

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента на диссертационную работу

**АТЛАСКИНОЙ Марии Евгеньевны**

на тему: «**Физико-химические основы технологии мембранно - абсорбционного**

**газоразделения (МАГ) для удаления диоксида углерода**

**из метансодержащих газовых смесей»,**

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности

2.6.15. Мембраны и мембранная технология (технические науки)

### **Общая характеристика работы**

Диссертационная работа Атласкиной М.Е. посвящена разработке технологии удаления диоксида углерода из метансодержащих газовых смесей путем создания новых эффективных абсорбентов и применения их в новом гибридном разделительном процессе – мембранно-абсорбционное газоразделение. В рамках работы были синтезированы и охарактеризованы 6 новых ионных жидкостей для поглощения диоксида углерода. Определены их сорбционные свойства по отношению к  $\text{CO}_2$ . Определено наиболее эффективное соотношение компонентов абсорбционных растворов на основе метилдиэтанолamina с ионными жидкостями. Проведена оценка их сорбционной емкости по отношению к индивидуальным газам и к компонентам газовых смесей. Кроме того, был разработан и апробирован мембранно-абсорбционный модуль на плоской полимерной мембране с использованием различным абсорбентов. Далее было предложено использование новой конфигурации модуля на основе полуволоконных мембран и выполнена оценка эффективности применения в мембранно-абсорбционном модуле полученных в работе растворов в качестве абсорбентов.

### **Актуальность работы**

В настоящее время поиск новых и оптимизация существующих технологий переработки газов является актуальной задачей. В качестве альтернативы традиционной энергоемкой технологии, основанной на химической абсорбции, может быть рассмотрена технология мембранно-абсорбционного газоразделения, характеризующаяся сравнительно низким энергопотреблением, возможностью проведения процесса при комнатной температуре и в отсутствие фазовых переходов. Кроме того, предлагаемая технология сочетает в себе как мембранное газоразделение, так и химическую абсорбцию газов. В работе Атласкиной М.Е. содержится большое количество экспериментальных результатов определения сорбционных свойств абсорбционных растворов. Проведен синтез ионных соединений на основе алканолamina с экологичными анионами, что является актуальной задачей в рамках концепции «зеленая химия». Был разработан и апробирован мембранно-абсорбционный газоразделительный модуль на основе плоской мембраны. Так же было предложено

использование МАГ модуля на основе полуволоконных мембран в задачах удаления диоксида углерода. Была проведена оценка эффективности МАГ метода с применением водного раствора МДЭА, содержащего в качестве повышающего эффективность сорбции компонента – синтезированную ионную жидкость [BHEDMA][Gly].

Таким образом, диссертационная работа Атласкиной М.Е., которая посвящена комплексному подходу к решению проблемы удаления диоксида углерода из метансодержащих газовых смесей, несомненно, является актуальной.

### **Научная новизна**

В рамках диссертационной работы были созданы абсорбционные растворы на основе аминспирта и синтезированных ионных жидкостей. В результате экспериментальной оценки их сорбционной емкости были определены наиболее перспективные составы растворов.

Получены зависимости сорбционной емкости растворов от массовой доли ионного компонента. Разработан и апробирован новый мембранно-абсорбционный модуль на плоской мембране. Получены экспериментальные результаты по оценке эффективности применения новых абсорбентов в процессе мембранно-абсорбционного газоразделения на примере разделения 2 газовых смесей (8-ми компонентная газовая смесь приближена по составу к природному газу).

### **Практическая значимость работы**

Полученные результаты имеют практическую ценность для оптимизации традиционного метода очистки природного газа от кислых газов – аминовая очистка за счет разработки новых абсорбентов кислых газов, а также за счет возможности внедрения дополнительного мембранно-абсорбционного газоразделительного модуля в реальные технологические схемы. Предлагаемая технология характеризуется высокой степенью извлечения углеводородов (до 99 %) и позволяет получить газовый поток с низким содержанием диоксида углерода (0.07 мол.%).

### **Достоверность результатов и выводов**

Достоверность полученных результатов не вызывает сомнений, так как работа выполнена с использованием современного аналитического оборудования. Результаты являются воспроизводимыми и не противоречат друг другу и известным сведениям. Выводы, сформулированные на основании полученных данных, не противоречат им и полностью соответствуют цели исследования.

### **Содержание**

Диссертационная работа Атласкиной М.Е. состоит из введения, 3 глав, заключения, списка публикаций по теме диссертационной работы и списка литературы, содержащего 150 наименований. Основное содержание работы изложено на 116 страницах машинописного текста и содержит 53 рисунка и 21 таблицу.

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулирована цель диссертационной работы и приведены задачи, которые были решены в ходе работы. Полностью отражена научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы. Обоснована надежность и достоверность полученных результатов, а также личный вклад автора в диссертационную работу.

В **первой главе** приведен литературный обзор применяемых методов очистки природного газа от кислых газов. В тексте обоснован выбор состава синтезированных ионных жидкостей. Диссертантом систематизирован большой массив опубликованных данных по сорбентам кислых газов.

Во **второй главе** представлено детальное описание экспериментальных установок и методик, в том числе приведено описание оригинального подхода к изучению сорбционных свойств растворов к компонентам в газовых смесях. Подробно описаны конфигурации мембранно-абсорбционных модулей и методики проведения экспериментальных исследований.

В **третьей главе** представлены и обсуждены результаты синтеза ионных жидкостей и оценка их сорбционных свойств по отношению к индивидуальным газам. Проведено сравнение сорбционных свойств синтезированных соединений и выбран наиболее перспективный для дальнейшего исследования.

Далее была выполнена апробация мембранно-абсорбционного газоразделительного радиального модуля на плоской мембране на примере разделения двух бинарных газовых смесей. В качестве абсорбента были использованы растворы метилдиэтанолamina, содержащие синтезированную и коммерческие ионные жидкости.

Затем, с целью оптимизации процесса было предложено использование новой конфигурации газоразделительного модуля – на полых волокнах, а также были синтезированы 3 новые ионные жидкости, для снижения затрат на синтез абсорбентов.

Описаны результаты экспериментального определения сорбционной емкости растворов с ионными жидкостями (как по отношению к индивидуальным газам, так и по компонентам газовых смесей) и выявлен наиболее перспективный компонентный состав абсорбционного раствора.

Далее была выполнена экспериментальная оценка эффективности применения нового абсорбента в процессе мембранно-абсорбционного газоразделения на примере разделения трехкомпонентной и восьмикомпонентной газовой системы, наиболее приближенной по составу к природному газу. Была продемонстрирована возможность снижения концентрации диоксида углерода в потоке ретентата с 5.35 до 0.04 мол.% в случае разделения трехкомпонентной газовой системы. В случае разделения восьмикомпонентной газовой смеси удалось снизить концентрацию диоксида углерода с 5.40 до 0.07 мол.%, и сероводорода – с

1.39 до 0.23 мол.%. Кроме того, еще одним преимуществом является концентрирование в абсорбенте такого ценного продукта, как ксенон. На протяжении всего эксперимента при различных значениях доли отбора, его концентрация в потоке пермеата была ниже предела обнаружения газового хроматографа, что говорит о том, что потери этого компонента не происходило.

В **заключении** диссертационной работы автор подводит итоги проделанной работы.

Работа прошла необходимую апробацию. Результаты были представлены на 6 всероссийских и международных конференциях. По материалам диссертации опубликованы 3 статьи в журналах первого и второго квартала, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus. Автореферат диссертации и опубликованные работы полностью отражают основное содержание работы.

Автор диссертации провел большую научную работу, включающую определение целей и задач, анализ литературных данных, а также весь объем экспериментальных и теоретических исследований и интерпретации полученных результатов, тем самым проявив себя как высококвалифицированный исследователь. Результаты работы, несомненно, имеют большое значение для развития как мембранной технологии, так и химической технологии в целом с фундаментальной и прикладной точек зрения.

При прочтении диссертации возникает ряд вопросов и замечаний, ответы на которые могут иметь достаточно важное значение:

1. В разделе 2.9 «Оценка эффективности мембранно-абсорбционного метода газоразделения на примере полволоконного модуля» не приведены размеры газоразделительного модуля. Неясно, каково общее число газоразделительных волокон помещено в модуль? Какой объем абсорбента необходим для заполнения межмембранного пространства?

2. В этом же разделе (2.9) отсутствует обоснование выбранных условий проведения процесса мембранно-абсорбционного газоразделения. Чем обоснован выбор давления питающей смеси – 0.4 МПа.

3. Было бы интересно сравнить системы МДЭА 50%/вода 50% и МДЭА 30%/вода 50%/[BHEDMA][Gly] 20%, вместо системы МДЭА 30%/вода 70% и МДЭА 30%/вода 50%/[BHEDMA][Gly] 20%.

Замечания к работе не имеют принципиального характера и не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы. Представленная Атласкиной М.Е. работа является актуальной, законченной по характеру исследований в рамках поставленных задач и выполненной на высоком уровне. Экспериментальный материал получен с помощью современного аналитического оборудования и является достоверным и оригинальным. Подходы к исследованию хорошо продуманы. Интерпретация результатов выполнена на

основе современных научных представлений в области исследования мембранной и химической технологии.

Диссертационная работа Атласкиной Марии Евгеньевны на тему «Физико-химические основы технологии мембранно - абсорбционного газоразделения (МАГ) для удаления диоксида углерода из метансодержащих газовых смесей» по объему, актуальности, научной новизне, практической и теоретической значимости удовлетворяет требованиям 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 присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.15 Мембраны и мембранная технология.

Работа полностью соответствует паспорту специальности 2.6.15 Мембраны и мембранные технологии (п.5 мембранные процессы очистки, извлечения (кондиционирования) жидких и газообразных энергоносителей из смесей их содержащих природного, биогенного и техногенного происхождения. Комбинированные и гибридные процессы мембранной технологии (сочетание мембранных процессов с другими процессами химической технологии: абсорбцией, адсорбцией, ректификацией, дистилляцией); 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.).

Дибров Георгий Альбертович,  
к.х.н. (специальность 05.17.18 – мембраны и мембранная технология),  
Доцент кафедры Мембранной технологии  
«ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева»  
125047, г. Москва, Миусская площадь, 9, стр. 6  
тел. +7 (499) 978-95-08  
e-mail: [dibrov.g.a@muctr.ru](mailto:dibrov.g.a@muctr.ru)

20.11.2023

  
Г.А. Дибров

тел.: +7 (499) 978-86-60

Подпись сотрудника РХТУ им. Д.И. Менделеева Диброва Г.А. удостоверяю:

Макаров Н.А.

