

В диссертационный совет Д 212.035.01  
при ФГБОУ ВО «Воронежский  
государственный университет  
инженерных технологий»

## **О Т З Ы В**

официального оппонента, доктора технических наук, профессора заведующего кафедрой «Пищевые и холодильные машины» ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» **Фатыхова Юрия Адгамовича** на диссертационную работу **Овсянникова Виталия Юрьевича** на тему **«Развитие системы процессов криоскопического концентрирования жидких пищевых и технологических сред вымораживанием»**, представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.18.12 - Процессы и аппараты пищевых производств

**Актуальность темы исследований.** Сегодня, по программе импортозамещения, на современных отечественных пищевых предприятиях инновационной направленности, осуществляющих переработку сельскохозяйственного сырья в готовый пищевой продукт, расширяется применение прогрессивных технологий низкотемпературной обработки сырья и полуфабрикатов, обеспечивающих создание высококачественных жидких концентрированных продуктов.

Поэтому время видится перспективным использование криоскопического концентрирования жидких сред вымораживанием, позволяющее исключить нежелательное воздействие повышенных температур на сгущаемый продукт, добиться максимального сохранения всех полезных веществ исходного сырья при затратах вполне сопоставимых с затратами на процесс концентрирования выпариванием.

Важность научных исследований, представленных в диссертации, состоит в научном обеспечении и разработке концептуального подхода в создании высокоэффективной техники для концентрирования жидких сред вымораживанием.

Значимость представленной работы подтверждается тем, что она выполнялась в соответствии с планом НИР кафедры машин и аппаратов пищевых производств ВГУИТ на 2016 – 2019 гг. «Инновационное развитие

техники пищевых технологий: машины, аппараты и биореакторы» № г.р. 01201253 ГРНТИ: 65.13.19; ФЦП № 14577.21.0256 от 26.09.2017 г. по тематике «Разработка функциональных пищевых продуктов для безглютенового и геродиетического питания, в том числе для профилактики остеопороза»; приоритетного направления развития НОЦ ВГУИТ «Энергоресурс» «Разработка энергосберегающих технологий и оборудования пищевой и химической промышленности»; Стратегической программы исследований технологической платформы «Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания» на 2014 – 2020 гг. «Разработка энергосберегающего оборудования пищевых и перерабатывающих производств АПК» в редакции № 1/18 от 16 мая 2018 г.

Вне всякого сомнения, диссертационная работа Овсянникова В.Ю., направленная на научное обеспечение развития системы процессов криоскопического концентрирования жидких пищевых и технологических сред вымораживанием, актуальна, а полученные автором результаты свидетельствуют о достижении научной цели работы и решении рассматриваемой научной проблемы.

**Достоверность полученных результатов, основных выводов и рекомендаций, изложенных в диссертации.** Содержащиеся в работе научные подходы, положения и выводы основаны на фундаментальных научных положениях и теориях. Они базируются на общепринятых теоретических закономерностях, опираются на полученные соискателем экспериментальные данные и являются логическим обоснованием путей их получения и следствием. Используемые соискателем методики экспериментальных исследований, методы и средства проведения измерений, контроля, а также достаточная повторяемость замеров не дают оснований для сомнения в их достоверности.

В работе отсутствуют взаимно противоречащие положения и выводы.

Полученные в диссертационной работе результаты экспериментальных исследований научно обоснованы и являются новыми. Автор подтвердил достоверность предложенных математических моделей проверкой на адекватность. Соискатель разработал ряд новых технических решений, защищенных патентами РФ.

Исходя из этого научные положения, выводы и рекомендации диссертационной работы следует считать обоснованными и достоверными.

**Научная новизна работы.** Автором разработаны концептуальные принципы создания высокоэффективных способов и оборудования для

концентрирования вымораживанием жидких сред, направленные на повышение эффективности тепловых и массообменных процессов в системе жидкость - твердое тело с сопутствующим аппаратурным оформлением, достигнутым в результате моделирования и усовершенствования конструкций установок для концентрирования вымораживанием жидких сред.

Установлены основные кинетические закономерности процессов льдообразования в жидкостях при их концентрировании вымораживанием.

Методом дифференциально-термического анализа исследовано охлаждение жидких сред и определены термические эффекты превращения воды в лед, что позволило выявить температурный диапазон их холодильной обработки.

Автором созданы математические модели, описывающие процессы вымораживания влаги на вращающейся цилиндрической поверхности, удаления жидкой фазы вращающейся цилиндрической поверхностью, концентрирования вымораживанием творожной сыворотки в шнековом кристаллизаторе, кристаллизации при вымораживании льда на ребренной теплообменной поверхности, процесса тепло – и массообмена процесса вымораживания льда на плоской поверхности.

Установленные закономерности, позволяют рассчитать основные параметры функционирования кристаллизаторов для концентрирования жидкостей вымораживанием влаги в фиксированных условиях работы.

Доказана энергетическая целесообразность предлагаемых процессов производства концентрированных жидких сред вымораживанием на основании анализа эксергетических показателей.

Научная новизна разработанных технических решений подтверждается 9 патентами Российской Федерации на изобретения (пат. РФ № 2206839, 2220385, 2221202, 2228493, 2344722, 2569021, 2651279, 2668294, 2674456).

**Практическая значимость и реализация результатов работы.** Комплекс теоретических и экспериментальных исследований, выполненных в условиях лабораторий и промышленного производства, результаты математического моделирования, а также анализ работы техники для вымораживания жидкостей позволили разработать высокоэффективные способы получения концентрированных жидких сред вымораживанием (пат. РФ №2228493, 2221202, 2581874) с соответствующим аппаратурным оформлением (пат. РФ № 2206839, 2220385, 2221202, 2228493, 2344722, 2569021, 2651279, 2668294, 2674456).

Определены и практически обоснованы режимы процессов концентрирования вымораживанием водных экстрактов поджелудочной железы, печени, желчи, крови крупного рогатого скота, творожной сыворотки, вишневого сока, обеспечивающие максимальное повышение кратности сгущения при сокращении длительности обработки, снижении удельных затрат энергии и повышение качества готовой продукции. Разработаны экспериментальные установки периодического и непрерывного действия, методики исследования процессов концентрирования вымораживанием.

Выполнено комплексное исследование показателей качества жидких сред, полученных в результате концентрирования вымораживанием.

Произведена оценка стабильности, точности и устойчивости функционирования технологической линии концентрирования творожной сыворотки вымораживанием и предложены условия улучшения ее работы.

Осуществлен эксергетический анализ систем концентрирования вымораживанием, доказавший, что эксергетическая эффективность предлагаемых решений на 7...13 % выше, чем у существующих.

Разработаны методики инженерного расчета предлагаемых перспективных конструкций кристаллизаторов для концентрирования жидкостей вымораживанием влаги, функционирующих периодически и непрерывно.

С целью повышения эффективности процесса концентрирования жидких сред вымораживанием разработаны: способ непрерывного вымораживания и получения чешуйчатого льда с аккумулярованием теплоты хладагента (пат. РФ № 2228493), способ автоматического управления процессом вымораживания влаги в двухступенчатой вымораживающей установке (пат. РФ № 2221202), способ автоматического управления циклическим процессом концентрирования вымораживанием (пат. РФ № 2581874).

Разработаны оригинальные конструкции установок для концентрирования жидких сред вымораживанием влаги периодического и непрерывного действия (пат. РФ № 2206839, 2220385, 2221202, 2228493, 2344722, 2569021, 2651279, 2668294, 2674456).

Проданы лицензии (договоры №23/18 от 14.09.2018 г. № 39/18 от 29.10.2018 г.) на право использования интеллектуальной собственности предприятием ООО «ГлавМясПром» по патентам на изобретения №2651279 и №2668294.

**Структура и объем работы.** Диссертация изложена в двух томах.

Первый том состоит из введения, семи глав, основных выводов и результатов, списка литературы, включающей 305 наименований, в том числе 42 на иностранных языках. Основное содержание работы изложено на 362 страницах машинописного текста, содержит 259 рисунков и 20 таблиц. Второй том состоит из приложений к диссертации объемом 148 страниц.

Во **введении** охарактеризовано современное состояние процессов получения концентрированных жидкостей из сырья мясной, молочной и консервной промышленности, обоснована актуальность темы диссертационной работы, научная новизна и практическая значимость выполненных исследований.

**В первой главе** систематизированы литературные данные о современном состоянии техники криоскопического концентрирования жидких сред вымораживанием, способах ведения процесса, рассмотрены основные теоретические предпосылки моделирования процессов вымораживания льда, возможности совершенствования и интенсификации техники для криоскопического концентрирования жидких сред вымораживанием. На основании проведенного анализа сформулированы цель и задачи диссертационной работы.

**Во второй главе** выполнены системные исследования свойств жидких пищевых и технологических сред, в качестве которых вполне справедливо были выбраны типичные представители лиофильных и лиофобных жидкостей со свойствами гелей, зелей и пищевых суспензий, как объектов криоскопического концентрирования вымораживанием.

Приводится информация о реологическом поведении исследуемых жидкостей, их теплофизические и криоскопические характеристики. Отдельным разделом выделено экспериментальное изучение поведения исследуемых жидких систем при их охлаждении.

**В третьей главе** представлено описание устройства и принципа действия барабанного кристаллизатора непрерывного действия, используемого для концентрирования экстрактов поджелудочной железы, печени и желчи убойного скота.

Выполнено моделирование процесса намораживания ледяной фазы на вращающейся цилиндрической поверхности, основанное на рассмотрении одномерной задачи теплопроводности с соответствующими граничными и временными условиями. Полученные решения представлены в графической форме в виде распределения температур и зависимости времени намораживания слоя льда заданной толщины.

Составлено модельное описание и представлены зависимости, отражающие процесс удаления пленки жидкости вращающейся цилиндрической поверхностью.

Выполнен сравнительный анализ изменений химического состава, органолептических, физико-химических и микробиологических показателей образцов экстрактов и желчи, сконцентрированных вакуумным выпариванием и криоскопического вымораживания влаги.

**В четвертой главе** представлена конструкция шнекового кристаллизатора непрерывного действия и принцип его работы.

Составлена и решена математическая модель движения технологической среды в шнековом канале кристаллизатора. Особенностью модели является учет вторичных течений жидкости в канале. Также составлено математическое описание процессов охлаждения и замораживания технологической среды в шнековом кристаллизаторе, позволяющая определить конструктивные особенности аппарата.

Выполнены исследования, касающиеся концентрирования творожной сыворотки в шнековом кристаллизаторе.

Установлено, что значение степени концентрирования и количество вымороженного льда, монотонно убывает с увеличением температуры стенки испарителя. Снижение значения степени концентрирования и количества вымороженного льда достигается повышением содержания сухих веществ в исходной жидкости и увеличением скорости движения шнека.

Содержание сухих веществ в концентрате снижается при увеличении скорости движения шнека при постоянных величинах содержания сухих веществ в исходной жидкости и температуры стенки испарителя. С увеличением температуры стенки испарителя значение содержания сухих веществ в растворе, полученном при расплавлении вымороженного льда, уменьшается.

Изменение удельных затрат энергии нелинейное и возрастает при снижении температуры кипения хладагента в теплообменной рубашке. Повышенные затраты энергии на концентрирование выявлены и в случае повышения начального содержания сухих веществ в исходной сыворотке.

Выполнено комплексное исследование аминокислотного состава, органолептических и физико-химических показателей жидкостей, полученных в результате концентрирования сыворотки вымораживанием и вакуумным выпариванием. В работе приводятся данные подтверждающие высокое качество образцов сыворотки, сконцентрированных

вымораживанием.

**В пятой главе** приведено описание устройства и работы кристаллизатора с оребренными теплообменными элементами периодического действия.

Проведено математическое моделирование процесса тепло- и массообмена при кристаллизации льда на оребренной поверхности.

Физической моделью первой задачи являлось плоское ребро, через которое осуществлялся процесс теплообмена с внешней средой, в качестве которой выступала жидкая фаза. Ребро ограничено с разных сторон соответствующими поверхностями - основной, боковой, концевой и торцевой. При выводе решения использовали дифференциальное уравнение теплопроводности для ребра прямоугольного профиля, зависимости температурного напора от продольной координаты, а также выражением для теплового потока, передаваемого через основание ребра.

Также составлена и решена задача формирования слоя льда, учитывающая непостоянство теплофизических характеристик от температуры.

Проведены исследования роста и скорости роста ледяной фазы на поверхности теплообменных элементов площадью 0,08 м<sup>2</sup>, за 1 час работы установки в зависимости от температуры поверхности теплообмена и начального содержания сухих веществ в вишневом соке.

Отмечено, что увеличение начального содержания сухих веществ в вишневом соке при постоянной температуре кипения хладагента в испарителе установки нелинейно снижает удельное количество льда, образовавшееся на теплообменной поверхности.

Изменение температуры кипения хладагента также вызывает нелинейное увеличение удельного количества льда, вымороженного на теплообменной поверхности. С уменьшением температуры кипения хладагента удельное количество вымороженного льда повышается.

**В шестой главе** представлена конструкция и принцип действия кристаллизатора с падающей пленкой жидкости для концентрирования пищевой крови.

В главе также выполнено математическое моделирование процесса кристаллизации ледяной фазы на плоской поверхности. Представлено физическое описание характера процесса вымораживания влаги и уравнения, математически отражающие характер влияния переохлаждения на границе раздела фаз и в самой пищевой крови.

Математически обосновано влияние на тепловые превращения в процессе роста льда при концентрировании пищевой крови кинетических особенностей, обуславливающих связь скорости роста льда и переохлаждения жидкой фазы у поверхности кристаллизации.

**В седьмой главе** представлены концептуальные подходы к созданию высокоэффективных кристаллизаторов для концентрирования жидких сред вымораживанием.

Глава содержит также описание ряда конструкций высокоэффективных кристаллизаторов для концентрирования жидкостей вымораживанием, способы управления и способ концентрирования жидкостей с аккумулярованием теплоты хладагента, защищенные патентами РФ.

Отдельным разделом представлено исследование, касающееся оценки стабильности функционирования, точности и устойчивости линии концентрирования творожной сыворотки. Также предложены варианты улучшения ее функционирования.

Заключительные разделы главы содержат описание эксергетического анализа установок периодического, непрерывного действия и линии концентрирования пищевой крови с обоснованием теплоэнергетической эффективности.

**Выводы** отражают основные результаты диссертационной работы.

**В приложении** приведены материалы, подтверждающие практическое внедрение результатов работы.

**Публикации.** По материалам работы опубликована 191 работа, в том числе 1 учебник, 5 учебных пособий, 2 монографии, 3 статьи в изданиях, индексируемых в международных базах цитирования Scopus и Web of Science, 29 статей в журналах, рекомендованных ВАК РФ, получено 9 патентов РФ.

**Соответствие автореферата основным положениям.** Автореферат полностью отражает содержание диссертации и оформлен в соответствии с требованиями ВАК.

### ***Вопросы и замечания к диссертации***

1. Во второй главе, помимо свойств жидких сред, целесообразно было бы привести системно обоснованную последовательность проведения экспериментальных и математических методов исследований.

2. В исследованиях автора, касающихся вымораживания влаги, а это главы 3, 4, 5 и 6 температурный диапазон кристаллизации льда составлял



диапазон от 250 до 263 К. Однако в работе не обоснован выбор температур вымораживания. Если это производилось то, каким образом и на основании каких предпосылок?

3. В работе достаточно большое количество выводов сделано на основании тепловых измерений, но практически нигде не упоминается точность измерения температуры, кроме криоскопических исследований. Какова же точность измерения температуры и как оценивалась погрешность ее измерения?

4. В работе настоятельно не хватает аналитических зависимостей, отражающих изменение величины потерь растворимых веществ с вымороженным льдом.

5. При обработке экспериментальных данных по кинетическим закономерностям процессов вымораживания льда автором получены критериальные уравнения только для случая вымораживания влаги из жидкостей при их концентрировании в барабанном кристаллизаторе. На наш взгляд этого недостаточно и следовало бы представить в работе также критериальные уравнения для других типов кристаллизаторов.

6. В инженерных методиках расчета кристаллизаторов преимущественно фигурируют переменные, касающиеся процесса формирования льда. Это формулы производительности, мощности аппарата и продолжительности вымораживания влаги. Величина же изменения концентрации растворенных веществ в формулах фигурирует в ограниченном объеме, а в некоторых методиках инженерного расчета вообще отсутствует. Этой составляющей работы следовало бы наоборот уделить особое внимание, ведь речь в диссертации идет именно о концентрировании.

7. В диссертации, к сожалению, отсутствует информация о вариантах дальнейшего использования вымороженного льда, а также вариантах использования его потенциала.

8. Из материалов диссертации не вполне понятно, каким образом можно сократить потери растворимых веществ, удаляемых с вымороженным льдом?

9. Не совсем ясно, предлагаемый автором процесс криоскопического концентрирования жидких сред вымораживанием упростит или усложнит дальнейший технологический процесс, а также как это скажется на себестоимости продуктов концентрирования?

Появление приведенных замечаний, вероятно, объясняется широким кругом вопросов, рассматриваемых автором. Некоторые замечания носят

характер предложений по направлениям дальнейших исследований.

В целом замечания не снижают положительной оценки диссертационной работы.

### Заключение

Выполненный анализ материалов, представленных на оппонирование, позволяет утверждать, что диссертация Овсянникова Виталия Юрьевича на тему «Развитие системы процессов криоскопического концентрирования жидких пищевых и технологических сред вымораживанием» является законченной квалификационной работой.

По своей актуальности, методологическому подходу, научной новизне, объему выполненных исследований, теоретической и практической значимости, представленная диссертационная работа, полностью отвечает требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым ВАК к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор Овсянников Виталий Юрьевич заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.18.12 – «Процессы и аппараты пищевых производств».

#### Официальный оппонент:

Доктор технических наук, профессор,  
зав. кафедрой пищевых и холодильных  
машин, ФГБОУ ВО «Калининградский  
государственный технический университет»

Заслуженный работник ВШ РФ

Юрий Адгамович Фатыхов

Почтовый адрес:

236022, г. Калининград,

Советский пр-т, д. 1

Тел. +7-(4012)-99-53-36

e-mail: [yuriy.fatyhov@klgtu.ru](mailto:yuriy.fatyhov@klgtu.ru)

«06» ноября 2019 г.

