

ОТЗЫВ

на автореферат кандидатской диссертации Крючкова Сергея Сергеевича «Физико-химические основы мембранно-абсорбционного газоразделения техногенных газов», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.15. Мембраны и мембранная технология (технические науки)

Диссертационная работа Крючкова С.С. посвящена развитию мембранно-абсорбционного газоразделения применительно к задаче выделения аммиака из рециркуляционного газа процесса Габера–Боша. Тематика исследования представляется актуальной и научно значимой, поскольку связана с повышением эффективности одной из ключевых стадий промышленного синтеза аммиака, а именно с более глубоким удалением NH_3 из циркуляционного контура. Как следует из автореферата, наличие остаточного аммиака в рецикле ограничивает термодинамическую эффективность процесса, а традиционное низкотемпературное выделение не обеспечивает требуемой степени извлечения без увеличения энергетических затрат. В этой связи разработка гибридного подхода, сочетающего селективную абсорбцию и мембранный перенос растворенного компонента, является обоснованным и перспективным направлением исследований.

Автором выполнен значительный объем экспериментальных исследований, направленных на выбор эффективных сочетаний системы абсорбент-мембрана, изучение влияния параметров процесса на разделительные характеристики, а также на разработку аппаратного оформления мембранно-абсорбционного аппарата. В автореферате показано, что в работе исследованы газотранспортные характеристики промышленных мембран, сорбционные свойства водных растворов ПЭГ-400, ионных жидкостей и глубоких эвтектических растворителей на основе тиоционата аммония, а также предложена оригинальная половолоконная конфигурация модуля типа «волокно в волокне». Следует отметить, что такая постановка задачи удачно сочетает физико-химический и инженерный аспекты, а сама работа не ограничивается сравнением материалов, а доводится до разработки и экспериментальной апробации устройства.

Научная новизна автореферата прослеживается достаточно ясно. Автором заявлено, что впервые систематически исследован процесс мембранно-абсорбционного выделения аммиака из азотоводородной смеси применительно к условиям процесса Габера–Боша, определены коэффициенты проницаемости и селективности ряда мембран по отношению к NH_3 , N_2 , H_2 , Ar и CH_4 , а также предложена и реализована оригинальная конструкция половолоконного МАГ-модуля. Отдельного внимания заслуживает исследование глубоких эвтектических растворителей на основе NH_4SCN , для которых показаны высокие

сорбционные характеристики по аммиаку и перспективность использования в гибридном процессе.

Практическая значимость работы также обоснована достаточно убедительно. В автореферате приведены результаты, свидетельствующие о возможности снижения концентрации аммиака в модельном рецикле с 4,5 до 1,5 об.% и получения пермеата с содержанием до 97,5 об.% NH_3 . Кроме того, разработанная конфигурация модуля защищена патентом Российской Федерации № 2810484, что подтверждает прикладной характер исследования. Особо следует отметить, что автор рассматривает не только работу в плоскокамерной конфигурации, но и создание волоконного аппарата, то есть предлагает путь к дальнейшему масштабированию и инженерной адаптации разработанного подхода.

Положительное впечатление производит и то, что результаты работы апробированы на международных и всероссийских научных конференциях, а по теме диссертации опубликовано 9 научных работ, в том числе 2 статьи в изданиях, индексируемых в международных базах данных Web of Science и Scopus, а также получен патент на изобретение. Это свидетельствует о достаточной степени научной апробации выполненных исследований.

В содержательном отношении автореферат отражает основные результаты диссертации. Из его текста следует, что автор последовательно рассматривает выбор материалов мембраны и абсорбента, показывает влияние толщины слоя абсорбента на эффективность разделения, исследует работу с ионными жидкостями и глубокими эвтектическими растворителями, а затем переходит к разработке волоконной конфигурации модуля и ее испытаниям на пятикомпонентной смеси, имитирующей состав рециркуляционного газа. Отдельно отмечены данные по кинетике выхода процесса на стационарное состояние, что повышает инженерную ценность выполненной работы. В совокупности это позволяет сделать вывод о логичности структуры исследования и завершенности проделанной научной работы.

После ознакомления с авторефератом возникают следующие замечания и вопросы.

1. Из текста автореферата не в полной мере ясно, насколько устойчивы абсорбенты на основе NH_4SCN при длительной работе и многократных циклах насыщения и возможной регенерации. Поскольку данные системы отнесены автором к числу наиболее перспективных, было бы полезно кратко обозначить ожидаемые ограничения их длительной эксплуатации.


2. Представленные результаты по снижению концентрации аммиака в рецикле и концентрированию NH_3 в пермеате выглядят весьма убедительно, однако в автореферате практически не обсуждается возможный энергетический эффект от внедрения такого узла в

схему синтеза аммиака. Даже укрупненная оценка позволила бы лучше показать прикладной потенциал работы.

3. Было бы интересно видеть более явное сопоставление плоскокамерной и волоконной конфигураций не только по концентрационным показателям, но и по производительности процесса, что позволило бы нагляднее показать преимущества разработанного модуля типа «волокно в волокне».


Высказанные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы. Автореферат и опубликованные работы автора позволяют заключить, что диссертация Крючкова Сергея Сергеевича является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная задача в области мембранной технологии и гибридных процессов газоразделения, имеющая как теоретическое, так и практическое значение. По своему содержанию работа соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, определенным Положением о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», утвержденным приказом и.о. ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева от 14.09.2023 г. № 103ОД, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.15 Мембраны и мембранная технология.

Профессор кафедры физической химии
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет»,
доктор химических наук (02.00.05 – Электрохимия), доцент

 Светлана Алексеевна Шкирская
13 апреля 2026

Телефон: +7-861-2199573
E-mail: shkirskaia@mail.ru
Адрес: 350040, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный университет»

Я, Шкирская Светлана Алексеевна, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

 С.А. Шкирская

