

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)

Диссертация Крючкова С.С. посвящена разработке мембранно-абсорбционного способа выделения аммиака из рециркуляционного газа процесса Габера–Боша. Работа выполнена на актуальную тему, представляющую интерес как для мембранной технологии, так и для химической технологии в целом. Проблема остаточного содержания аммиака в циркуляционном газе хорошо известна для промышленных схем синтеза NH_3 , поскольку она влияет на эффективность замкнутого контура, степень превращения исходных реагентов и нагрузку на узел охлаждения и конденсации. Поэтому поиск решений, позволяющих углубить удаление NH_3 без существенного роста энергозатрат, является важной научно-технической задачей. В этом отношении предложенный автором гибридный подход, основанный на сочетании селективной абсорбции и мембранного переноса, представляется перспективным и практически значимым.

Диссертация производит благоприятное впечатление тем, что работа построена не вокруг одной частной идеи, а как последовательное исследование целого комплекса взаимосвязанных факторов. Автор не ограничивается выбором мембраны или абсорбента, а рассматривает мембранно-абсорбционное газоразделение как систему, эффективность которой определяется одновременно транспортными свойствами полимерной мембраны, сорбционной способностью жидкой фазы, геометрией жидкого слоя и конструкцией аппарата. Такой уровень постановки задачи представляется методически правильным и научно зрелым.

К числу значимых результатов следует отнести обоснованный выбор полисульфоновой мембраны как наиболее перспективной по совокупности характеристик, включая проницаемость по аммиаку и технологичность. Важным представляется и то, что автор не ограничивается сравнением абсорбентов по максимальной эффективности, а показывает различие их поведения в процессе. В автореферате выделены глубокие эвтектические растворители $\text{NH}_4\text{SCN}:\text{Urea}$ и $\text{NH}_4\text{SCN}:\text{EG}$, причем один из них обеспечивает более устойчивое протекание процесса, а другой — более выраженный эффект выделения аммиака. Это позволяет говорить о содержательном подходе к выбору рабочей среды, а не о формальном сопоставлении результатов.

С научной точки зрения интересен и результат, связанный с влиянием толщины жидкого слоя на фактор разделения. Автор показывает, что этот параметр является не второстепенным геометрическим фактором, а важным инструментом управления процессом. Установление оптимальной толщины слоя абсорбента является полезным как для понимания механизма массопереноса, так и для проектирования мембранно-абсорбционных устройств.

Существенным достоинством работы следует считать переход от лабораторной плоскокамерной схемы к разработке полуволоконного модуля типа «волокно в волокне». Автореферат показывает, что выбор именно этой конфигурации был результатом последовательного анализа нескольких конструктивных вариантов. При этом автор учитывает не только производительность, но и сохранение селективности, что особенно важно для практического применения.

Практическая значимость работы, на мой взгляд, определяется не только созданием лабораторного образца модуля и получением высоких концентраций NH_3 в пермеате, но и тем, что автор фактически формирует принципы проектирования мембранно-абсорбционного узла для подобных задач. В автореферате показано, как выбор мембраны, абсорбента, толщины жидкого слоя и режима продувки влияет на итоговый результат. Особенно важно, что исследованы режимы продувки как инертным газом, так и азотоводородной смесью, то есть рассмотрены условия, более близкие к реальной технологической схеме. Это усиливает прикладное значение выполненного исследования.

Следует также отметить, что автор уделяет внимание не только установившимся характеристикам процесса, но и динамике выхода на стационарный режим. Такой результат представляет интерес с точки зрения последующей инженерной реализации и управления процессом.

Автореферат свидетельствует о достаточной апробации результатов. По теме диссертации опубликовано 9 научных работ, включая статьи в рецензируемых международных изданиях, а основные результаты доложены на научных конференциях.

По автореферату имеются следующие замечания.

1. Хотелось бы видеть более явное обсуждение перспектив масштабирования полуволоконного модуля и перехода от лабораторной конструкции к аппарату большей производительности.

2. Представляется важным более четко обозначить, как соотносятся между собой критерии оптимизации процесса: максимальная чистота пермеата, степень извлечения аммиака и устойчивость режима.

3. В автореферате недостаточно отражен вопрос о долговременной стабильности наиболее эффективных абсорбентов при продолжительной эксплуатации.

Высказанные замечания не влияют на общую положительную оценку работы. Автореферат позволяет 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, Крючков Сергей Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.15. Мембраны и мембранная технология.

к.х.н., доцент
кафедры аналитической химии
Института химии
Санкт-Петербургского государственного университета
Тел.: +79818843204
e-mail: m.dmitrienko@spbu.ru
198504, г. Санкт-петербург, Петергоф, Университетский проспект, д. 26

М.Е. Дмитренко

13 апреля 2026

Подпись Марии Евгеньевны Дмитренко заверяю

И.о. начальника
отдела кадров № 3
И.И. Константинова

