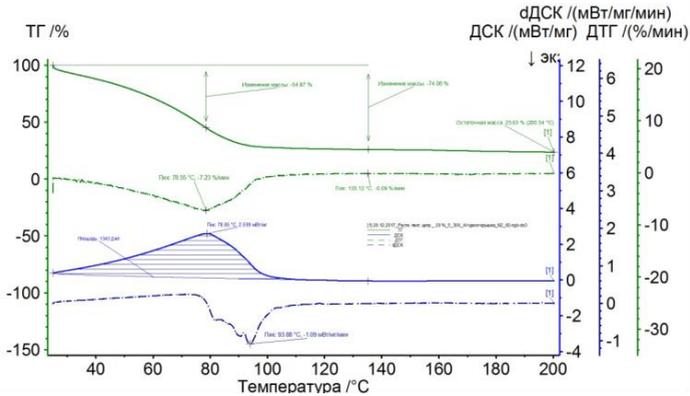
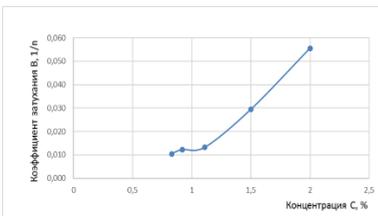
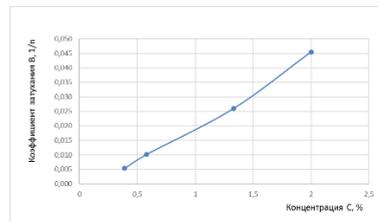


Рис. 5. Термограмма раствора цитрусового пектина

При динамической фильтрации яблочного сока во избежание низкой производительности микрофильтрации необходимо контролировать структурно-механические свойства суспензий, содержащих в качестве одной из главных структурообразующих единиц пектин. Об этом говорит одинаковый характер зависимости внутреннего трения растворов пектинов (рис. 6 а) и гомогенизированных суспензий пищевых волокон (рис. 6 б) в диапазоне концентраций 1-2 %, который идентифицировали по коэффициенту затухания.



а



б

Рис. 6 Графики зависимости количества колебаний от концентрации пектина (а) и от концентрации пищевых волокон (б)

Результаты исследований методом корреляционной спектроскопии (рис. 7) говорят о высокой полидисперсности яблочных пищевых волокон при среднем размере частиц 870 нм. Эта величина больше, чем средний размер пор керамической мембраны – 0,1 мкм, поэтому такие частицы могут образовывать динамическую мембрану. Но при этом самые мелкие частицы могут забивать поры керамических мембран. Частицы гомогенизированных цитрусовых волокон имеют средние размеры 3-6 мкм при меньшей полидисперсности.

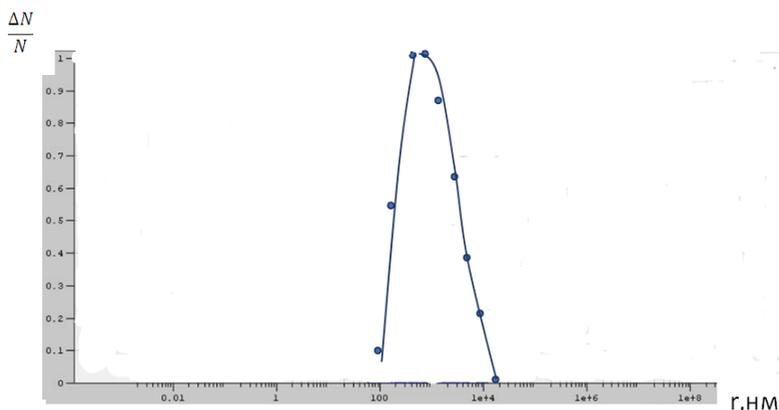


Рис. 7. Зависимость относительного количества частиц измельченных яблочных выжимков от их гидродинамического радиуса (обработка РИО)

Селективность динамической ультрафильтрации по белку понижена по сравнению с традиционной и составляет около 70 %. Однако при использовании фильтрата в рецептуре яблочно-сывороточных напитков это не является недостатком.

При низких температурах сушки яблочных выжимков и пониженном давлении растворимые частицы разрушаются в минимальной степени, но в тоже время ещё происходит гидролиз протопектинов, в результате которого количество растворимых пектинов пополняется.

Поэтому сушка выжимок при температуре 100 °С и давлении 70 кПа характеризуется максимальным содержанием растворимого пектина. Аналогичные опыты с сушкой жома сахарной свеклы показали, что в нём больше протопектина и меньше растворимого пектина по сравнению с высушенными яблочными выжимками. Результаты исследования химического состава полученных напитков показывают, что они обогащены по сравнению с сывороткой калием, железом, пищевыми волокнами, сахарозой, фруктозой, глюкозой, а по сравнению с яблочным соком натрием, кальцием, магнием, белками, лактозой. Показатели яблочного сока до микрофльтрации, КОЕ/см³: КМАФАНМ – 6,4 · 10⁶; дрожжи - 1,4 · 10⁶; плесени отсутствовали. В яблочном соке в объеме 1 см³ после микрофльтрации отсутствовали КОЕ МАФАНМ дрожжей и плесеней. Таким образом, микрофльтрация обеспечивает полное извлечение из яблочного сока микроорганизмов, формирующих его общую бактериальную обсемененность, при сохранности спектра биологически активных соединений, присущих натуральному продукту.

В шестой главе изложена физико-математическая модель, описывающая процесс разрушения динамической мембраны. При совместном действии на некоторую область слоя противотока и тангенциального потока нагрузка F_t приходится на определенное число N контактов, причем в процессе разрушения контактов их число уменьшается, поэтому нагрузка на один контакт возрастает.

Условием целостности области является то, что эта сила будет меньше критической $F_{кр}$, при этом изменение числа контактов во времени имеет вид дифференциального уравнения:

$$\frac{dN}{dt} = -\frac{N}{\tau} \quad (1)$$

Решая его, с учетом уравнения Журкова:

$$\tau = \tau_0 \cdot e^{\frac{U_0 - F_1 \cdot d_{np}}{K \cdot T}} \quad (2)$$

получим выражение для критического времени, необходимого для отрыва данной области от динамической мембраны

$$t_{кр} = \frac{1}{A} \cdot \left(E_i \left(1, \alpha \frac{F_t}{F_{кр}} \right) - E_i(1, \alpha N_0) \right) \quad (3)$$

Динамическую мембрану можно разделить на область А, в которой частицы, составляющие мембраны соединены лишь латеральными контактами и область В, где также имеются контакты частиц динамической мембраны с частицами, блокирующими поры керамической мембраны. Поток через мембрану J_v связан с перепадом давления на мембране уравнениями Кедем-Качальского. Если слой отложений, или, в данном случае, динамическая мембрана состоит из M_0 областей, то начальный поток зависит от M_0 и гидродинамического сопротивления одного участка мембраны.

При отслаивании M областей поток изменяется. С учетом эквивалентной схемы гидродинамического сопротивления мембраны общее гидродинамическое сопротивление снижается. При этом величина потока пермеата равна:

$$J_v = \frac{\Delta P (R_K + R_{1A} \cdot M_{0A} \cdot e^{-\frac{t}{t_{кр1}}} + R_{1B} \cdot M_{0B} \cdot e^{-\frac{t}{t_{кр2}}})}{(M_{0A} \cdot R_{K1} + R_{1A} \cdot M_{0A} \cdot e^{-\frac{t}{t_{кр1}}}) \cdot (M_{0B} \cdot R_{K2} + R_{1B} \cdot M_{0B} \cdot e^{-\frac{t}{t_{кр2}}})} \quad (4)$$

Для расчета потока через мембрану в момент времени t при заданном давлении и тангенциальной скорости потока необходимо в это уравнение подставить выражения для критического времени. Сдвиговая сила в свою очередь определяется формулой Ньютона. Рассчитанная в соответствие с моделью зависимость проницаемости мембраны от тангенциальной скорости жидкости в канале установки соответствует экспериментальной.

В седьмой главе для технической реализации найденных технологических решений предлагаются устройства с надувными рукавами (рис. 8) и с турбулизатором двойного действия (рис. 9), снижающие концентрационную поляризацию в ретентанте и обеспечивающие возможность создания импульсного противодействия фильтрата.

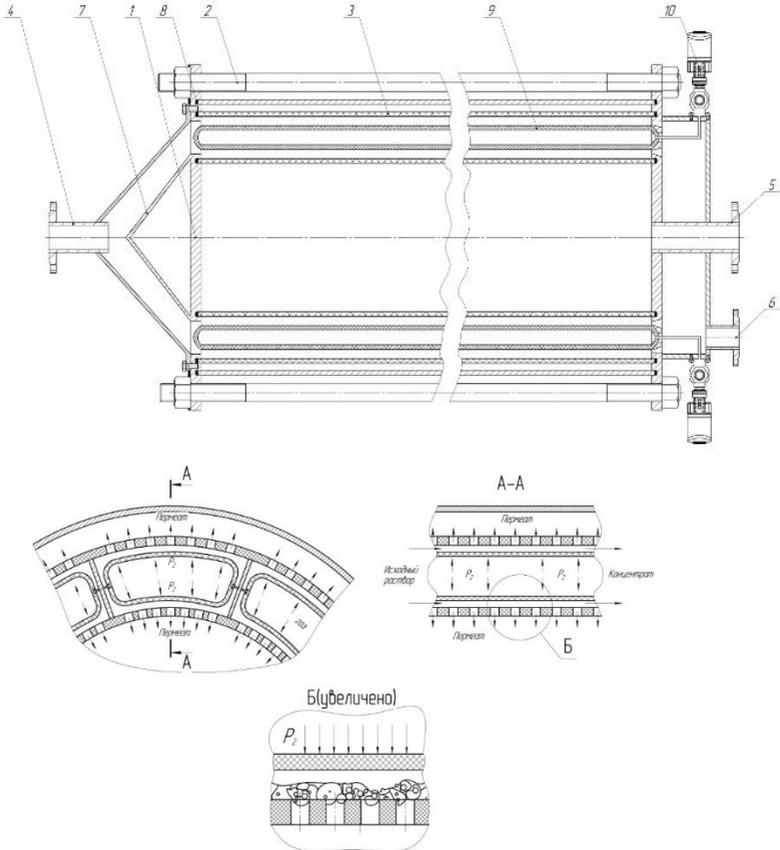


Рис. 8. Схема мембранного аппарата с надувными рукавами: 1 - корпус, 2 - шпильки, 3 - керамические мембранные модули, 4 - патрубок ввода исходного раствора, 5 - патрубki вывода фильтрата и концентрата, 7 - распределительное устройство, 9 - рукава, 10 - двухходовые воздушные клапаны.

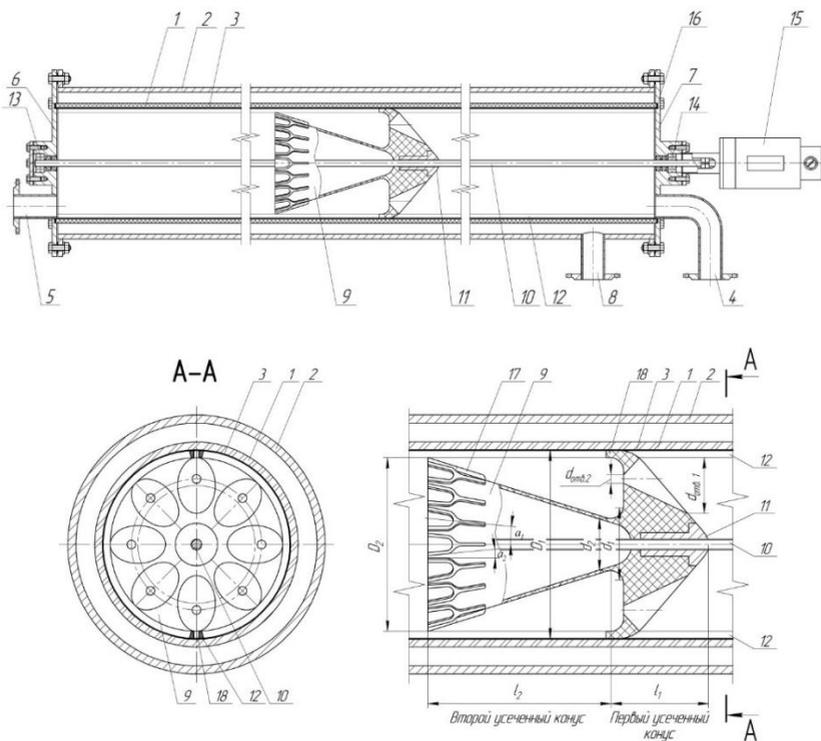


Рис. 9. Схема мембранного аппарата с турбулизатором двойного действия:
 1 - пористый цилиндр, 2 - непроницаемый для жидкости цилиндр, 3 – полупроницаемая мембрана, 4, 5- штуцеры ввода исходного раствора и вывода концентрата, 6, 7 - торцовые крышки, 8 – штуцер вывода фильтрата, 9 – турбулизатор двойного действия, 10 - ходовой вал, 11 - резьбовая втулка, 12 - направляющие, 13, 14 - подшипниковые узлы 15 - реверсивный электродвигатель, 16 уплотнительные кольца, 17 - вильчатые направляющие, 18 – выступы.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Анализ литературных источников позволил выбрать и обосновать технологическую схему производства напитков из яблочного сырья и сыворотки исключая процессы вакуумного выпаривания сока и распылительной сушки сыворотки, определить баромембранные процессы, наиболее приемлемые в этой технологии, выявить основные проблемы баромембранной обработки сока и сыворотки.

2. В результате исследования баромембранных процессов найдено, что динамическая мембрана, образуемая при фильтра-

ции суспензии цитрусовых пищевых волокон, представляет собой слой частиц суспензии, достаточно прочно скрепленных между собой, проявляющий свойства упругой деформации при приложении внешнего давления и скрепленный с керамической мембраной точечными контактами. Этот слой удаляется совместным действием противотока и повышенного тангенциального потока ретентанта. Динамическая фильтрация с использованием пищевых волокон является менее энергозатратным технологическим процессом, по сравнению с обычной микрофильтрацией, т.к. высокие скорости потоков используются только в режиме разрушения динамической мембраны. Кроме того, увеличивается производительность баромембранного процесса из-за снижения блокирования пор мембраны частицами белков и полисахаридов.

3. Предложен метод корреляционной спектроскопии для определения дисперсного распределения частиц суспензии яблочных и цитрусовых пищевых волокон, разработаны установки и методики измерения внутреннего трения и предельного напряжения сдвига суспензий.

4. Показано, что при среднем размере пор мембран 0,1 мкм размеры частиц суспензии пищевых волокон для осуществления динамической фильтрации должны быть в пределах 0,2 - 10 мкм для частиц яблочных волокон при фильтрации сока и 3-6 мкм для гомогенизированных цитрусовых волокон при фильтрации сыворотки; найдено, что суспензии пищевых волокон с концентрацией 3-5% проявляют свойства гелеобразных коагуляционных структур с вязкоупругими свойствами, обусловленными наличием целлюлозосодержащих частиц в дисперсионной среде, представляющий собой раствор пектинов; показана необходимость контроля содержания пектина в суспензии пищевых волокон для обеспечения нормального функционирования динамических мембран; обнаружено, что при щадящих режимах сушки содержание пектинов в высушенных яблочных выжимках составляет 8-10 % а протопектинов 6-7 %.

5. Построена физико-математическая модель, позволяющая оценить зависимость проницаемости динамической мембраны от скорости тангенциального потока на основе представлений о снижении энергетического барьера с приложением внешней силы при разрыве контакта между частицами и о последовательном отслоении участков динамической мембраны с разными типами контактов.

6. Разработаны конструкции мембранного оборудования с пониженным уровнем концентрационной поляризации для эффективного разделения молочной сыворотки позволяющие использовать импульсное противодавление фильтра.

7. Разработаны технические условия на технологии яблочно-сывороточных напитков с применением баромембранных процессов, проведена промышленная апробация технологии.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

τ – время существования контакта; F_1 - сила, приложенная к 1 контакту; U_0 и $d_{пр}$ - параметры потенциального барьера, разделяющего контактирующие частицы; T - температура; A и α - параметры; E_i - интегральная экспоненциальная функция; R_{1A} , R_{1B} , R_{K2} - гидродинамические сопротивления 1 участка областей A и B соответственно; R_{K1} и R_{K2} - гидродинамические сопротивления керамической мембраны под областями A и B ; ΔP – перепад давления на системе динамическая-керамическая мембрана.

Основные публикации по диссертационной работе Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Переработка молочной сыворотки с применением ультрафильтрационных мембран / С.А. Титов, А.И. Ключников, Н.Н. Корышева, К.К. Полянский, В.О. Веников // Сыроделие и маслоделие. – 2017. - № 6. - С.44-47.

2. Исследование влияния параметров процесса сушки яблочных выжимок на выход пектиновых веществ / А.В. Дранников, С.А. Титов, Д.В. Беломыльцева, Н.Н. Корышева, Д.К. Костина, А.М. Давыдов // Вестник ВГУИТ. – 2018. - Т. 80, № 4. - С. 35-40.

3. Подготовка сырья для напитков на основе молочной сыворотки с применением баромембранных технологий / К.К. Полянский, С.А. Титов, С.В. Шахов, Н.Н. Корышева, Д.В. Ключникова // Сыроделие и маслоделие. - 2019. - № 1. - С. 35-39.

4. Влияние гидратации пектинов на внутреннее трение и вязкость их водных растворов / З.Н. Хатко, С.А. Титов, И.А. Саранов, Н.Н. Корышева, А.А. Ашинова, Е.М. Колодина // Новые технологии. - 2019. - № 3. - С. 113-124.

Статья в изданиях, индексируемых в БД Scopus

5. Method for milk whey microfiltration with filtrate pulsed backpressure and installation for its implementation / N.N. Korysheva, S.V. Shakhov, S.A. Titov, G.S. Tikhonov, I.A. Glotova, N.A. Galochkina // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 3.

Сер. "3rd International Scientific and Practical Conference "Efficient Waste Treatment", EWT 2021". IOP Publishing Ltd, 2021. (012019).

Статьи и материалы конференций

6. Разработка технологии получения пектина на основе ресурсосберегающей переработки растительного сырья / С.В. Шахов, А.Н. Рязанов, С.Ю. Шубкин, Н.Н. Корышева, Н.А. Матвиенко // Продовольственная безопасность: научное, кадровое и информационное обеспечение. В 2 ч. Ч. 2.: Матер. Междунар. науч.-техн. конф. /Воронеж.гос. ун-т инж. технол. – Воронеж: ВГУИТ, 2014. - С. 264-265.

7. Разработка баромембранного аппарата с вращающимися потоками / В.О. Веников, С.А. Титов, С.В. Шахов, Н.Н. Корышева // Сборник докладов «Инновационные технологии на базе фундаментальных научных разработок - прорыв в будущее», 25-26 ноября 2015 года. – Воронеж: Воронежский ЦНТИ – филиал ФГБУ «РЭА» Минэнерго РФ, 2015. - С. 230-231.

8. Разработка мембранного аппарата с низким уровнем концентрации поляризации / С.В. Шахов, С.А. Титов, Н.Н. Корышева, В.О. Веников // Инновационные направления развития технологий и технических средств механизации сельского хозяйства: Материалы между. науч.-практ. конф., посв. 100-летию кафедры сельскохозяйственных машин агроинженерного факультета Воронежского ГАУ (Россия, Воронеж, 25 декабря 2015 г.). – Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский ГАУ», 2015. – Ч. I. - С. 343-344.

9. Исследование вязкости растворов свекловичного и яблочного пектинов / А.А. Смирных, О.И. Кивокурцев, Н.Н. Корышева, С.В. Шахов, В. Нгуен // Международный студенческий научный вестник. - 2016. - № 3-2. - С. 281-282.

10. Mikrofiltration der Molke für deren Verwertung in den Apfelmolkegetränken / S.V.Shakhov, S.A. Titov, N.N. Korysheva, V.O. Venikov // International Symposium «Environmental, Engineering and Legal Aspects for Sustainable Living» (EURO-ECO – 2017), 2-6 December 2017, Germany, Hannover. - Germany, Hannover, 2017. - P. 38.

11. Связывание влаги в глюкозо-фруктозных сиропах / Г.В. Агафонов, С.А. Титов, И.В. Новикова, Н.Н. Корышева // Материалы IV Между. науч.-техн. конф. «Продовольственная безопасность: научное, кадровое и информационное обеспечение», Воронеж, 2017. - С.152-153.

12. Прогнозирование показателей качества при получении концентратов яблочного сока / С.В. Шахов, С.А. Титов, И.А. Саранов, Н.Н. Корышева // Цифровизация агропромышленного

комплекса: Материалы I Межд. науч.-практ. конф., 10–12 октября 2018 г., г. Тамбов. - Тамбов, 2018. - С. 275-276.

13. Физическое моделирование связывания воды в концентратах яблочного сока / С.В. Шахов, И.А. Саранов, Н.Н. Корышева // Инновационное предпринимательство: опыт регионов: Материалы межд. науч.-практ. конф., Воронеж, 2018. - С. 244-245.

14. Влияние микрофльтрации на микробиологическую обсемененность яблочного сока / Т.В. Свиридова, С.А. Титов, И.А. Саранов, Н.Н. Корышева // Сб. научных статей и докладов VI Межд. конф. «Продовольственная безопасность: научное, кадровое и информационное обеспечение». – ООО «Ритм», Воронеж, 2019. – С. 261-263.

15. Влияние режимов сушки яблочных выжимок на выход пектина / А.В. Дранников, С.А. Титов, Д.В. Беломыльцева, Н.Н. Корышева // Пищевые ингредиенты и напитки для функционального питания. – Saarbrücken: Издательство «LAP LAMBERT», 2019. - С. 105-111.

16. Подготовка сырья для напитков на основе молочной сыворотки и яблочного сока с применением баромембранных технологий / К.К. Полянский, С.А. Титов, С.В. Шахов, Н.Н. Корышева, Д.В. Ключникова // Пищевые ингредиенты и напитки для функционального питания. - Saarbrücken: Издательство «LAP LAMBERT», 2019. С. 112-118.

17. Титов С.А. Технология яблочно-сывороточных напитков с использованием микрофльтрации / С.А. Титов, Н.Н. Корышева, К.А. Велитченко // Сборник трудов VI Межд. науч.-практ. конф. «Продовольственная безопасность: научное, кадровое и информационное обеспечение», Воронеж, 2020. – Воронеж, 2020. - С. 262-264.

18. Титов С.А. Исследование суспензий пищевых материалов методом динамического рассеяния света / С.А. Титов, Н.Н. Корышева // Материалы LVIII отчетной научной конференции преподавателей и научных сотрудников ВГУИТ, Воронеж, 2020. – Воронеж, 2020. - Т.2. - С. 120.

Патенты на изобретения

19. Патент 2680459 (Российская Федерация), МКИ В01D 63/06 Мембранный аппарат с турбулизатором двойного действия / А.И. Ключников, С.В. Шахов, Д.В. Ключникова, Н.Н. Корышева, С.А. Самохин - Заявл 29.03.2018, № 2018111226, опубл. в Б.И., 2019 № 6

20. Патент 2680061 (Российская Федерация), МКИ В01D 63/06 Мембранный аппарат с надувными рукавами / А.И. Ключников, С.В. Шахов, А.И. Потапов, Н.Н. Корышева, В.В. Колядин, В.О. Веников - Заявл 29.03.2018, № 2018111275, опубл. в Б.И., 2019 № 5

Подписано в печать 22.07.2022 г. Формат 60×84 1/16.
Усл. печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ № .

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет
инженерных технологий»
(ФГБОУ ВПО «ВГУИТ»)
Отдел полиграфии ФГБОУ ВПО «ВГУИТ»
Адрес университета и отдела полиграфии:
394036, г. Воронеж, пр. Революции, 19