



колонна», функционирование которого рассматривается на примере решения двух принципиально разных задач: глубокая очистка газа, при которой реализуется извлечение труднопроникающего компонента и выделение диоксида углерода из дымовых газов ТЭЦ, в рамках которого осуществляется концентрирование легкопроникающего компонента. Кроме того, функционирование каскада изучается в различных режимах его работы (безотборный, близкий к безотборному режимы работы, нестационарные условия проведения процесса).

Исходя из этого, тема рецензируемой диссертационной работы – «Разделение газовых смесей в мембранном каскаде типа «Непрерывная мембранная колонна» представленной Атласкиным А.А. определенно является актуальной.

### **АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ**

Диссертация Атласкина А.А. включает в себя введение, пять глав (литературный обзор, описание методов и подходов, используемых в работе, описание разработанной математической модели, обсуждение полученных результатов, расчет предложенной технологической схемы мембранного каскада для выделения диоксида углерода из дымовых газов ТЭЦ), выводы, перечень опубликованных работ по материалам диссертации и библиографический список цитирований. Работа состоит из 186 страниц и содержит 92 рисунка и 24 таблицы.

Во **введении** представлена общая характеристика работы, показана ее актуальность, определена основная цель исследования и изложены решаемые задачи, обоснована научная новизна и практическая значимость.

В **первой главе** представлено современное состояние вопроса разработки и оптимизации многостадийных мембранных аппаратов, применяемых в задачах разделения газовых сред в различных отраслях промышленности.

Во **второй главе** подробно описаны методы и подходы, применяемые в исследовании, дано детальное описание экспериментальных процедур, определены объекты исследования.

В **третьей главе** представлена математическая модель, описывающая изменение состава разделяемой газовой смеси в зависимости от технологических параметров, учитывающая различные варианты организации потоков в мембранном модуле.

В **четвертой главе** изложены результаты работы и их обсуждение. Автор работы выполнил изучение функционирования мембранного каскада и определил ключевые закономерности. В этой главе диссертации обсуждаются особенности работы мембранного каскада в различных режимах работы, зависимости эффективности

разделения газовых смесей (как разбавленных, так и содержащих компоненты чьи концентрации сравнимы). Изучена возможность увеличения разделительного эффекта за счет реализации импульсных отборов продукта из различных секций мембранного каскада.

В пятой главе представлена рассчитанная технологическая схема на базе трехмодульного варианта мембранного каскада типа «непрерывная мембранная колонна» промышленного масштаба для выделения диоксида углерода из дымовых газов ТЭЦ, а также выполнен технико-экономический анализ предложенного подхода.

В заключении приведены ключевые результаты, полученные в рамках исследования, среди которых стоит выделить самые значимые:

- разработана математическая модель массообмена в мембранном каскаде типа «Непрерывная мембранная колонна» и выполнена ее верификация с помощью экспериментально определенных зависимостей;
- экспериментально и теоретически определены зависимости эффективности разделения газовых смесей. При глубокой очистке была продемонстрирована возможность достижения содержания целевого компонента 99.999995 об.%; при выделении диоксида углерода - > 97 об.%;
- выполнен расчет промышленной технологической схемы мембранного каскада на базе трехмодульной конфигурации для выделения диоксида углерода из дымовых газов ТЭЦ. Проведена многопараметрическая оптимизация предложенной технологической схемы. Представлено технико-экономическое обоснование целесообразности применения рассчитанной технологической схемы в промышленности.

### **ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ**

Представленные в диссертационной работе сведения формируют базу знаний о закономерностях и особенностях функционирования мембранного каскада типа «Непрерывная мембранная колонна», которая обладает ценностью для разработки и создания мембранных разделительных аппаратов. Более того, результаты моделирования технологической схемы для выделения диоксида углерода из дымовых газов ТЭЦ создают основу для проектирования промышленных образцов такого мембранного аппарата.

### **ДОСТОВЕРНОСТЬ И ОБОСНОВАННОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ**

Результаты диссертационной работы и выводы, сделанные на их основе подкреплены системным анализом как отечественных, так и зарубежных литературных

источников в области мембранного газоразделения. Сведения, представленные в работе, были получены с использованием современного высокоточного аналитического оборудования. Результаты воспроизводимы, а их интерпретация логична и обоснована.

По материалам диссертационной работы были опубликованы 4 статьи в рецензируемых научных журналах (2 статьи в журнале «Мембраны и мембранные технологии», 2 статьи в журнале «Journal of Membrane Science»), и 11 тезисов докладов в сборниках трудов российских и международных научных конференций. Опубликованные работы и автореферат диссертации полностью отражают основное содержание работы.

### **ВОПРОСЫ И ЗАМЕЧАНИЯ ПО ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЕ**

1. В диссертационной работе не приведено обоснование выбора газоразделительных мембран Лестосил и МДК-3. Почему были выбрано именно эти мембраны?

2. При изучении мембранного каскада в задачах глубокой очистки газов, эффективность разделения оценивается через коэффициент концентрирования – отношение концентрации легкопроникающего компонента (примеси) в потоке питающей смеси и потоке из секции извлечения. Почему используется именно такая величина, а не, например, фактор разделения?

3. В рамках экспериментального изучения мембранного каскада на примере выделения диоксида углерода из тройной газовой смеси для оценки изменения концентраций компонентов смеси в потоках из секции извлечения и обогащения использованы относительные величины. Такой подход затрудняет прочтение и не способствует лучшему пониманию изложенного материала.

4. В описании экспериментальных процедур не приведено обоснования выбора давления питающей смеси.

5. В математической модели мембранного радиального модуля приведено граничное условие второго рода на выходе потока ретентата (вблизи центральной части модуля) – уравнение (21), означающее отсутствие градиента концентрации, однако не дано его обоснование.

6. В главе, посвящённой описанию математической модели, представлены различные случаи организации потоков в мембранном модуле (поперечный ток, противоток, полное перемешивание в ПВД и ПНД). Далее в главе с результатами на многих представленных зависимостях (рис. 56-59, 66, 67) приведены теоретические кривые, рассчитанные на основе разработанной математической модели и демонстрирующие хорошее соответствие с экспериментальными данными, но при этом не

указано, какие из моделей организации потоков в мембранных модулях ТМК были выбраны для расчётов.

В целом, приведенные выше замечания и вопросы не снижают научную представленность в диссертационной работе результатов и не влияют на положительную ее оценку.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

По объему, актуальности и новизне полученных научных и практических результатов диссертационная работа Атласкина А.А. на тему «Разделение газовых смесей в мембранном каскаде типа «Непрерывная мембранная колонна» является законченным самостоятельным научным исследованием и в полной мере соответствует паспорту специальности 05.17.18 Мембраны и мембранная технология по следующим пунктам:

п.4 - Технологические схемы с применением мембранных процессов, их экономическое и экологическое обоснование;

п.6 - Применение мембранных процессов в промышленности, охране окружающей среды и медицине, в том числе решение проблем водного хозяйства, разделения жидких и газовых смесей, выделения ценных компонентов из сточных вод и газовых выбросов, использование процессов и устройств для поддержания жизнедеятельности человека;

п.7 - Методы расчета и оптимизация режимов работы мембранных аппаратов и систем с целью улучшения конструкции аппаратов и повышения эффективности их работы. Изучение особенностей мембранных систем, таких как концентрационная поляризация, и методов борьбы с этим явлением.

Также работа отвечает всем требованиям п.п. 9 – 14 «Положения ВАК РФ «О порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства от 24 сентября 2013 г. РФ № 842 в редакции Постановления Правительства РФ от 21 апреля 2016 г. № 335 и ее автор, Атласкин Артем Анатольевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.18 Мембраны и мембранная технология (технические науки).

Отзыв на диссертацию рассмотрен и одобрен на заседании расширенного семинара лаборатории «Полимерных мембран» Института нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН, протокол № 304 от 31.10.2020 г.

Владимир Васильевич Волков \_\_\_\_\_

доктор химических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории «Полимерных мембран»

Телефон: 8 (495) 647-59-47 доб. 293

E-mail: vvvolkov@ips.ac.ru

« 06 » ноября 2020 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева Российской академии наук»  
119991, ГСП-1, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 29.

Подпись главного научного сотрудника В.В. Волкова заверяю,

Ученый секретарь ИНХС РАН

к.х.н., доцент Ю.В. Костина



