

ОТЗЫВ

официального оппонента Коротковой Т.Г. на диссертационную работу *Муравьева Александра Сергеевича* на тему: «Научно-практическое обеспечение комплексной переработки фильтрата спиртовой барды для производства белкового кормового концентрата», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальностям: 05.18.12 – «Процессы и аппараты пищевых производств» и 05.18.01 – «Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства»

Актуальность диссертации

В производстве спирта из зернового сырья образуется значительное количество послеспиртовой жидкой барды – основного отхода производства, а её нежелательный сброс в стоки неизбежно вызывает загрязнение окружающей среды и наносит невосполнимый экологический ущерб. В то же время, барда обладает питательной и кормовой ценностью, поскольку в ней остается весь белок зерна после того, как крахмалистые компоненты переработаны на этанол. Кормопродукты с использованием барды содержат протеин, легкопереваримые углеводы, витамины, микро- и макроэлементы. С ростом объемов производства спирта переработка барды приобретает большую экологическую значимость, что подтверждается Федеральным законом от 22.11.1995 №171-ФЗ (ред. от 29.12.2015) «О государственном регулировании производства и оборота этилового спирта, алкогольной и спиртосодержащей продукции...», который предписывает обязательную переработку барды производителям спирта.

Технология концентрирования барды в выпарных станциях самая распространенная в отечественном и зарубежном производстве спирта. Однако стоимость выпарных станций достаточно высока, процесс выпарки требует значительных энергетических затрат. На ряде спиртовых заводах «Росспиртпрома» реализован усеченный цикл переработки барды в продукт DDG, когда перерабатывается только твердая фаза барды, а жидкая фаза сливается, при этом данных о технологии утилизации явно недостаточно. Необходимость переработки жидкой фазы – фильтрата барды – вызвана, прежде всего, соображениями охраны окружающей среды путем создания безотходного энерго- и ресурсосберегаю-

щего производства. Именно решению этой актуальной задачи как в научном, так и практическом плане посвящена диссертационная работа Муравьева А.С., выполненная в соответствии с тематическим планом НИР кафедры технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств Воронежского государственного университета инженерных технологий (№ гос. регистрации 01201253866) «Разработка энерго-, ресурсосберегающих и экологически чистых технологий хранения и переработки сельскохозяйственного сырья в конкурентоспособные продукты с программируемыми свойствами и соответствующим аппаратным оформлением на предприятиях АПК».

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Изложенные в диссертации научные подходы, положения и основные выводы обоснованы и являются следствием полученных новых экспериментальных данных. Представленные в работе результаты соответствуют фундаментальным законам и проверены на адекватность с экспериментальными данными. Достоверность научных разработок подтверждена промышленными испытаниями предлагаемых технических и технологических решений в условиях ООО «Пивное ремесло» и ОАО «Воронежский экспериментальный комбикормовый завод».

Обоснованность полученных показателей качества белкового кормового концентрата и комбикорма с его использованием подтверждена соответствующими актами аккредитованной испытательной лаборатории.

С учётом вышеизложенного, результаты, основные выводы и рекомендации диссертационной работы следует считать достоверными и обоснованными.

Научная новизна и теоретическое значение. Получены функциональные зависимости изменения теплофизических характеристик фильтрата спиртовой барды от температуры.

Сформулирована и решена математическая модель процесса ультраfiltrации фильтрата барды по определению изменения профиля слоя поляризованной концентрации. Получены зависимости удельной производительности мембраны от времени протекания процесса ультраfiltrации для фильтрата

барды из пшеничного и кукурузного сырья при различных значениях трансмембранного давления.

Выявлены закономерности кинетики барботажного выпаривания фильтрата спиртовой барды, определены численные значения и диапазон изменения основных кинетических характеристик.

Разработана математическая модель процесса барботажного выпаривания спиртовой барды на основе уравнений непрерывности, а также законов Фика и Фурье; предложено численно-аналитическое решение задачи нестационарного тепло- массообмена с граничными и начальными условиями, а также фазовым переходом на поверхности пузырька для определения зависимости скорости испарения, содержания сухих веществ, температуры фильтрата и радиуса пузырька от продолжительности процесса.

Методами математического моделирования определены зависимости, позволяющие прогнозировать распределение скорости, температуры и влагосодержания капель фильтрата барды в процессе распылительной сушки.

Составлен программно-логический алгоритм управления технологическими параметрами процесса получения белкового кормового концентрата из фильтрата барды, обеспечивающий повышение энергетической эффективности совместно протекающих процессов ультраfiltrации, выпаривания и распылительной сушки.

Научная новизна предложенных технических решений подтверждена 4 патентами РФ на изобретение и свидетельством РОСПАТЕНТА о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Практическая значимость работы заключается в том, что показана целесообразность использования процесса баромембранного концентрирования фильтрата барды перед выпариванием из кукурузного и пшеничного сырья, позволяющего снизить удельные энергозатраты.

Установлены рациональные режимы барботажного выпаривания, обеспечивающие минимальный расход энергии и высокое качество белкового кормового концентрата.

Разработана энергоэффективная технология получения белкового кормового концентрата из фильтрата спиртовой барды (Пат. РФ № 2514666).

Разработана программа для ЭВМ (свидетельство РОСПАТЕНТА о гос. регистрации № 2015619721) и способ управления технологией получения белкового кормового концентрата (Пат. РФ № 2546214), позволяющий снизить удельные энергозатраты на 10...15 %.

Разработаны конструкции мембранных аппаратов (Пат. РФ № 2560417, 2558894) и барботажного выпарного аппарата (положительное решение по заявке № 2015111124).

Обоснован и развит эксергетический подход к термодинамическому анализу взаимосвязанных процессов, достигнута минимизация термодинамических потерь на 5,47 % от внутрицикловой и внешней регенерации тепловых стоков.

Проведены производственные испытания в условиях ОАО «Воронежский экспериментальный комбикормовый завод (ВЭКЗ)» и ООО «Пивное ремесло», которые показали высокую эффективность предлагаемых решений.

Продана лицензия (договор № 26/15 от 26.10.2015 г.) на право использования интеллектуальной собственности ООО «Пивное ремесло» по патенту на изобретение РФ № 2558894. Ожидаемый годовой экономический эффект от внедрения предлагаемых технических решений составит 4,7 млн. руб.

Ценность для науки и практики научной работы

Ценность для науки данной работы заключается в том, что получены теоретические и экспериментальные исследования процесса баромембранного разделения и барботажного выпаривания фильтрата спиртовой барды горячим воздухом.

Ценность для практики данной работы заключается в том, что результаты производственных испытаний предлагаемых технических решений в условиях ООО «Пивное ремесло» и ОАО «ВЭКЗ» показали целесообразность их внедрения в производство.

Полученные результаты рекомендуется использовать при переработке и утилизации спиртовой барды.

Достоинства диссертации, включая содержание и оформление

Диссертационная работа изложена в традиционной последовательности и включает введение, четыре главы, основные выводы и результаты, список литературы и приложения.

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулирована цель и аргументирована научная новизна исследований, показана практическая значимость полученных результатов, приведены научные положения, выносимые на защиту.

В первой главе систематизированы литературные данные о современном состоянии теории, техники и технологии утилизации фильтрата спиртовой барды как системы процессов. Дается обзор методов решения задач тепло- и массопереноса. Детально рассмотрены вопросы проектирования баромембранных и выпарных аппаратов; перспективы применения известных технологий переработки спиртовой барды, а также возможные варианты максимально полного использования энергии теплоносителей. На основании проведенного анализа сформулированы цель и задачи диссертационной работы, представлена структурно-логическая схема проведения исследований для их реализации. В выводах по главе достаточно обосновано отмечается, что теория процессов комплексной переработки фильтрата спиртовой барды для производства белкового кормового концентрата должна охватывать процессы баромембранного концентрирования, сгущения барды и распылительной сушки жидкой её части. При этом соискатель настаивает на использовании ультрафильтрационного разделения барды до выпарной установки, что вполне оправдано с точки зрения снижения энергозатрат на наиболее энергоемкий процесс – вакуум-выпарное выпаривание.

Во второй главе предложена научная программа исследований, направленная на разработку энергоэффективной технологии получения белкового кормового концентрата из фильтрата спиртовой барды. С использованием современных средств физико-химического контроля и анализа определен аминокислотный состав и содержание минеральных веществ в барде.

Изучены кинетические закономерности процесса ультрафильтрации образцов фильтрата барды, полученных из кукурузного и пшеничного сырья, с применением керамических мембран.

Методами математического моделирования получено уравнение, позволяющее определять производительность мембраны в широком диапазоне режимных параметров. По результатам исследований запатентованы высокоэффективные мембранные аппараты для сгущения фильтрата барды, обеспечивающие снижение влияния концентрационной поляризации на производительность.

Получены зависимости теплофизических характеристик фильтрата спиртовой барды от температуры.

Выполнены экспериментальные и аналитические исследования процесса барботажного выпаривания фильтрата барды после мембранного модуля, сформулирована математическая постановка задачи моделирования процесса барботажного выпаривания барды. Предложено численно-аналитическое решение математической модели барботажного выпаривания.

Идентификация параметров модели методом машинного эксперимента позволила автору получить зависимости времени процесса от скорости испарения, массовой концентрации, температуры и высоты барботирования фильтрата. По результатам исследований разработана конструкция барботажного вакуум-аппарата.

В третьей главе представлена математическая модель процесса распылительной сушки фильтрата барды при вполне корректно сформулированных допущениях. Решение задачи методом конечных объемов позволило спрогнозировать распределение скорости, температуры и влагосодержания капель фильтрата барды по высоте сушильной камеры.

Разработаны способ получения белкового концентрата из фильтрата барды (Пат. РФ № 2514666) и способ управления, обеспечивающий повышение энергетической эффективности совместно протекающих процессов ультрафильтрации, выпаривания и распылительной сушки (Пат. РФ № 2546214).

Для оценки энергоэффективности способа производства белкового концентрата из фильтрата барды выполнен эксергетический анализ, свидетельствующий о высокой степени его термодинамического совершенства.

В четвертой главе изучены основные показатели качества белкового кормового концентрата. Методами планирования эксперимента решена задача оптимизации процесса хранения белкового кормового концентрата по удельным энергозатратам на хранение и содержанию витамина С; определены рациональные значения температуры, относительной влажности и расхода окружающего воздуха при хранении в складских условиях.

Рассчитан рецепт полнорационного комбикорма для поросят в возрасте от 66 до 108 дней с использованием белкового кормового концентрата по программе «Корм Оптима Эксперт» в условиях ОАО «ВЭКЗ».

Приведенные в диссертации выводы соответствуют поставленным задачам и отражают основные результаты исследований.

Стиль изложения ясный, материал представлен в строгой логической последовательности, достаточно полно проиллюстрирован экспериментальными и расчетными данными, представленными в виде 48 рисунков и 24 таблиц. Список использованной литературы включает 128 наименований, в том числе 37 на иностранных языках. Диссертация аккуратно оформлена.

Публикация основных результатов диссертации

Основные результаты диссертации опубликованы в соответствии с требованиями ВАК Минобрнауки РФ, содержание автореферата полностью отражает материалы, представленные в диссертации.

По теме диссертации опубликовано 24 работы, в том числе 8 статей в журналах, рекомендованных ВАК РФ, получено 4 патента РФ на изобретение и одно свидетельство Роспатента о регистрации программы для ЭВМ.

Соответствие автореферата основным положениям

Автореферат отражает содержание диссертации и оформлен в соответствии с требованиями, предъявляемыми ВАК Минобрнауки РФ к кандидатским диссертациям.

Замечания по диссертации

1. Неясно, каким образом выполнена идентификация параметров математической модели процесса баромембранного разделения послеспиртовой барды (стр 54–55)? Какова погрешность моделирования?

2. Не рассмотрен вопрос регенерации мембраны? Какова продолжительность её эксплуатации при концентрировании столь сложного объекта как послеспиртовая барда?

3. В параграфе 2.5.2. (стр. 62) ставится задача определения рациональных параметров процесса барботажного выпаривания барды методами планирования эксперимента. Однако непонятно была ли сформулирована оптимизационная задача математической статистики? Автор не учитывает такие важные факторы, как продолжительность процесса и энергозатраты на его осуществление, что не позволяет судить о рациональном выборе входных факторов с точки зрения важнейших технико-экономических показателей.

4. Автором предложена физико-математическая модель процесса барботажного выпаривания барды (стр. 71–78), которая в полной мере отражает физическую картину сгущения барды и позволяет осуществлять поиск рациональных режимов процесса. Поэтому регрессионную модель можно было вынести в приложение.

5. Не обоснован выбор нестационарных уравнений Навье-Стокса для капель фильтрата и сушильного агента в качестве математической модели процесса распылительной сушки фильтрата барды. Не рассмотрена возможность использования других моделей: капиллярно-пористой, модели «растворения-диффузии», термодинамической и др.

Приведенные замечания не снижают научную и практическую ценность и носят характер пожеланий для дальнейших исследований автора.

Заключение

В диссертационной работе Муравьева А.С. научно и экспериментально обоснована совокупность технических и технологических решений для организации безотходной и энергосберегающей технологии получения белкового кор-

мового концентрата из фильтрата спиртовой барды как системы энергосберегающих процессов баромембранного разделения, барботажного вакуум-выпаривания и распылительной сушки при получении концентрата с последующим его использованием в рецептуре кормов для сельскохозяйственных животных.

Диссертация, как научно-квалификационная работа, удовлетворяет требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842 (ред. от 30.07.2014), предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальностям: 05.18.12 – «Процессы и аппараты пищевых производств» и 05.18.01 – «Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства».

За теоретические и экспериментальные исследования, посвященные научно-практическому обеспечению комплексной переработки фильтрата спиртовой барды для производства белкового кормового концентрата, автор диссертации Муравьев Александр Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Официальный оппонент:

доктор технических наук, доцент,

профессор кафедры безопасности жизнедеятельности

института техносферной безопасности

ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный

технологический университет»

Короткова

Короткова

Татьяна Германовна

350072, г. Краснодар, ул. Московская, д. 2,

тел. 8(918)010-90-12,

E-mail: korotkova1964@mail.ru

