

ОТЗЫВ

официального оппонента, доцента кафедры машин и аппаратов пищевых производств ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», кандидата технических наук, доцента Потапова Андрея Ивановича на диссертационную работу **Родионова Дмитрия Александровича** «Интенсификация и научное обоснование процесса ультрафильтрационного концентрирования подсырной сыворотки в производстве сычужных сыров» представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.18.12 – «Процессы и аппараты пищевых производств»

Актуальность темы выполненной диссертации. С ростом молочной промышленности в России наблюдается рост производства молочных продуктов. Производство сыров в России в 2019 году достигало значений в 521,3 тыс. тонны это на 10,0% больше, чем в 2018 году, а за 5 лет по отношению к 2014 году оно выросло на 38,1%. При производстве сыра образуется достаточное количество отходов, таких как сырная сыворотка. Небольшая ее часть используется в пищевой промышленности, но вторичное молочное сырье имеет короткий срок годности и требует скорейшего применения. По этой причине сыворотка после производства сыра чаще всего сливается в канализацию, что является неправильным по отношению к окружающей среде.

Перспективными методами переработки вторичного молочного сырья являются мембранные методы. Разработка и научное обоснование современных процессов переработки молочной сыворотки на базе мембранных методов неразрывно связаны с повышением эффективности переработки молока в агропромышленном комплексе.

Диссертация Родионова Дмитрия Александровича посвящена интенсификации и научному обоснованию ультрафильтрационного концентрирования подсырной сыворотки. Полученные автором результаты соответствуют поставленной научной цели в решении рассматриваемой научной проблемы. В связи с вышесказанным, актуальность рассматриваемой диссертации не вызывает сомнений.

Общая характеристика работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав и выводов, списка используемых источников и приложений. Диссертация содержит 187 страниц машинописного текста, в том числе 78 рисунков, 26 таблиц, список цитируемых источников, который включает 181 публикацию отечественных и зарубежных авторов.

Диссертация написана грамотно и хорошо оформлена. Структура работы соответствует требованиям к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, современное состояние и перспективность применения процесса ультрафильтрационного концентрирования подсырной сыворотки в производстве сычужных сыров, представлены научная концепция, новизна и практическая значимость работы, положения, выносимые на защиту.

В первой главе соискателем проведен аналитический обзор литературы по теории, технике и технологии концентрирования подсырной сыворотки. Обобщаются результаты опубликованных к настоящему времени литературных данных по характеристикам различных видов мембран и мембранных аппаратов. Проведен их сравнительный анализ, рассмотрены явления переноса в мембранах, методы и конструкции мембранных аппаратов для концентрирования подсырной сыворотки.

Логическим завершением первой главы диссертации являются выводы. Результатом обобщения литературного обзора в соответствии с актуальностью темы диссертационной работы является формулировка цели и задач исследования.

Вторая глава диссертации посвящена разработке методик для исследования сорбционных, диффузионных, гидродинамических, структурных и кинетических характеристик мембран из фторопласта, полисульфона, полиэфирсульфона в процессе концентрирования подсырной сыворотки.

Для исследований структурных характеристик ультрафильтрационных мембран использовались методы термогравиметрии, дифференциально-сканирующей калориметрии и рентгеноструктурного анализа.

Кроме того, были проведены экспериментальные исследования коэффициента задержания и удельного потока растворителя на ультрафильтрационной установке трубчатого типа.

Третья глава посвящена изложению и анализу результатов экспериментальных исследований, полученных во второй главе. Был модернизирован метод для поиска эмпирических параметров применительно для выражения коэффициента задержания по экспериментальным данным с использованием свободной системы компьютерной алгебры Maxima. Метод позволяет качественно аппроксимировать экспериментальные данные математической моделью. По экспериментальным данным была получена зависимость коэффициента продольного перемешивания от трансмембранного давления и скорости. Также были определены качественные средние показатели пермеата и ретентата в процессе концентрирования молочной сыворотки: электропроводность раствора, концентрация солей, температура, рН и плотность.

Четвертая глава диссертации посвящена разработке математической модели массопереноса в процессах ультрафильтрационного концентрирования технологических растворов. Построение математической модели основано на решении уравнений конвективной диффузии, Навье-Стокса, неразрывности потока и расхода. В итоге была разработана методика инженерного расчета ультрафильтрационного аппарата.

В пятой главе изложены вопросы разработки конструкций аппаратов и их практического применения для концентрирования подсырной сыворотки. Для реализации процесса электробаромембранного концентрирования подсырной сыворотки разработаны и запатентованы новые конструкции электробаромембранных аппаратов плоскокамерного (пат. № 2668866 RU) трубчатого (пат. № 2685091 RU) и рулонного типов (пат. № 2671723 RU). Разработанные мембранные аппараты плоскокамерного, трубчатого, рулонного

типов работают одновременно в трех технологических режимах – концентрирование, деминерализация и охлаждение или нагрев подсырной сыворотки. Запатентованные конструкции электробаромембранных аппаратов могут быть использованы для разработки технологических схем концентрирования подсырной сыворотки.

В работе представлено расширенное заключение, содержащее исчерпывающие выводы по тематике диссертационного исследования. По тексту работы прослеживается связь темы диссертации с научной специальностью, по которой она представлена к защите.

Научная новизна. Исследованы и получены экспериментальные данные по сорбционным, диффузионным, гидродинамическим и структурным характеристикам в зависимости от температуры, трансмембранного давления, скорости течения потока в мембранном канале и физико-химических свойств мембран. Получены данные по коэффициенту задержания, удельному выходному потоку, водородному показателю, электропроводимости подсырной сыворотки, плотности, концентрации растворенных солей.

Модифицированы математические выражения для расчета сорбционной емкости, диффузионной проницаемости, коэффициента продольного перемешивания, коэффициента задержания и удельного выходного потока. Для ультрафильтрационного процесса концентрирования подсырной сыворотки получены значения эмпирических коэффициентов для расчета и прогнозирования кинетических характеристик.

Для расчета коэффициента продольного перемешивания выполнены экспериментальные исследования по гидродинамике с использованием турбулизаторов в виде спирали и трубки Вентури. Получено уравнение и значения эмпирических коэффициентов в зависимости от трансмембранного давления от 0,05 МПа до 0,3 МПа при массовом расходе подсырной сыворотки от 0,36 м³/ч до 1,8 м³/ч на трубчатых мембранных элементах типа БТУ 05/2.

Модернизирован метод поиска эмпирических параметров применительно для коэффициента задержания по экспериментальным данным с использованием свободной системы компьютерной алгебры Maxima. На вычислительные эксперименты по методу получено свидетельство на программу для ЭВМ № 2015614888.

Разработана математическая модель на основе решения уравнений конвективной диффузии, Навье-Стокса и неразрывности потока. Проверена адекватность разработанной математической модели путем сравнения расчетных и экспериментальных данных по удельному выходному потоку.

Практическая значимость. Разработана методика инженерного расчета процесса ультрафильтрационного концентрирования подсырной сыворотки на аппарате плоскокамерного типа. Методика позволяет определять рабочую площадь, производить секционирование аппарата, находить температуры нагрева и рассчитывать энергозатраты.

Спроектированы и разработаны многофункциональные мембранные аппараты плоскокамерного, трубчатого и рулонного типов. Аппараты позволяют осуществлять одновременно технологический процесс в трех режимах – концентрирование, очистка и нагрев или охлаждение подсырной сыворотки. Техническая чистота решения подтверждена патентами № 2668866 RU, № 2685091 RU, № 2671723 RU. Спроектированные мембранные аппараты, предложенные к реализации на ООО «ЧС «ВЕРО» и ООО «ВЕКША».

Для ультрафильтрационных элементов трубчатого типа БТУ 05/2 с активным слоем мембран из фторопласта при трансмембранном давлении от 0,1 МПа до 0,25 МПа и с активным слоем из полиэфирсульфона и полисульфона при трансмембранном давлении 0,25 МПа экспериментальным путем определены рациональные условия промышленной реализации процесса ультрафильтрационного концентрирования подсырной сыворотки.

Для способа получения сухого сывороточного концентрата, включающего модернизированную ультрафильтрационную установку концентрирования, предложена усовершенствованная технологическая схема для

ООО «ВЕКША» и ООО «ЧС «ВЕРО». Усовершенствованный технологический процесс получения сухого сывороточного концентрата предложен к внедрению на ООО «ВЕКША». Экономический эффект от внедрения технологической линии по получению сухого сывороточного концентрата составит 4200 тыс. руб. для ООО «ВЕКША» и 980 тыс. руб. для ООО «ЧС «ВЕРО» в год в ценах 2021 г.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, их достоверность. Содержащиеся в работе положения, выводы и рекомендации основаны на научных положениях, общепринятых теоретических закономерностях, опираются на полученные соискателем экспериментальные данные и являются их логическим следствием. В работе отсутствуют взаимно противоречащие положения и выводы.

Сформулированные в диссертации научные положения, выводы и рекомендации полностью отражают результаты работы, обоснованы и достоверны, что подтверждается обширным экспериментальным материалом, повторяемость результатов и совпадением эмпирических данных с практическими результатами.

Однако по работе имеется ряд вопросов и замечаний:

1. Из диссертации не ясно, каким образом решается вопрос мойки и регенерации полимерных мембран, а также не уделяется внимание сроку службы мембран и периодичности их замены?

2. С какой целью проводились дифференциально сканирующие и термогравиметрические исследования полимерных мембран если в процессе ультрафильтрации подсырная сыворотка не нагревались выше 40°C?

3. Из результатов экспериментальных данных по исследованию гидродинамической структуры течения раствора в мембранном канале не ясно, как именно применять турбулизирующие втулки и при каких условиях?

4. В работе представлены три патента на электробаромембранные аппараты, а исследования проводились на мембранной установке трубчатого

типа без наложения электрического тока. Хотелось бы услышать мнение соискателя по этому поводу.

5. В работе не уделено внимание компонентам, присутствующим в подсырной сыворотке помимо рассмотренных в работе белков, а также их воздействию на исследуемый процесс и качество получаемого концентрата.

6. В работе имеются стилистические замечания и трудночитаемые надписи на рисунках 2.2, 5.27, на рисунке 2.8 в подрисуночном тексте отсутствует наименование сноски 3.

Отмеченные недостатки носят рекомендательный характер, не снижают качество исследований и не влияют на главные теоретические и практические результаты.

Соответствие автореферата основным положениям. Автореферат полностью отражает содержание диссертационной работы и оформлен в соответствии с требованиями нормативных документов ВАК РФ.

Опубликование основных результатов. По результатам диссертационной работы опубликована 21 работа, в том числе 4 статьи в WoS и Scopus, входящих в Q_1 и Q_2 , 8 статей в журналах, рекомендуемых ВАК. Получено 3 патента на изобретения и 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Диссертация **Родионова Дмитрия Александровича** «Интенсификация и научное обоснование процесса ультрафильтрационного концентрирования подсырной сыворотки в производстве сычужных сыров», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.18.12 – «Процессы и аппараты пищевых производств» является законченной научно-квалификационной работой. Она направлена на комплексное экспериментальное изучение процесса ультрафильтрационного концентрирования подсырной сыворотки в производстве сычужных сыров.

В диссертации изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения, внедрение которых позволит интенсифицировать мембранный процесс концентрирования подсырной сыворотки.

Диссертационная работа удовлетворяет требованиям п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» от 24.09.2013 г. (№ 842) в редакции постановления Правительства РФ от 21.04.2016 № 335 и паспорту специальности 05.18.12, по которой представлена к защите, а ее автор **Родионов Дмитрий Александрович**, несомненно, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.18.12 – «Процессы и аппараты пищевых производств».

Официальный оппонент

Доцент кафедры машин и аппаратов пищевых производств
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
университет инженерных технологий»
кандидат технических наук,



А. И. Потапов

394036 Россия, г. Воронеж, пр. Революции, д. 19
ФГБОУ ВО «ВГУИТ», кафедра машин и аппаратов пищевых производств
тел. (4732) 55-38-96
E-mail: potapov_a.i@mail.ru
« ____ » _____ 2021 г.

