

«УТВЕРЖДАЮ»  
Директор Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки Ордена  
Трудового Красного Знамени  
Института нефтехимического синтеза  
им. А.В. Топчиева Российской академии  
наук



А.Л. Максимов

«17» *ноября* 2023 г.

### ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

**Федерального государственного бюджетного учреждения науки Ордена  
Трудового Красного Знамени Института нефтехимического синтеза  
им. А.В. Топчиева Российской академии наук (ИНХС РАН)  
на диссертационную работу Атласкиной Марии Евгеньевны «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»**

#### **Актуальность исследования**

Интенсификация процессов газопереработки без повышения нагрузки на экологию является важной задачей химической технологии. Она возможна за счет оптимизации существующих технологий или разработки новых подходов. Использование мембранной технологии для замены традиционных энергоемких процессов абсорбционной очистки газовых смесей от диоксида углерода является весьма перспективным направлением.

Диссертационная работа Атласкиной М.Е. посвящена применению нового гибридного метода – мембранно-абсорбционного газоразделения (МАГ), основанного на сочетании химической абсорбции газов и мембранного газоразделения, для решения задач удаления диоксида углерода из метансодержащих газовых смесей. Этот метод сочетает в себе преимущества абсорбции газов жидкими абсорбентами (высокая селективность по диоксиду углерода) и мембранных газоразделительных процессов (компактность,

модульность, отсутствие фазовых переходов) при реализации разделения газов в объеме одного массообменного аппарата.

В работе были получены новые абсорбенты диоксида углерода на основе традиционно применяемого в промышленности раствора N-метилдиэтанолamina (МДЭА) в воде с добавками синтезированных в рамках данного исследования ионных жидкостей, обеспечивших повышение сорбционной емкости абсорбента по  $\text{CO}_2$ . В работе проведена оценка эффективности процесса мембранно-абсорбционного газоразделения, реализованного с применением двух типов мембранных модулей (плоскорамный и полволоконный) с разработанными абсорбентами в процессе разделения трех- и восьмикомпонентных газовых смесей, последняя из которых близка по составу к природному газу.

Таким образом, диссертационная работа Атласкиной М.Е. на тему «Физико-химические основы технологии мембранно – абсорбционного газоразделения (МАГ) для удаления диоксида углерода из метансодержащих газовых смесей» является актуальной.

### **Анализ содержания диссертационной работы**

Диссертация Атласкиной М.Е. состоит из введения, трех глав (обзор литературных источников, описание методов и подходов, используемых в работе, обсуждение полученных результатов), заключения и списка литературы. Работа изложена на 116 страницах и содержит 53 рисунка и 21 таблицу.

Во **введении** представлена общая характеристика работы, обозначена ее актуальность, определена основная цель исследования и изложены решаемые задачи, обоснована научная новизна, теоретическая и практическая значимость. Представлен личный вклад автора, апробация работы и степень достоверности результатов.

В **первой главе** представлено современное состояние вопроса очистки газовых смесей от примесей кислых газов (диоксид углерода и сероводород).

Во **второй главе** полно и подробно изложены экспериментальные методики, описаны оборудование и материалы, использованные в работе.

В **третьей главе** изложены результаты работы и представлено их обсуждение. В этом разделе диссертации обсуждаются результаты экспериментального определения сорбционных свойств синтезированных ионных жидкостей и комбинированных абсорбционных растворов. Получены зависимости сорбционной емкости по диоксиду углерода абсорбционных растворов от доли ионного компонента. Описаны и обсуждены результаты апробации МАГ модуля с плоской мембраной на примере разделения двух

бинарных газовых смесей. Описаны и обсуждены результаты разделения 3-х и 8-ми компонентных газовых смесей в полволоконном МАГ модуле с использованием в качестве абсорбента водного раствора МДЭА с добавлением синтезированного глицината бис(2-гидроксиэтил)диметиламмония, и без него.

В **заключении** приведены ключевые результаты, полученные в рамках исследования, среди которых стоит выделить самые значимые:

1. Впервые синтезированы ионные соединения бис(2-этилгексил)сульфосукцинат 1-гексилпиридиния ( $[\text{HPyr}][\text{Doc}]$ ), бис(2-этилгексил)сульфосукцинат 1-этил-1-метилпирролидиния ( $[\text{EMPyrr}][\text{Doc}]$ ), индазолид тригексилтетрадецилфосфония ( $[\text{P}_{66614}][\text{Inda}]$ ), глицинат бис(2-гидроксиэтил) диметиламмония ( $[\text{BHEDMA}][\text{Gly}]$ ). Определена растворимость диоксида углерода в синтезированных соединениях. Анализ полученных результатов показал, что наиболее эффективными ионными жидкостями для задачи повышения сорбционной емкости традиционных абсорбентов диоксида углерода являются  $[\text{P}_{66614}][\text{Inda}]$  и  $[\text{BHEDMA}][\text{Gly}]$ .

2. Получены новые абсорбционные жидкости на основе водных растворов МДЭА с добавками ионной жидкости  $[\text{BHEDMA}][\text{Tau}]$  и  $[\text{BHEDMA}][\text{Gly}]$ . Показано, что сорбционная емкость водных растворов МДЭА может быть увеличена в 1,1 и 2 раза при добавлении 20 масс.%,  $[\text{BHEDMA}][\text{Tau}]$  и  $[\text{BHEDMA}][\text{Gly}]$ , соответственно.

3. Впервые определена эффективность абсорбентов с добавлением синтезированных ионных жидкостей в процессе удаления кислых газов из метансодержащих газовых смесей с использованием полволоконного МАГ модуля. Проведение процесса при использовании водного раствора МДЭА, содержащего 20 мас.%  $[\text{BHEDMA}][\text{Gly}]$ , обеспечивает снижение концентрации диоксида углерода в ретентате почти в 134 раза (с 5,35 до 0,04 мол. %) при разделении трехкомпонентной газовой смеси, а также в 77 раз (с 5,40 до 0,07 мол. %) при разделении восьмикомпонентной газовой смеси, моделирующей состав природного газа.

### **Практическая значимость**

Результаты работы имеют ценность для оптимизации традиционных абсорбционных методов очистки метансодержащих газовых смесей от диоксида углерода за счет применения новых абсорбентов, разработанных в рамках представленной диссертационной работы, а также за счет использования в технологических схемах дополнительных компактных мембранно-абсорбционных газоразделительных модулей.

### **Достоверность и обоснованность результатов**

Результаты диссертационной работы и выводы, сделанные на их основе, подкреплены системным анализом как отечественных, так и зарубежных литературных источников в области химической технологии и мембранного газоразделения. Результаты получены с использованием современного аналитического оборудования и воспроизводимы, их интерпретация логична и обоснована.

По материалам диссертационной работы были опубликованы 3 статьи в рецензируемых научных журналах (Separation and Purification Technology, Environments и Membranes), и 6 тезисов докладов в сборниках трудов российских и международных научных конференций. По результатам работы получен 1 патент РФ на изобретение. Опубликованные работы и автореферат диссертации полностью отражают основное содержание работы.

### **Вопросы и замечания по диссертационной работе**

По диссертационной работе имеется ряд вопросов и замечаний:

1. В работе не представлено сравнение разработанного мембранно-абсорбционного метода газоразделения с классическим методом абсорбции водными растворами алканоламинов.

2. Каким образом в МАГ модуле реализуется десорбция растворенных газов?

3. Каково отношение площади мембраны к объему МАГ аппарата в плоскостном и полволоконном вариантах? Каково отношение объема абсорбента к объему очищаемого газа в этих случаях?

4. Возможно ли масштабирование метода мембранно-абсорбционного газоразделения по аналогии с традиционными мембранными методами?

5. В работе сделан акцент на удаление диоксида углерода из природного газа, однако природный газ поступает на объекты газопереработки под давлением до 100 атмосфер. Декомпрессия газового потока является нежелательной, поскольку в дальнейшем потребуются его повторное компримирование, что достаточно энергозатратно. Какое давление способна выдержать предлагаемая МАГ система?

6. Для каких разделительных задач предпочтительно использование полосторамных мембранно-абсорбционных газоразделительных модулей, а для каких – полволоконных модулей?

В целом, приведенные выше замечания и вопросы не снижают научную значимость представленных в диссертационной работе результатов и не влияют на ее положительную оценку.

## Заключение

По тематике, методам исследования и полученным результатам диссертационная работа Атласкиной М.Е. на тему «Физико-химические основы технологии мембранно – абсорбционного газоразделения (МАГ) для удаления диоксида углерода из метансодержащих газовых смесей» соответствует паспорту специальности научных работников 2.6.15. Мембраны и мембранная технология (технические науки) в 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)» и п.7 «Методы расчета и оптимизация режимов работы мембранных аппаратов и систем с целью улучшения конструкции аппаратов, мембранных модулей и повышения эффективности их работы. Изучение особенностей мембранных систем, таких как концентрационная поляризация, засорение и старение мембран, и методов борьбы с этими явлениями».

Также работа 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.

Доклад соискателя был обсужден на заседании секции ученого совета ИНХС РАН 16 октября 2023 г., протокол № 5.

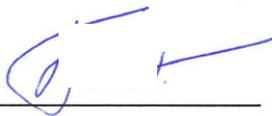
Владимир Васильевич Волков

доктор химических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории «Полимерных мембран» Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Ордена Трудового Красного Знамени Институт нефтехимического

г. А.В. Топчиева Российской академии наук»

«17» ноября 2023 г.

Баженов Степан Дмитриевич



кандидат химических наук, заведующий лабораторией «Извлечение и утилизация диоксида углерода» Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Ордена Трудового Красного Знамени Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева Российской академии наук»

«17» ноября 2023 г.

Контактная информация:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Трудового Красного Знамени Институт нефтехимического синтеза им. А.В.Топчиева Российской академии наук (ИНХС РАН)

119991, ГСП-1, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 29.

Телефон: +7 495 647 59 27 доб. 293

E-mail: [yvvolkov@ips.ac.ru](mailto:yvvolkov@ips.ac.ru); [sbazhenov@ips.ac.ru](mailto:sbazhenov@ips.ac.ru)

Подписи В.В. Волкова и С.Д. Баженова заверяю

Ученый секретарь



д.х.н., доцент Костина Ю.В.