

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЫПУЧИХ СРЕД В АДСОРБЕРЕ

И.В. Казанин, В.Н. Зиновьев, А.С. Верещагин, В.А. Лебига,
А.Ю. Пак, Н.Г. Цибульский, В.М. Фомин

*Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН
630090, ул. Институтская 4/1, Новосибирск, Россия*

Газовые месторождения Восточной Сибири, в первую очередь Ковыктинское и Чаяндинское, располагают огромными ресурсами природного газа, в составе которого содержится гелий. Гелий это инертный газ, обладающий целым рядом уникальных свойств, благодаря чему он широко используется в различных областях науки и техники. В настоящее время промышленное производство гелия осуществляется из природного газа посредством низкотемпературной конденсации, входящих в него углеводородных фракций. Поскольку доля гелия в общем объеме природного газа составляет доли проценты, то это требует значительных энергетических затрат [1]. В качестве замены или дополнения криогенной технологии выделения гелия из природного газа авторами предлагается мембранно-сорбционный метод, объединяющий в себе короткоцикловую адсорбцию и мембранное разделение [2, 3]. При этом отличительной особенностью технологии является использование в качестве гелий проницаемых мембранных элементов - полых стеклянных микрочастиц, стенка которых обладает селективной проницаемостью для гелия [4]. Для обеспечения эффективности такого метода требуется создание сорбента с высокой проницаемостью и селективностью, высокой механической прочностью, термической стойкостью и высокими эксплуатационными характеристиками. Как один из вариантов может быть предложен композитный сорбент [5], содержащий полые микросферические частицы в качестве гелий проницаемого наполнителя [6] и активный оксид алюминия в качестве связующего материала, являющийся прочным пористым каркасом (матрицей).

При этом, немаловажным моментом является определение коэффициентов газовой проницаемости среды, образованной микросферами или композитным сорбентом на их основе, необходимых для расчета и моделирования режимов заполнения адсорберов с микросферами и работы установок.

В данной работе проводилось исследование транспортных характеристик исходных микросферических объектов и предлагаемого композитного сорбента с целью его возможного применения в мембранно-сорбционных технологиях выделения гелия из природного газа.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ

Для проведения экспериментов по исследованию транспортных характеристик среды из микросфер и композитного сорбента использовался специальный экспериментальный стенд, принципиальная схема которого показана на рисунке. В качестве рабочей среды использовались следующие газы: воздух, гелий. Экспериментальный стенд состоит из контейнера для газа или смеси газов, адсорбера, вентиля, датчиков давления и расходомера.

Основой конструкции стенда является адсорбер - емкость из нержавеющей стали объемом $0,55 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$, в которую загружается исследуемый сорбент. Измерение давления перед и после адсорбера выполнялось датчиками давления FESTO типа SDET-22T с точностью $\pm 100 \text{ Па}$, присоединяемых к реактору с помощью трубок диаметром 6 мм. Для управления и измерения расхода газа использовался расходомер El-flow.

© И.В. Казанин, В.Н. Зиновьев, А.С. Верещагин, В.А. Лебига, А.Ю. Пак, Н.Г. Цибульский, В.М. Фомин,
2017

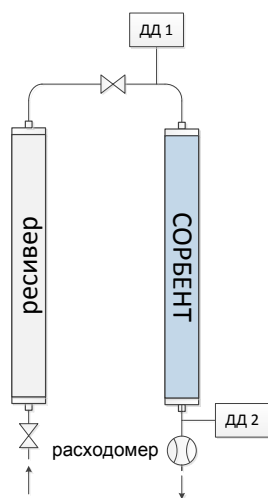


Схема экспериментального стенда.

Для определения структуры и строения исследуемых объектов использовался сканирующий (растровый) электронный микроскоп Zeiss EVO MA 15 с пространственным разрешением 2 нм, при увеличении 10^6 раз в диапазоне ускоряющих напряжений до 30кV. Изображения частиц позволяют получать информацию о рельефе поверхности, о фазовом различии и кристаллической структуре приповерхностных слоёв.

В работе использовались синтетические полые микросферы из натрийборсиликатного стекла, произведенные в ОАО "НПО Стеклопластик" типа МС-В-1Л, МС-В-2Л, МС-ВП-А9, МС-ВП. Полые стеклянные микросферы представляют собой легкий сыпучий порошок белого цвета, состоящий из отдельных частиц сферической формы размером в пределах от 20 до 160 мкм, и толщиной стенок ~ 1 мкм. Отдельно следует выделить микросферы марки МС-ВП, МС-ВП-А9, которые обладают высокой гидростатической прочностью, выдерживая давления более 200 атмосфер. Что является несомненным плюсом при использовании таких частиц в мембранно-сорбционных тех-

нологиях, так как возможность работы при высоких значениях давления повышает эффективность технологии.

На основе представленных выше микросфер совместно с Институтом проблем переработки углеводородов СО РАН, г. Омск был изготовлен композитный сорбент. Связующим материалом сорбента во всех случаях служил активный гамма оксид алюминия $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$. Опытным путем было установлено, что при 15% массовой доле микросфер в композитном сорбенте, достигается оптимальное соотношение текстурных и прочностных характеристик [7].

Для определения транспортных характеристик использовал стенд, схема которого приведена на рисунке, в качестве рабочего газа использовался воздух и гелий. В ходе экспериментов по определению коэффициента газовой проницаемости пористой среды из гранул или микросфер, через адсорбер с сорбентом задавался некоторый постоянный расход газа и фиксировались значения давления до и после адсорбера. При этом для нахождения коэффициента газовой проницаемости пористой среды использовался подход для течения совершенного газа через однородную пористую среду в одномерной прямолинейно-параллельной постановке, при которой объемный расход газа через среду зависит от разницы значений давлений в квадрате до и после адсорбера [8].

Так же были дополнительно проведены эксперименты по исследованию распространения ударной волны через сыпучую среду, образованную исследуемыми типами сорбентов. Для этого стенд оснащался дополнительной мембранной вставкой для формирования ударной волны после разрыва мембраны.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В ходе исследований было доработано экспериментальное оборудование, отработана методика проведения эксперимента и обработки экспериментальных данных с целью получения параметров транспортной проницаемости различных типов сорбентов.

Определены транспортные характеристики исследуемых типов сорбентов: коэффициенты газовой проницаемости, скорости распространения волны давления в среде, времени заполнения адсорбера воздухом и гелием.

Для микросфер типа МС-В-2Л, МС-ВП 5 гр. и МС-ВП-А9 5 гр., коэффициент газовой проницаемости среды из микросфер составил 0,8, 0,9 Дарси для МС-ВП 5 гр., МС-ВП-А9 5 гр. и 1,6 Дарси для МС-В-2Л.

Коэффициент газовой проницаемости пористой среды, образованной гранулами композитного сорбента, не зависит от значения объемного расхода газа через сорбент и имеет величину около 100 Дарси.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке в рамках программы РАН по стратегическим направлениям развития науки П.3.5.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Афанасьев А.И., Бекиров Т.М. и др.** Технология переработки природного газа и конденсата: Справочник: В 2 ч. - М.: ООО "Недра-Бизнесцентр", 2002. –Ч.1., 517 с.
2. **Верещагин А.С., Зиновьев В.Н., Лебига В.А., Пак А.Ю., Фомина А.Ф., Казанин И.В., Фомин В.М.** Исследование гелиевой проницаемости полых сферических микрочастиц // Проблемы и достижения прикладной математики и механики: к 70-летию академика В.М. Фомина: сб. науч. тр. Новосибирск: Параллель, 2010 – 650 с. С. 461-470.
3. **Фомин В.М., Зиновьев В.Н., Казанин И.В., Лебига В.А., Пак А.Ю., Верещагин А.С., Фомина А.Ф., Аншиц А.Г., Булучевский Е.А., Лавренов А.В.** Способ разделения многокомпонентной парогазовой смеси // Патент РФ № 2508156. МКП В01D 53/02 (2006.01). Заявка № 2012118350/05. Заявлено 03.05.2012. Опубликовано 27.02.2014. Бюл. № 6.
4. **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. Т. 5. № 2. С. 8-16.
5. **Фомин В.М., Зиновьев В.Н., Казанин И.В., Лебига В.А., и др.** Способ разделения многокомпонентной парогазовой смеси // Патент РФ № 2508156. МКП В01D 53/02 (2006.01).
6. **Zinoviev V.N., Kazanin I.V., Pak A.Yu., Vereshchagin A.S., Lebiga V.A., Fomin V.M.** Permeability of hollow microspherical membranes to helium. // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2016. -Vol.89, No.1.-P. 25-37.
7. **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.
8. **Басниев К.С., Дмитриев Н.М., Розенберг Г.Д.** Нефтегазовая гидромеханика// Москва, 2005. 544с.