

# Исследование свойств высокопористых углеродных аэрогелей как потенциальных сорбентов метана

Максимчук Максим Эдуардович, Карозина Ю.А., Кнерельман Е.И., Фокин И.Г.

## Аннотация

Наиболее распространенные на сегодняшний день системы хранения природного газа (в сжатом - 20-38 МПа, 288-300 К - и в сжиженном - 0,5-0,6 МПа, 109-115 К - состоянии) обладают рядом существенных недостатков. В этой связи перспективным является создание систем адсорбционного хранения, основной задачей при этом является поиск подходящего сорбента. Последнее время большое внимание исследователей обращено на аэрогели (аэрогель – это гель, состоящий из микропористого твердого вещества, в котором диспергированная фаза представляет собой газ). Аэрогели обладают рядом уникальных свойств, поэтому представляет интерес исследовать возможность их использования в качестве сорбентов в системах хранения и транспортировки природного газа.

Целью данной работы является исследование структурных и сорбционных свойств образцов карбонизированных аэрогелей на основе резорцин-формальдегидных смол в качестве потенциальных сорбентов метана.

Были синтезированы и исследованы образцы карбонизированных аэрогелей на основе резорцин-формальдегидных смол различной плотности (низкой-L, средней-M, высокой-D и сверхвысокой-UD). Образцы аэрогелей были получены в лаборатории новых синтетических методов ИФАВ с использованием метода сверхкритической сушки.

Методом низкотемпературной адсорбции азота определены параметры пористой структуры и поверхностные характеристики исследуемых образцов. Все образцы аэрогелей можно охарактеризовать как микро- и мезопористые с развитой удельной поверхностью (кроме сверхплотного аэрогеля UD). Для образца лёгкой плотности L величина  $S_{уд}$  составила 1121 м<sup>2</sup>/г, а общий объём пор – 5,02 см<sup>3</sup>/г. Показано, что уменьшение плотности аэрогелей (от UD к L) приводит к возрастанию их удельной поверхности за счёт увеличения объёма как микропор, так и мезопор.

Исследование сорбции метана на образцах аэрогелей при давлениях до 1 бар показало, что все они (кроме UD) обладают высокой сорбционной ёмкостью по отношению к метану (до 28,4 см<sup>3</sup>/г в пересчёте на стандартные условия (СТД: 296 К и 1 бар.)).

Сорбенты в системах адсорбционного хранения метана (основного компонента природного газа) должны работать при повышенных давлениях (35 – 65 бар). Поэтому представляло интерес исследовать сорбционные свойства образцов аэрогелей по метану при повышенных давлениях. Для этого нами была разработана и собрана установка, позволяющая проводить сорбцию до 70 бар. Методика работы на установке отработывалась на активированном угле ФАС-Э.

Была исследована сорбция метана при давлениях до 65 бар на образцах аэрогелей. Показано, что объём сорбированного метана зависит, в основном, от количества (объёма) микропор, общий объём пор образца влияет в гораздо меньшей степени. Наибольшей величиной гравиметрической ёмкости при 65 бар (402 см<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> / г (СТД)) обладал образец L.

Важной характеристикой материалов при потенциальном использовании их в качестве сорбентов в системе хранения и транспортировки природного газа является компактность. Поэтому в работе был рассчитан удельный адсорбционный объём метана на единицу объёма сорбента. Образец D обладал наибольшей объёмной ёмкостью - 146 см<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> / см<sup>3</sup> (СТД), что обеспечивается сочетанием развитой поверхности и высокой насыпной плотности. Полученные данные сопоставимы с приводимыми в литературе данными для ряда углеродных материалов, показавших наилучшие значения объёмной и гравиметрической ёмкости по метану (142-196 см<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> / см<sup>3</sup> (СТД)). Это свидетельствует о возможности применения углеродных аэрогелей на основе резорцин-формальдегидных смол в качестве потенциальных сорбентов метана.

Работа выполнена по теме Государственного задания №124020500064-2 с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Новые нефтехимические процессы, полимерные композиты и адгезивы» (№ 77601).

#### **Публикации по теме**

1. Кнерельман Е.И., Карозина Ю.А., Шунина И.Г., Седов И.В. // Высокопористые материалы как потенциальные компоненты систем хранения природного газа: Часть 1 // Нефтехимия. – 2022. – Т. 62. - № 4. – с. 431 – 458.
2. Кнерельман Е.И., Карозина Ю.А., Шунина И.Г., Седов И.В. // Высокопористые материалы как потенциальные компоненты систем хранения природного газа: Часть 2 // Нефтехимия. – 2022. – Т. 62. – № 5. – С. 569 – 615.

#### **Список использованных источников**

1. Грег С., Синг К. Адсорбция, удельная поверхность, пористость. – М.: Мир, 1984. – 306 с.
2. Anbia M., Sheykhi S. Preparation of multi-walled carbon nanotube incorporated MIL-53-Cu composite metal-organic framework with enhanced methane sorption // J. of Industrial and Engineering Chemistry. 2013. V.19. №5. P.1583-1586.
3. Casco M.E., Martinez-Escandell M., Gadea-Ramos E., Kaneko K., Silvestre-Albero J., and Rodriguez-Reinoso F. High-pressure methane storage in porous materials: Are carbon materials in the pole position // Chem. Mater. 2015. V. 27. P. 959–964.