

## ОТЗЫВ

на автореферат кандидатской диссертации Крючкова Сергея Сергеевича

«Физико-химические основы мембранно-абсорбционного газоразделения техногенных газов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.15. Мембраны и мембранная технология (технические науки)

Автореферат диссертации Крючкова С.С. посвящен разработке мембранно-абсорбционного подхода к выделению аммиака из технологических газовых смесей. Работа выполнена на актуальную тему, находящуюся на стыке мембранной технологии, физической химии массопереноса и химической технологии. Ее актуальность определяется не только значимостью задачи очистки рециркуляционного газа процесса синтеза аммиака, но и тем, что в работе рассматривается более широкий научный вопрос: каким образом можно перейти от эмпирического подбора условий гибридного процесса к его осмысленному проектированию на основе физико-химических закономерностей.

Сильной стороной автореферата является логика исследования. Автор последовательно рассматривает мембранно-абсорбционное газоразделение как единую систему, в которой итоговый эффект определяется не одним фактором, а совокупностью транспортных свойств мембраны, параметров жидкой фазы, геометрии массообменной зоны и режимных условий. Такой подход представляется методически зрелым и свидетельствует о глубоком понимании природы исследуемого процесса.

Научный интерес работы связан прежде всего с тем, что автору удалось выделить управляемые параметры мембранно-абсорбционного разделения. В автореферате показано, что толщина жидкого слоя является не просто конструктивной характеристикой, а самостоятельным параметром, влияющим на разделительные свойства системы. Не менее важным представляется и переход от плоскокамерной схемы к половолоконной конфигурации, причем этот переход в работе не декларируется формально, а логично вытекает из анализа ограничений более простых вариантов. В результате автор приходит к конструктивному решению, которое имеет не только лабораторное, но и инженерное значение.

Следует положительно оценить и то, что в автореферате внимание уделено не только стационарным характеристикам процесса, но и его динамике. Для мембранных и гибридных систем именно переходные режимы нередко оказываются принципиально важными с точки зрения последующего практического применения. Тот факт, что автор исследует выход процесса на стационарное состояние, позволяет рассматривать полученные результаты как более глубокие и содержательные.

Научная новизна работы заключается в систематическом исследовании мембранно-абсорбционного выделения аммиака применительно к условиям процесса Габера-Боша, в установлении роли геометрических и режимных параметров в формировании разделительного эффекта, а также в разработке половолоконной конфигурации мембранно-абсорбционного модуля. Существенно, что автор рассматривает исследуемый процесс не только как объект экспериментального наблюдения, но и как систему, для которой могут быть сформулированы критерии выбора материалов, конструкции и режима работы.

Практическая значимость диссертации, на мой взгляд, состоит прежде всего в том, что в ней предложен не частный лабораторный прием, а подход к построению мембранно-абсорбционного аппарата как технологически осмысленной системы. Автореферат показывает, что результаты работы могут быть использованы при дальнейшем развитии компактных мембранных аппаратов для газоразделения, где особенно важны управляемость процесса, воспроизводимость характеристик и возможность согласованного выбора конструкции и режима.

Положительное впечатление производит и уровень апробации результатов. По теме диссертации опубликовано 9 научных работ, включая статьи в рецензируемых международных изданиях, а основные результаты представлены на научных конференциях. Это свидетельствует о том, что работа прошла необходимую научную апробацию.

По автореферату имеются следующие замечания.

1. В автореферате основное внимание уделено экспериментальному исследованию процесса, в то время как теоретическое описание носит более общий характер. В этой связи представляется целесообразным несколько подробнее раскрыть используемые представления о механизме массопереноса в системе «газ – жидкость – мембрана» и показать, каким образом они соотносятся с полученными экспериментальными результатами.
2. При рассмотрении влияния различных параметров процесса (свойства мембраны, состав абсорбента, толщина жидкого слоя) результаты приведены последовательно и достаточно наглядно. Вместе с тем, было бы полезно дополнительно обсудить их в совокупности, с точки зрения формирования обобщенного подхода к выбору условий проведения мембранно-абсорбционного разделения.
3. В работе предложено конструктивное решение половолоконного модуля, представляющее значительный интерес. В то же время, в автореферате этот результат в большей степени раскрыт с экспериментальной стороны, и представляется желательным более подробно обозначить общие принципы, которые могут быть использованы при дальнейшем масштабировании и инженерной реализации подобных аппаратов.
4. Практическая значимость работы не вызывает сомнений, однако для более полной оценки потенциала предложенного подхода было бы полезно в обобщенном виде сопоставить его с традиционными методами выделения аммиака, в том числе с точки зрения энергетических и технологических характеристик.
5. Рассмотренные в работе модельные газовые смеси адекватно отражают поставленные исследовательские задачи. Вместе с тем, для полноты изложения можно было бы кратко обозначить возможные ограничения и особенности применения предложенного подхода к более сложным по составу промышленным газовым потокам.

Высказанные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы. По материалам автореферата можно заключить, что диссертация Крючкова Сергея Сергеевича является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная задача в области мембранной

технологии и гибридных процессов газоразделения. Работа обладает научной новизной, имеет теоретическое, и практическое значение 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 заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.15 Мембраны и мембранная технология.

Поярков Андрей Александрович  
Кандидат технических наук  
Доцент факультета наук о материалах

Поярков А.А.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»  
Адрес: 119991, Россия, Москва, Ленинские Горы, д. 1, стр. 73  
(лабораторный корпус Б), Факультет наук о материалах  
e-mail [PoyarkovAA@my.msu.ru](mailto:PoyarkovAA@my.msu.ru)  
+7(495)939-45-51

Подпись к.т.н. Пояркова А.А. удостоверяю.  
Ученый секретарь Факультета Наук о Материалах  
к.х.н., ст. преподаватель



Берекчиян М.В.