

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор

Тюменского государственного
университета



А.В. Толстиков

20 25

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
«Тюменский государственный университет»

Министерства науки и высшего образования Российской Федерации

Диссертация «Математическое моделирование процессов разделения смеси азота и кислорода с помощью селективной мембраны» выполнена на кафедре моделирования физических процессов и систем Школы естественных наук федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Тюменский государственный университет».

В период подготовки диссертации соискатель Анисимова Мария Александровна обучалась в аспирантуре по очной форме обучения в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Тюменский государственный университет» по специальности 1.1.9 Механика жидкости, газа и плазмы с 01.09.2022 по настоящее время (нормативный срок окончания 31.08.2026) и работала младшим научным сотрудником отдела анализа эксплуатации промышленных объектов ООО «Газпром ВНИИГАЗ».

В 2022 году окончила федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский государственный университет» по направлению подготовки 01.04.01 Математика с присвоением квалификации Магистр.

Справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Тюменский государственный университет» в 2025 г.

Научный руководитель – Шевелев Александр Павлович, кандидат физико-математических наук, доцент, профессор кафедры моделирования физических процессов и систем Школы естественных наук федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Тюменский государственный университет».

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Цель и актуальность работы: Исследование процессов массопереноса компонентов газовой смеси при фильтрации в селективной мембране на основе модельных аналитических и численных решений. Существует потребность в введении технологий газоразделения, гарантирующих чистоту газа свыше 90% при сравнительно недорогой технике использования.

Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации: Личный вклад заключается в формулировке физико-математических моделей процесса массопереноса многокомпонентной газовой смеси в фильтрационных селективных мембранах; получении численных и аналитических решений поставленных задач; написании научных статей и апробации работы на российских и международных конференциях.

Степень достоверности результатов проведенных исследований: Достоверность полученных результатов обеспечивается применением фундаментальных уравнений механики многофазных сред при построении математических моделей; формулировкой физически обоснованных допущений при постановке задач; использованием апробированных методов численного моделирования. Обоснованность результатов гарантируется валидацией решений посредством сопоставления с экспериментальными данными промышленных установок.

Новизна результатов проведенных исследований:

1. Разработана новая физико-математическая модель процесса фильтрации многокомпонентной газовой смеси с учетом массопереноса входящего и выходящего газовых потоков вдоль трубчатой мембраны, позволившая

установить зависимость между скоростью подаваемого в нее газа и концентрацией получаемых компонентов.

2. Определено влияние фильтрационных параметров мембранной установки на скорость установления стационарного распределения концентрации отфильтрованных компонентов, обосновывающее возможность мембраны непосредственно после начала процесса фильтрации.

3. Сформулированы безразмерные комплексы, с помощью которых установлена корреляция между радиусом поровых каналов мембраны и размером молекул газовых компонентов, позволяющая оценивать влияние продольного массопереноса на эффективность разделения.

4. Получено точное аналитическое решение упрощенной задачи о разделении смеси газов в пренебрежении продольным переносом массы вдоль мембраны, позволяющее определить зависимость коэффициента селективности от давления на выходе из установки.

Практическая значимость результатов проведенных исследований:

1. Полученные аналитические решения, позволяющие оценивать возможность статических моделей для расчетов параметров проточных мембранных установок по разделению газовых смесей.

2. Численные решения задачи массопереноса многокомпонентной газовой смеси в фильтрационных селективных мембранах, дающие возможность определять эффективные характеристики этих установок.

Результаты диссертационного исследования опубликованы в 10 научных работах (общим объемом 2,7 п.л., авторский вклад 0,9 п.л.), из них 2 работы в журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, индексируемых в базах данных Scopus; 1 свидетельство на программу ЭВМ.

Публикации в изданиях, индексируемых в международной базе данных

Web of Science/Scopus

1. Ганопольский Р. М., Гильманов А. Я., Деменчук М. А., Дмитриев И. О., Федоров К. М., Шевелев А. П. Методы определения коэффициента

проницаемости селективно-проницаемых мембран // Инженерно-физический журнал. 2021. Т. 94, №1 С. 234-239.

2. Анисимова М. А., Гильманов А. Я, Кузнецов А. В., Шевелёв А. П. Математическое моделирование разделения смеси азота и кислорода с помощью селективной мембраны // Инженерно-физический журнал. 2023. Т. 96, №6 С. 1552-1558.

Публикации в изданиях, включенных в РИНЦ

1. Гильманов А. Я, Деменчук М. А., Шевелёв А. П. Определение параметров установки с селективными мембранами // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2021. Т. 7, № 3 (27) С. 71-88. DOI: 10.21684/2411-7978-2021-7-3-71-88.

2. Гильманов А. Я., Деменчук М. А., Шевелёв А. П. Определение оптимальных параметров установки с селективными мембранами // Материалы 26-ой Всероссийской научной конференции студентов-физиков и молодых ученых ВНКСФ-26, Уфа, Башкортостан. 2020. С. 300-301.

3. Деменчук М. А., Шевелёв А. П. Анализ влияния параметров установки с селективными мембранами на процесс разделения газов // Материалы XIX Всероссийской конференции-конкурса студентов и аспирантов «Актуальные проблемы недропользования», Санкт-Петербург. 2021. С. 100-101.

4. Деменчук М. А., Шевелёв А. П. Оценка параметров мембранной установки, влияющих на процесс газоразделения // Материалы XVII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспективны Свободный - 2021», Красноярск. 2021. С. 1782-1784.

5. Анисимова М.А., Гильманов А.Я., Шевелев А.П. Влияние параметров мембранных установок на процесс газоразделения // Материалы X Молодежной международной научно-практической конференции «Новые технологии в газовой отрасли: опыт и преемственность», Тюмень. 2022. С. 140.

6. Анисимова М.А., Гильманов А.Я., Шевелев А.П. Определение параметров установки с селективными мембранами // Материалы X школы-

семинара молодых ученых по теплофизике и механике многофазных систем «Трансформация нефтегазового комплекса», Тюмень. 2023. С.

7. Анисимова М.А., Гильманов А.Я., Шевелев А.П. Анализ влияния положения стоков массы на распределение концентрации в установке с селективной мембраной // Материалы XIV Международной школы-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященная 75-летнему юбилею профессоров Я.Т.Султанаева и М.Х.Харрасова, Уфа. 2023. С. 27.

8. Анисимова М.А., Гильманов А.Я., Шевелев А.П. Определение параметров установки с селективными мембранами // Материалы «XI Школа-семинар молодых ученых по теплофизике и механике многофазных систем «Трансформация нефтегазового комплекса», Тюмень. 2024. С.

Свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ:

1. Анисимова М.А., Гильманов А.Я., Шевелев А.П. «Программа для расчета технологических параметров установки с селективными мембранами». Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024611813 от 10.10.2024 г.

Публикации полностью соответствуют теме диссертационного исследования и раскрывают ее основные положения. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах, в которых изложены основные полученные результаты диссертации.

Результаты диссертационного исследования докладывались на научных конференциях:

1. XIX Всероссийская конференция-конкурс студентов и аспирантов «Актуальные проблемы недропользования» (Санкт-Петербург, 2021);
2. XVII Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспективны Свободный — 2021» (Красноярск, 2021);
3. X Молодежная международная научно-практическая конференция «Новые технологии в газовой отрасли: опыт и преемственность» (Тюмень, 2022);

4. X школа-семинар молодых ученых по теплофизике и механике многофазных систем "Трансформация нефтегазового комплекса" (Тюмень, 2023);
5. XIV Международная школа-конференция студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященная 75-летию юбилею профессоров Я.Т. Султанаева и М.Х. Харрасова (Уфа, 2023);
6. Всероссийская конференция «XI Школа-семинар молодых ученых по теплофизике и механике многофазных систем «Трансформация нефтегазового комплекса» (Тюмень, 2024);
7. Конференция молодых ученых и специалистов ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» (Тюмень, 2025).

Научная специальность, которой соответствует диссертация: 1.1.9 Механика жидкости, газа и плазмы, а именно пунктам: п.8. Течение жидкостей и газов в пористых средах; п.19. Точные, асимптотические, приближенные аналитические, численные и комбинированные методы исследования уравнений континуальных и кинетических моделей однородных и многофазных сред; п. 20. Разработка математических методов и моделей гидромеханики.

Отрасль науки – физико-математические науки, поскольку приведены результаты исследований, соответствующие перечисленным областям научной специальности 1.1.9 Механика жидкости, газа и плазмы; в качестве аппарата исследований преобладают математические методы, получены результаты в виде численных решений расчетов.

Оценка выполненной соискателем работы:

Диссертационная работа соответствует требованиям, установленным пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842. Текст диссертации представляет собой самостоятельную научно-квалификационную работу, не содержит заимствованного материала без ссылки на автора и (или) источник заимствования.

Диссертация «Математическое моделирование процессов разделения смеси азота и кислорода с помощью селективной мембраны» Анисимовой Марии Александровны рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы.

Заключение принято на расширенном заседании кафедры моделирования физических процессов и систем. Присутствовало на заседании 15 чел., в том числе – 4 доктора наук. Результаты голосования: «за» – 15 чел., «против» – 0 чел., «воздержалось» – 0 чел., протокол № 9 от «23» мая 2025.

Ганопольский Родион Михайлович,
канд. физ.-мат. наук, заведующий
кафедрой моделирования физических
процессов и систем Школы
естественных наук, ФГАОУ ВО
«Тюменский государственный
университет»

СОГЛАСОВАНО

Елышев Андрей Владимирович,
канд. хим. наук, директор Школы
естественных наук, ФГАОУ ВО
«Тюменский государственный
университет»

