

«УТВЕРЖДАЮ»

Зам. директора ГБУ ЯО «Ярославский  
государственный институт качества  
сырья и пищевых продуктов», к.б.н.

  
Б.Г. Гаврилов  
«18» сентября 2016 г.



### ОТЗЫВ

ведущей организации – Государственного бюджетного учреждения Ярославской области (ГБУ ЯО) «Ярославский государственный институт качества сырья и пищевых продуктов» на диссертационную работу Богомолова Владимира Юрьевича «Разработка и научное обоснование процесса ультрафильтрационного концентрирования и деминерализации подсырной сыворотки», представленную в совет по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Д 212.035.01 при Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Воронежский государственный университет инженерных технологий» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.18.12 – «Процессы и аппараты пищевых производств»

#### **Актуальность работы.**

Эффективность промышленной переработки молока в России неразрывно связана с внедрением новых безотходных или малоотходных технологий и технических решений, позволяющих перерабатывать вторичное молочное сырье и извлекать из него ценные, в т.ч. белковые, продукты.

Процесс производства сыра традиционным методом получения сычужных сыров сводится к свертыванию сырной массы из молока. Вторичным продуктом при такой схеме производства является молочная, или подсырная, сыворотка – жидкая масса, остающаяся после извлечения белковых компонентов молока.

По данным Международной молочной ассоциации, из 140 млн. т сыворотки, получаемой в мире, до 50% сливается на очистные сооружения. Но эта сыворотка при должной переработке может служить сырьем для производства различных пищевых продуктов. В молочную сыворотку переходят полноценные белки, которые содержат незаменимые аминокислоты, используемые организмом для синтеза белков печени, образования гемоглобина и плазмы крови. Помимо белков, в сыворотке остаются все водорастворимые витамины, соли и микроэлементы исходного молока. Эти факторы обусловили ценность данного вторичного молочного сырья для молочной промышленности.

Для качественной переработки подсырной сыворотки в ценные белковые компоненты необходимы разработка и научное обоснование наиболее эффективных способов реализации этого процесса, в том числе мембранными методами. Большое значение также имеет выбор рациональных параметров реализации процесса переработки.

Таким образом, диссертационная работа Богомолова В.Ю., посвященная разработке и научному обоснованию процесса ультрафильтрационного концентрирования и деминерализации подсырной сыворотки с импульсным подводом тока, актуальна.

### **Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций.**

Содержащиеся в работе результаты, выводы и положения были получены на основании обширного теоретического и экспериментального материала с использованием законов сохранения массы и энергии. Экспериментальные исследования выполнены по апробированным методикам, обеспечивающим воспроизводимость результатов экспериментов, и их результаты коррелируются с имеющимися литературными данными. Отклонение результатов эксперимента и расчета по основным кинетическим коэффициентам процессов ультрафильтрационного концентрирования и деминерализации растворов с импульсным подводом тока не превышало  $\pm 10\%$ . Используемые соискателем методики, методы и средства проведения измерений, а также достаточная повторяемость измерений не дают оснований для сомнения в их достоверности.

Исходя из этого, научные положения, выводы и рекомендации диссертационной работы Богомолова В.Ю. следует считать достоверными.

### **Научная новизна.**

Научная новизна проведенных исследований состоит в том, что изучены кинетические и технологические закономерности процесса ультрафильтрационного концентрирования и деминерализации подсырной сыворотки, в том числе с импульсным подводом тока. Получены и интерпретированы экспериментальные данные по коэффициенту задержания, удельному потоку растворителя, диффузионному потоку и коэффициенту распределения ультрафильтрационного концентрирования и деминерализации подсырной сыворотки в зависимости от концентрации, температуры, величины импульса тока и вида полупроницаемой мембраны.

Получены аппроксимационные зависимости и численные значения эмпирических коэффициентов для теоретического расчета и прогнозирования коэффициента задержания, коэффициента распределения, диффузионного потока и удельного потока растворителя процесса ультрафильтрационного концентрирования и деминерализации подсырной сыворотки, в том числе с импульсным подводом тока. Выявлен и математически описан поточно-диффузионный механизм переноса растворенного вещества и растворителя при ультрафильтрационном концентрировании и деминерализации подсырной сыворотки.

Разработана математическая модель процесса ультрафильтрационного концентрирования и деминерализации подсырной сыворотки с импульсным подводом тока учитывающая влияние электрического импульса и величину осмотического давления раствора подсырной сыворотки. Модель позволяет рассчитывать концентрации растворенных веществ и объемы растворителя в камерах пермеата и ретентата.

### **Практическая ценность работы.**

Автором предложена численная реализация методики инженерного расчета ультрафильтрационного аппарата плоскокамерного типа, включающая определение рабочей площади, секционирование аппарата, оценку температуры нагрева и расчет энергозатрат на процесс ультрафильтрационного концентрирования и деминерализации подсырной сыворотки с импульсным подводом тока. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2013618596.

Предложена численная реализация методики определения периода функционирования полупроницаемых мембран в процессе ультрафильтрационного концентрирования и деминерализации подсырной сыворотки с импульсным подводом тока, позволяющая рассчитывать период функционирования мембран до их физического разрушения. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2014615341.

Разработан мембранный аппарат, работающий одновременно в трех технологических режимах – концентрирование, деминерализация и охлаждение или нагрев подсырной сыворотки. Новизна технического решения подтверждена патентом № 2532813 RU. Разработанный аппарат принят к разработке на ОАО «ТАГАТ» им. С.И. Лившица г. Тамбов.

Разработана программа для ЭВМ позволяющая рассчитывать концентрации растворенных веществ и объемы растворителя в камерах пермеата и ретентата ультрафильтрационного аппарата плоскокамерного типа при концентрировании и деминерализации подсырной сыворотки с импульсным подводом тока. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2015614888.

Экспериментально определены рациональные условия реализации процесса ультрафильтрационного концентрирования и деминерализации подсырной сыворотки с импульсным подводом тока: с применением ультрафильтрационных мембран УПМ-100 при давлении 1 МПа, с наложением электрических импульсов периодом 1 с, плотностью тока  $75 \text{ А/м}^2$  и отводом тепла, обеспечивающим поддержание температуры на уровне 293 К.

Предложена усовершенствованная технологическая схема линии концентрирования и деминерализации подсырной сыворотки ультрафильтрацией с получением сухого сывороточного концентрата. Рассчитана себестоимость производства концентрата. Технологическая схема принята к внедрению на ООО «Бондарский сыродельный завод». Ожидаемый экономический эффект составит 500 тыс. руб. в год в ценах 2015 г. Расчетная себестоимость производства концентрата составляет 0,29 руб. на 1 руб. товарного продукта.

Практическая ценность работы подтверждена дипломами и грамотами участника различных конкурсов.

#### **Оценка содержания работы.**

Диссертация состоит из введения, пяти глав и выводов, списка используемых источников и приложений. Диссертация содержит 191 страницу машинописного текста, в том числе 46 рисунков, 25 таблиц, список цитируемых источников, который включает 138 наименований публикаций отечественных и зарубежных авторов.

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

#### **Значимость для науки и производства полученных диссертантом результатов.**

- изучены кинетические и технологические закономерности ультрафильтрационного концентрирования и деминерализации подсырной сыворотки, в том числе с импульсным подводом тока;

- разработана математическая модель процесса ультрафильтрационного концентрирования и деминерализации подсырной сыворотки с учетом влияния электрического импульса;

- разработан численный метод реализации инженерного расчета рабочей площади мембран и количества мембранных элементов для ультрафильтрационного процесса концентрирования и деминерализации подсырной сыворотки с учетом электрического импульса;

- предложен численный метод реализации расчета периода функционирования ультрафильтрационных мембран с учетом набухания, позволяющий определять период времени эффективной реализации процесса концентрирования и деминерализации подсырной сыворотки до замены мембран;

- разработана и запатентована высокоэффективная конструкция ультрафильтрационного аппарата плоскокамерного типа для концентрирования и деминерализации подсырной сыворотки с импульсным подводом тока;

- экспериментально определены и обоснованы рациональные условия реализации процесса ультрафильтрационного концентрирования и деминерализации подсырной сыворотки с импульсным подводом тока;

- предложена усовершенствованная технологическая схема линии концентрирования и деминерализации подсырной сыворотки для ООО «Бондарский сыродельный завод» с получением сухого сывороточного концентрата.

#### **Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов по работе.**

Результаты и выводы диссертационной работы Богомолова В.Ю. могут быть рекомендованы для использования на предприятиях молочной промышленности.

Разработанные автором технологическую линию и ультрафильтрационный аппарат рекомендуется использовать при проектировании новых видов оборудования и при разработке инновационных технологий переработки вторичного молочного сырья в конструкторских бюро и научно-исследовательских институтах.

#### **Замечания по работе.**

1. В работе не уделено внимание компонентам, содержащимся в подсырной сыворотке помимо рассмотренных в работе белков и минеральных солей, а также их влиянию на исследуемый процесс и на качество получаемого концентрата.

2. Экономическая эффективность предлагаемого автором процесса переработки подсырной сыворотки не вызывает сомнений, однако было бы наглядней продемонстрировать себестоимость производства в сравнении с классическими методами.

3. Автор уделяет значительное внимание борьбе с нежелательным нагревом подсырной сыворотки в процессе концентрирования и деминерализации, однако не указывает значений, которых может достигать температура сыворотки без охлаждения.

4. В работе не приведены конкретные рекомендации по мойке и дезинфекции установки ультрафильтрации и соответствующих этим операциям режимам.

**Степень завершенности.**

Диссертационная работа Богомолова В.Ю. представляет собой завершенное научное исследование. Она обладает логическим единством, все ее элементы служат достижению поставленной цели.

**Публикация основных результатов.**

По результатам диссертационной работы опубликованы 30 работ, в том числе 10 статей в журналах, рекомендованных ВАК РФ и 1 статья в журнале, входящем в реферативную базу Scopus. Получено 3 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ и 1 патент на изобретение.

**Соответствие автореферата тексту диссертации.**

Автореферат полностью отражает содержание диссертации. Между ними нет противоречий и разночтений.

**Общее заключение**

Диссертация Богомолова В.Ю. является завершенной научно-квалификационной работой, имеет научный и практический интерес для пищевой промышленности и решает актуальную задачу научного обоснования процесса ультрафильтрационного концентрирования и деминерализации подсырной сыворотки. В работе дано теоретическое и экспериментальное обоснование технологических решений ультрафильтрационного концентрирования и деминерализации подсырной сыворотки с импульсным подводом тока. Научно обоснованы технические и технологические разработки соискателя.

На основании проведенного анализа диссертационной работы Богомолова В.Ю. считаем, что она отвечает требованиям, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым ВАК к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор Богомолов Владимир Юрьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.18.12 – «Процессы и аппараты пищевых производств».

Отзыв рассмотрен и утвержден на заседании проектно-технологического отдела (протокол № 211 от «18» сентября 2016 г.).

Председатель научно-технического совета  
ГБУ ЯО «Ярославский государственный  
институт качества сырья и пищевых продуктов»,  
д.т.н., заслуженный работник пищевой индустрии РФ



Г.Б. Гаврилов

Государственное бюджетное учреждение Ярославской области «Ярославский государственный институт качества сырья и пищевых продуктов»  
150030, г. Ярославль, Московский проспект, 76а  
Адрес сайта: <http://yagik.ru/>  
тел. (4852) 47-86-86  
«18» сентября 2016 г.