

УТВЕРЖДАЮ

Директор ФГБУН Института
теоретической и прикладной механики

им. С.А. Христиановича

доктор физико-математических наук,

чл.-корр. РАН

« 14 » г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук.

Диссертация «Экспериментальное исследование избирательной проницаемости полых микросферических частиц и сорбента на их основе по отношению к гелию» Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук.

В период подготовки диссертации соискатель Казанин Иван Викторович работал в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук в лаборатории № 4 «Физики быстропротекающих процессов» в должности лаборанта и младшего научного сотрудника.

В 2011 г. окончил физический факультет Новосибирского Государственного Университета по направлению «физика», специализация – «физическая механика жидкости и газа». В 2014 г. окончил аспирантуру в Институте теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук по специальности 01.02.05 – «механика жидкости, газа и плазмы».

Справка о сдаче кандидатских экзаменов № 755 от 18 июня 2019 г. выдана Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Институтом теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук.

Научный руководитель: кандидат физико-математических наук, доцент Зиновьев Виталий Николаевич, начальник отдела Управления организации научных исследований Федерального государственного бюджетного учреждения «Сибирского отделения Российской академии наук», по совместительству старший научный сотрудник лаборатории №5 «Гиперзвуковых технологий» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

- 1. Диссертация посвящена** экспериментальному исследованию проницаемости полых микросферических частиц и сорбента на их основе по отношению к гелию.
- 2. Актуальность темы.**

Основным способом, применяемым в настоящее время для извлечения гелия из природного газа, является криогенный метод. Суть этого метода заключается в использовании различных температур сжижения компонент газовой смеси для их разделения при охлаждении исходной газовой смеси. Однако, в литературе указываются два основных недостатка криогенной технологии, первый – большие затраты на строительство заводов/установок (работа при криогенных условиях требует специальных материалов, сложных контрольно-измерительных приборов и т. д.), второй – значительные энергозатраты на охлаждение и сжижение компонентов природного газа.

В связи с этим часто обсуждается актуальность замены криогенного способа получения гелиевого концентрата на некриогенные, поскольку последние были бы намного более экономичными как с точки зрения их сооружения, так и с точки зрения их эксплуатации и технического обслуживания (меньше потребления энергии, быстрота запуска установок, более простая диагностика и ремонт). Существующие некриогенные методы выделения гелия из природного газа, основанные на мембранных и адсорбционных технологиях, не обеспечивают требуемых характеристик по эффективности, производительности и надежности.

Исходя из всего вышесказанного, актуальным представляется задача повышения эффективности технологии извлечения гелия, разработка новых не криогенных способов выделения гелия, которые представляются более выгодными с точки зрения снижения стоимости и повышения эффективности процесса. Во всяком случае, включение этих методов даже в качестве промежуточных стадий в существующие технологические процессы низкотемпературной переработки газа может принести заметное увеличение эффективности, поскольку даже небольшое повышение концентрации гелия в исходном сырье приводит к существенной экономии энергии и расходуемых материалов.

Имеется возможность улучшить характеристики установок для обогащения природного газа. В Институте теоретической и прикладной механики СО РАН предложен мембранно-сорбционный метод выделения гелия, объединяющий в себе мембранную технологию и короткоцикловую адсорбцию. Одной из отличительных особенностей предлагаемого метода, является использование полых микросферических частиц из силикатных материалов в качестве мембранных элементов, стенка которых селективно проницаема для гелия и непроницаема для остальных компонентов природного газа.

Развитие мембранно-сорбционного метода выделения гелия из природного газа, требует создания эффективных сорбентов на основе мембранных элементов с высокой проницаемостью и селективностью по отношению к гелию, высокой механической прочностью, термической стойкостью и высокими эксплуатационными характеристиками.

3. Научная новизна работы.

На базе созданных в ИТПМ СО РАН экспериментальных стендов для проведения исследований сорбционных свойств полых микросферических частиц и гранулированных сорбентов на их основе по отношению к различным газам, в рамках поиска эффективных мембранных элементов впервые исследованы параметры гелиевой проницаемости синтетических полых микросферических частиц.

Определены параметры удельной гелиевой проницаемости для различных типов полых микрочастиц, включая синтетические полые микрочастицы – микросферы и ценосферы – побочный продукт при сжигании угля на ТЭС.

Предложена и апробирована методика получения корректного значения коэффициента гелиевой проницаемости материала стенки синтетических микросфер.

Впервые показана возможность использования синтетических полых микросферических частиц для создания бифункционального композитного сорбента. На основе синтетических микросфер МС-В-1Л и ценосфер НМ-R-5А-0,16 в качестве наполнителя и псевдобемита в качестве связующего материала, созданы образцы композитных сорбентов для извлечения гелия из гелий содержащих смесей (природного газа). Выполнены исследования динамики процессов сорбции и десорбции гелия композитными сорбентами.

4. **Достоверность результатов** обеспечивается использованием в работе традиционных надёжных методов измерения давления и температур. Сравнением данных, полученных в результате многократных экспериментов.
5. **Научная и практическая значимость работы** заключается в том, что результаты исследования сорбционных свойств полых микросферических частиц и композитного сорбента на базе этих частиц, могут быть использованы при практической реализации мембранно-сорбционной технологии выделения гелия из природного газа. Создание эффективного сорбента и его применение в данной технологии позволит снизить энергетические и капитальные затраты при выделении гелия из природного газа. Конкурентоспособность предлагаемой технологии может быть особенно высокой в случае доставки природного газа конечному потребителю через газотранспортные системы. Применение исходных отечественных компонентов при производстве композитного сорбента делает независимой от внешнеэкономических факторов технологию извлечения гелия из природного газа.
6. **Личный вклад автора** заключается в подготовке и создании экспериментальных установок для проведения экспериментов, планировании и разработке методик проведения экспериментов, проведении экспериментов, обработке и представлении экспериментальных данных. На основе полученных экспериментальных данных автором определены параметры гелиевой проницаемости исследуемых образцов сорбентов и проведен анализ полученных данных.

7. Положения, выносимые на защиту:

- Результаты экспериментального исследования гелиевой проницаемости различных типов полых микрочастиц: микросфер и ценосфер, в широком диапазоне давлений и температур.

- Результаты экспериментального исследования сорбционных характеристик гранулированных композитных сорбентов на основе синтетических микросфер МС-В-1Л и ценосфер НМ-R-5А-0,16 НФ в качестве гелиепроницаемого компонента и псевдобемита в качестве связующего материала по отношению к гелию, метану и воздуху.

8. Апробация работы проведена в российских журналах «Вестник НГУ: Физика», «Прикладная механика и техническая физика», «Теплофизика и аэромеханика», а также в зарубежных журналах «Инженерно-физический журнал». Основные результаты диссертационной работы докладывались на российских и международных научных конференциях. В том числе на Международной конференции по методам аэрофизических исследований ISMAR'2012 (Казань, 2012), ISMAR'2014 (Новосибирск, 2014), ISMAR'2016 (Пермь, 2016), ISMAR'2018 (Новосибирск, 2018), на 9 и 10 российском симпозиуме «Проблемы физики ультракоротких процессов в сильнонеравновесных средах» (Абхазия, Новый Афон, 2011 и 2012), на международном симпозиуме PPM'2013 (Турция, Измир, 2013), на XIV и XV Всероссийском семинаре «Динамика Многофазных Сред» (Новосибирск, 2015 и 2017), на XI Всероссийском съезде «Фундаментальные проблемы теоретической и прикладной механики» (Казань, 2015), на XV Минском международном форуме по тепло- и массообмену (Белоруссия, Минск, 2016), на международном симпозиуме ISEM'2016 (Вьетнам, Хошимин, 2016), на международной конференции НЕРСМ'2017 (Новосибирск, 2017), на международной научной студенческой конференции «Студент и научно-технический прогресс» (Россия, Новосибирск, 2010, 2011, 2012 и 2013), на Всероссийской молодежной конференции «Устойчивость и турбулентность течений гомогенных и гетерогенных жидкостей» (Новосибирск, 2010), на Всероссийской конференции «Фундаментальные основы МЕМС- и нанотехнологий» (Новосибирск, 2012), на XII Всероссийской конференции молодых ученых «Проблемы механики: теория, эксперимент и новые

технологии» (Новосибирск-Шерегеш, 2018), на IV международном симпозиуме «Advanced Fluid/Solid Science and Technology in Experimental Mechanics» (Япония, Ниигата, 2009).

9. Публикации. Основные результаты диссертации представлены в 44 печатных работах, 5 из которых находятся в перечне ВАК РФ.

1. Верещагин А.С., Зиновьев В.Н., Пак А.Ю., Казанин И.В., Фомина А.Ф., Лебига В.А., Фомин В.М. Оценка коэффициентов проницаемости стенок микросфер // Вестник НГУ. Серия: Физика. 2010. Том 5, выпуск 2. Стр. 8-16.
2. Верещагин А.С., Казанин И.В., Зиновьев В.Н., Пак А.Ю., Фомина А.Ф., Лебига В.А., Фомин В.М. Математическая модель проницаемости микросфер с учетом их дисперсионного распределения // Прикладная механика и техническая физика. –2013. –Т. 54 No. 2. –С. 88-96.
3. Зиновьев В.Н., Казанин И.В., Пак А.Ю., Верещагин А.С., Лебига В.А., Фомин В.М. Проницаемость полых микросферических мембран по отношению к гелию // Инженерно-физический журнал. –2016. –Т. 89 No. 1. –С. 24-36.
4. Зиновьев В.Н., Казанин И.В., Лебига В.А., Пак А.Ю., Верещагин А.С., Фомин В.М. О совместном выделении паров воды и гелия из природного газа // Теплофизика и аэромеханика. –2016. –Т. 23 No. 5. –С. 771-777.
5. Зиновьев В.Н., Казанин И.В., Лебига В.А., Пак А.Ю., Цибульский Н.Г., Верещагин А.С., Фомин В.М. Экспериментальное определение коэффициента гелиевой проницаемости на примере полых микросферических мембран // Теплофизика и аэромеханика. –2018. –Т. 25 No. 6. –С. 855-865.

Учитывая вышеизложенное, постановили:

Диссертация Казанина И. В. «Экспериментальное исследование избирательной проницаемости полых микросферических частиц и сорбента на их основе по отношению к гелию» удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Опубликованные по теме диссертации научные работы отражают ее содержание.

Диссертация «Экспериментальное исследование избирательной проницаемости полых микросферических частиц и сорбента на их основе по отношению к гелию»

Казанина Ивана Викторовича рекомендуется к защите на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05. – механика жидкости, газа и плазмы.

Заключение принято на заседании семинара «Теоретическая и прикладная механика» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук.

На заседании присутствовали: академик РАН Фомин В.М., чл.-корр. РАН Шиплюк А.Н., д.ф.-м.н. Козлов В.В., д.ф.-м.н. Медведев А.Е., д.т.н. Баев В.К., д.т.н. Гапонов С.А., д.ф.-м.н. Тупикин А.В., д.ф.-м.н. Жаркова Г.М., д.ф.-м.н. Поздняков Г.А., д.ф.-м.н. Немировский Ю.В., к.ф.-м.н. Болеста А.В., к.ф.-м.н. Зиновьев В.Н., к.ф.-м.н. Верещагин А.С. и другие, всего 16 сотрудников с учёной степенью. Результаты голосования: "за" – 16 чел., "против" – 0 чел., "воздержалось" – 0 чел., протокол № 51 от 14 июня 2019 г.

Зам. председателя семинара
Академик РАН

В.М. Фомин

Секретарь семинара
к.ф.-м.н.

Е.И. Головнева