

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 разработке мембранно-абсорбционного процесса выделения аммиака из рециркуляционного газа процесса Габера-Боша. Работа представляет интерес прежде всего тем, что в ней решается не частная задача подбора эффективной мембраны или сорбента, а более сложная задача согласования физических, химических и конструктивных факторов в рамках единого гибридного процесса. Именно такой подход представляется особенно актуальным для современной мембранной технологии, поскольку в практических условиях эффективность разделения определяется не отдельным материалом, а архитектурой всей системы.

Актуальность темы не вызывает сомнений. Очистка циркуляционного газа от остаточного аммиака напрямую связана с эффективностью замкнутого контура синтеза NH_3 . При этом традиционные методы выделения аммиака за счет охлаждения и конденсации связаны с возрастанием энергетических затрат при необходимости более глубокой очистки. В этой связи разработка совмещенного процесса, в котором селективное поглощение аммиака жидкой фазой усиливает мембранное разделение, представляется своевременной и технологически обоснованной. Принципиально важно, что автор рассматривает этот подход не только как способ улучшения разделения, но и как основу для создания более управляемой системы выделения NH_3 из сложной газовой смеси.

Существенным достоинством работы является последовательность ее построения. Исследование развивается от простых модельных систем к более сложным, причем автор не ограничивается бинарными смесями NH_3/N_2 и NH_3/H_2 , а переходит к многокомпонентной смеси, моделирующей состав потока рецикла. Такой ход исследования представляется методически правильным, поскольку позволяет сначала выявить базовые закономерности массопереноса, а затем проверить, сохраняются ли они в системе, близкой к реальному технологическому объекту. В этом состоит одна из сильных сторон диссертации.

Научная новизна работы, на мой взгляд, определяется не только получением новых экспериментальных данных, но и самим способом их организации. Автор показывает, что мембранно-абсорбционный процесс необходимо рассматривать как систему с несколькими независимыми параметрами управления. К числу таких параметров отнесены природа мембранного материала, состав жидкой фазы, толщина слоя сорбента, конфигурация

модуля и режим продувки полости низкого давления. Особенно важным представляется вывод о том, что толщина слоя абсорбента влияет на разделительные характеристики не менее существенно, чем химическая природа сорбента. Такой результат имеет методическое значение, поскольку переводит обсуждение процесса из плоскости подбора веществ в плоскость инженерного конструирования.

Стдельно следует отметить, что в работе убедительно показан переход от плоскокамерной схемы к волоконной конфигурации. Важен не только сам факт разработки модуля типа «волокно в волокне», но и то, что такая конструкция появляется в логике работы как ответ на ограничения более простой экспериментальной схемы. Это придает диссертации внутреннюю цельность. В хорошо выполненном исследовании новая конструкция должна быть не случайной, а вытекающей из анализа ранее полученных результатов, что и показано в работе.

Теоретическая значимость работы заключается в развитии представлений о мембранно-абсорбционном выделении аммиака как о едином гибридном процессе, в котором разделительный эффект определяется совместным влиянием свойств мембраны, жидкой фазы, толщины абсорбционного слоя и режимных параметров. Полученные результаты расширяют научные представления о закономерностях массопереноса в таких системах и могут служить основой для их дальнейшей оптимизации.

Практическая значимость диссертации связана, как представляется, прежде всего с тем, что автор доводит исследование до режима, приближенного к реальному процессу. Важным является не просто получение высоких концентраций аммиака в пермеате, а то, что эффективность работы модуля исследуется в разных режимах продувки, включая использование смеси H_2/N_2 . Это позволяет оценивать предложенный подход не как лабораторный эффект, а как возможный элемент технологической схемы. Также следует положительно оценить внимание автора к переходным режимам: изучение кинетики выхода на стационарное состояние существенно усиливает прикладной характер работы, поскольку для реального использования мембранного аппарата важно знать не только стационарные характеристики, но и динамику его работы.

Следует отметить и достаточную апробацию результатов. По теме диссертации опубликовано 9 научных работ, включая статьи в изданиях, индексируемых в Web of Science и Scopus, а основные положения представлены на международных и всероссийских научных конференциях. Это свидетельствует о том, что результаты исследования прошли необходимую научную проверку.

По автореферату имеются следующие замечания.

1. Из представленного текста автореферата не вполне ясно, какой критерий принимался за целевую функцию при оптимизации рабочего режима волоконного модуля: достижение предельной концентрации аммиака в пермеате, минимизация его

потерь с потоком ретентата или обеспечение максимальной временной стабильности процесса. Желательно более четко обозначить приоритетность данных параметров для практической реализации метода МАГ.

2. Представляется целесообразным более детально осветить влияние инертных компонентов (в частности, аргона и метана), на общую эффективность мембранно-абсорбционного процесса и на выбор режима его проведения.

3. В работе получен большой массив данных по новым мембранно-абсорбционным системам. Было бы полезно более отчетливо дифференцировать результаты исследования: выделить фундаментальные закономерности массопереноса, универсальные для гибридных МАГ-процессов, и специфические прикладные выводы, характерные исключительно для задачи выделения аммиака из рециркуляционного газа процесса Габера–Боша.

Сделанные замечания не снижают общей положительной оценки работы. По материалам автореферата можно заключить, что диссертация Крючкова Сергея Сергеевича представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой решена актуальная задача в области мембранной технологии и гибридных процессов разделения газовых смесей. Работа обладает научной новизной, имеет теоретическую и практическую значимость и 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, Крючков Сергей Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.15 Мембраны и мембранная технология.

кандидат химических наук (1.4.8. Химия элементоорганических соединений)

ведущий научный сотрудник НИЛ инженерной химии

Научно-исследовательский институт химии

Нижегородский государственный

университет им. Н.И. Лобачевского (ННГУ)

Ольга Викторовна Казарина

«14» апреля 2026г.

Контактные данные:

e-mail: kazarina@unn.ru

телефон: +7-920-001-7305

Место работы: ННГУ им. Н.И. Лобачевского

адрес: 603022, Нижний Новгород, пр. Гагарина, д.23, корп. 5

