

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА

Д 212.204.03 на базе Российского химико-технологического университета имени Д.И. Менделеева Министерства образования и науки Российской Федерации по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук.

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от «29» декабря 2016 года, протокол № 19

О присуждении **Сафарову Руслану Рафиг оглы**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Моделирование гидродинамики и массообмена в полволоконном мембранном биореакторе (на примере культивирования клеток млекопитающих)» в виде рукописи по специальности 05.17.08 – Процессы и аппараты химических технологий, технические науки, принята к защите «27» октября 2016 года, протокол № 18, диссертационным советом Д 212.204.03 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» Министерства образования и науки Российской Федерации (125047, Москва, Миусская площадь, 9, приказ о создании диссертационного совета от «15» октября 2014 года № 574/нк).

Соискатель **Сафаров Руслан Рафиг оглы**, «30» августа 1984 года рождения, в 2006 году окончил Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина» Министерства образования и науки Российской Федерации. С 29.08.2013 по 29.08.2015 был соискателем кафедры кибернетики химико-технологических процессов Российского химико-технологического университета имени Д.И. Менделеева Министерства образования и науки Российской Федерации. В настоящее время работает в должности главного специалиста Международного учебно-научного центра трансфера фармацевтических и биотехнологий Российского химико-технологического университета имени Д.И. Менделеева Министерства образования и науки Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре кибернетики химико-технологических процессов Российского химико-технологического университета имени Д.И. Менделеева Министерства образования и науки Российской Федерации при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках базовой части государственного задания высшим учебным заведениям и научным организациям в сфере научной деятельности.

Научный руководитель доктор технических наук, профессор **Меньшутина Наталья Васильевна**, гражданка Российской Федерации, профессор кафедры кибернетики химико-технологических процессов Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» Министерства образования и науки Российской Федерации.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор **Липин Александр Геннадьевич**, гражданин Российской Федерации, заведующий кафедрой процессов и аппаратов химической технологии Федерального

государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ивановский государственный химико-технологически университет» Министерства образования и науки Российской Федерации, Иваново;

кандидат технических наук, доцент Ключников Андрей Иванович, гражданин Российской Федерации, доцент кафедры «Машины и аппараты пищевых производств» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный университет инженерных технологий» Министерства образования и науки Российской Федерации, Воронеж дали **положительные отзывы** на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» Министерства образования и науки Российской Федерации, Тамбов, в своем **положительном заключении**, подписанном доктором технических наук, профессором Гатаповой Натальей Цибиковной, заведующей кафедрой «Технологические процессы, аппараты и техносферная безопасность», и утвержденном ректором, доктором технических наук, профессором Краснянским Михаилом Николаевичем, указала, что диссертация является законченной научно-квалификационной работой, соответствующей требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», а ее автор Сафаров Руслан Рафиг оглы заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.08 – Процессы и аппараты химических технологий (отзыв заслушан и одобрен на заседании кафедры «Технологические процессы, аппараты и техносферная безопасность» «5» декабря 2016 года, протокол № 18).

Соискатель имеет **9** опубликованных работ по теме диссертации, в том числе **3** в научных журналах, включенных в перечень российских рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций. Публикации выполнены в соавторстве с научным руководителем на русском и английском языках. Личный вклад соискателя (70-90%) состоит в получении и анализе экспериментальных данных, в разработке математической модели гидродинамики и массообмена половолоконного мембранного биореактора для культивирования клеток млекопитающих (на примере клеток CHO), в разработке программы для расчета, интерпретации полученных данных, подготовке и написании текста. Соискателем опубликованы 4 тезиса докладов международных конференций. Монографий, депонированных рукописей, патентов не имеет.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации: 1. Воробьева Е.С., Сафаров Р.Р., Иванов С.И., Меньшутина Н.В. База данных по биореакторам // Программные продукты и системы. 2015. № 3. С. 210–213. 2. Е.В. Гусева, Р.Р. Сафаров, Н.В. Меньшутина. Подход к моделированию, масштабированию и оптимизации работы биореакторов на основании вычислительной гидродинамики // Программные продукты и системы. 2015. № 4 (112). С. 261-267. 3. Меньшутина Н.В., Сафаров Р.Р., Воробьева Е.С., Гусева Е.В. Моделирование гидродинамики потоков в половолоконном мембранном биореакторе для культивирования клеток млекопитающих // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2016. №3. С. 52–59.

На автореферат диссертации поступило **5** отзывов, **все положительные**. В отзывах

указывается, что представляемая работа характеризуется высоким теоретическим и экспериментальным уровнем, имеет большое научное и практическое значение и по своей новизне и актуальности соответствует требованиям Высшей аттестационной комиссии.

В отзыве доктора технических наук, профессора Абиева Руфата Шовкетовича, заведующего кафедрой оптимизации химической и биотехнологической аппаратуры Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)» даны замечания, что не ясно, как оценивалась адекватность разработанной математической модели; не представлена информация о выполнении анализа результатов численного моделирования (глава 5) для определения оптимальной геометрии биореактора, например, по критерию равномерности распределения скорости потока в межтрубном пространстве; какие предложения по совершенствованию его конструкции были сделаны.

В отзыве доктора биологических наук, профессора Красильникова Игоря Викторовича, заместителя директора Федерального государственного унитарного предприятия «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт вакцин и сывороток и предприятие по производству бактериальных препаратов» содержится замечание, что отсутствует пояснение, почему для расчета объемного потока пермеата за начальное количество клеток принималось 450 000 шт., а в чашке Петри начальное количество клеток составляло 200 000 шт.

В отзыве доктора технических наук, профессора Софиева Александра Эльханановича, профессора кафедры «Аппаратурное оформление и автоматизация технологических производств» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский политехнический университет» имеются следующие замечания, что в разработанной модели не учтено влияние тепловых эффектов; не до конца поняты критерии разбиения расчетной сетки, нет численных данных; не ясно, разрабатывалась ли схема автоматизации для созданной технологической схемы процесса.

В отзыве кандидата технических наук, Таран Юлии Александровны, доцента кафедры процессов и аппаратов химических технологий имени Н.И. Гельперина Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технологический университет» имеются замечания: отсутствует сравнение полученных результатов в лабораторном реакторе с известными аналогами для вывода о качестве и эффективности созданной установки и процесса; не пояснен выбор режима подачи питательной среды.

Отзыв кандидата технических наук, Волковой Ирины Михайловны, руководителя отдела продаж оборудования для биопроцессов Общества с ограниченной ответственностью «Сарториус Стилдидим Рус» замечаний не содержит.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обоснован тем, что область их научных интересов и направление основной деятельности соответствуют тематике работы соискателя, что подтверждается большим числом научных и учебно-методических публикаций. Высокая компетентность в области основных процессов химической технологии и аппаратов для их проведения дает возможность им в должной мере оценить научную и практическую значимость

диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований: **разработаны** математическая модель полуволоконного мембранного биореактора, позволяющая исследовать гидродинамику движения жидкости во внутриволоконном и межволоконном пространствах, процесс микрофльтрации через мембрану с учетом увеличения числа клеток на ее поверхности; электронная модель, в которой возможна визуализация процессов гидродинамики, массопереноса и кинетики роста клеток на мембране в реакторе; **предложены** прямоточный способ подачи питательной среды в межволоконное пространство; **доказаны** возможность использования модели для масштабирования и расчета полуволоконных мембранных биореакторов различной производительности; применимость модели Ферхюльста для расчета кинетики роста клеток СНО; **определены** условия на основе проведения экспериментальных исследований и вычислительного эксперимента для проведения культивирования клеток СНО в полуволоконном мембранном биореакторе, содержащем 20 и 60 волокон; **проведен** выбор геометрии сетки для оптимизации времени расчетов.

Теоретическая значимость исследований обоснована тем, что:

изучены разные способы подачи питательной среды во внутриволоконное и межволоконное пространства биореактора и энергоэффективность технологической схемы при различных способах подачи питательной среды во внутриволоконное пространство; **представлены** математическая и электронная модели и результаты вычислительного эксперимента по культивированию клеток СНО в полуволоконных мембранных биореакторах, содержащих 20 и 60 волокон;

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработана программа расчета полуволоконного мембранного биореактора для культивирования клеток млекопитающих, позволяющая исследовать режимы работы, выбрать наиболее оптимальный с учетом энергозатрат, которая может быть использована как в проектных и научных организациях, так и в университетах для обучения магистров; **определен** для культуры клеток СНО наилучший режим работы биореакторов полуволоконного типа различного масштаба с использованием расчётов по математической модели; **созданы** технологическая схема процесса культивирования клеток млекопитающих в полуволоконном мембранном биореакторе и лабораторная установка, позволяющая соблюдать требуемые условия культивирования, с учетом экономии питательной среды; полученные результаты **могут быть рекомендованы** для применения предприятиями, научно-исследовательскими и образовательными организациями химического, биотехнологического и биофармацевтического профиля, работающими с полуволоконными мембранными биореакторами.

Оценка достоверности результатов выявила, что экспериментальные данные получены с помощью современных методов и технических средств; в данной работе применены известные и современные методы математического моделирования, методы численного решения

дифференциальных уравнений математических моделей; работа согласуется близостью и согласованностью полученных с помощью предложенных методов результатов с данными экспериментальных исследований; выводы диссертации обоснованы и не вызывают сомнения.

Личный вклад соискателя состоит в проведении экспериментальных исследований; обработке полученных результатов; разработке математической модели полуволоконного мембранного биореактора; проведении вычислительного эксперимента на основании предложенной модели с целью проверки ее адекватности и последующего масштабирования; анализе полученных результатов; подготовке их к опубликованию, представлению результатов на международных и российских конференциях.

Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием последовательного плана исследования, непротиворечивой методологической платформы, основной идейной линии, концептуальности и взаимосвязи выводов. По своему содержанию диссертация отвечает паспорту специальности 05.17.08 – Процессы и аппараты химических технологий по пунктам «совершенствование аппаратного оформления технологических процессов с позиций энерго- и ресурсосбережения», «способы, приемы и методологии исследования гидродинамики движения жидкости и массообменных процессов и аппаратов; «теория подобия и масштабирования химико-технологических процессов и аппаратов, машин и агрегатов».

Диссертационный совет пришёл к выводу о том, что диссертация представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, включающую совокупность научно обоснованных технических и технологических решений, которые направлены на выбор гидродинамических и массообменных параметров ведения процесса в полуволоконном мембранном биореакторе (на примере культивирования клеток СНО). По актуальности, новизне, практической значимости диссертация соответствует требованиям пунктов 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 (с изменениями и дополнениями), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук.

На заседании «29 декабря 2016 года протокол № 19 диссертационный совет принял решение присудить Сафарову Руслану Рафиг оглы ученую степень кандидата технических наук по специальности 05.17.08 – Процессы и аппараты химических технологий.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 9 докторов наук по специальности и отрасли наук рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, **проголосовали: за присуждение учёной степени – 14, против присуждения учёной степени – нет, недействительных бюллетеней – 1.**

Председатель диссертационного совета

М. Б. Глебов

Ученый секретарь диссертационного совета

А. В. Женса

