Высокоактивные углеродные микро-мезопористые структуры для крио-сорбционных систем долговременного хранения сжиженного природного газа

Меньщиков И.Е. [1] , *Гринченко А.Е.* [1] , *Школин А.В.* [1] , *Чугаев С.С.* [1] , *Шелякин И.Д.* [1]

i.menshchikov@phyche.ac.ru

[1] Институт физической химии и электрохимии им. А. Н. Фрумкина РАН, Москва, Россия

Сжиженный природный газ (СПГ) – один из важнейших и надежных энергоносителей; он обладает такими преимуществами, как высокая энергоемкость, экологичность и отличные логистические возможности. Однако его хранение в криогенном состоянии (при температуре ~ 111 K) требует специальных технологий защиты от отпарных газов (boil-off gas), возникающих за счет внешнего теплового потока внутрь криогенного сосуда и при заправке. Обычно избыточные пары СПГ выбрасываются в атмосферу или просто сжигаются, если их полезное использование или рекуперация невозможны. Это приводит к потере ценного энергоресурса и способствует росту парникового эффекта, нанося вред экологии. В связи с этим разработка новых технологий улавливания, хранения и последующего использования паров СПГ представляет научный и практический интерес.

Адсорбционное улавливание паров метана (АСПГ) является перспективным методом совершенствования криогенных систем хранения СПГ. Одной из ключевых задач в этой области является поиск новых высокопористых структур, в частности, металлоорганических каркасных полимеров и нанопористых углей. Недавние теоретические и экспериментальные исследования показали, что система АСПГ, работающая при криогенных температурах, может обеспечить объемную емкость хранения более 350 $м^3$(НТД)/$м^3$ при использовании микропористых сорбентов, превышая известные показатели в области сорбционного аккумулирования. Однако еще большее увеличение емкости может быть достигнуто за счет эффекта капиллярной конденсации метана в мезопорах, благодаря работе данных систем в докритических условиях.

В настоящей работе методами молекулярной динамики и теории объемного заполнения микропор проведена оптимизация параметров микро-мезопористой наноструктуры углеродных сорбентов (геометрия, размер пор), предназначенных для улавливания метана в докритическом состоянии. Результаты моделирования использованы при разработке параметров синтеза новых углеродных структур с заданными свойствами из различных прекурсоров, что позволило получить материалы с высоким параметрами пористости – удельной поверхностью по БЭТ до 3000 $м^2$/г; объемом пор 3,1 $см^3$/г; мезопор 2,0 $см^3$/г. При этом ширина мезопор полученных структур варьировалась от 3 до 50 нм.

Абсолютную адсорбцию метана на новых адсорбентах измеряли экспериментально при температурах 112-333K и давлений от 5 Па до 10 МПа на специальной адсорбционной установке. На основе экспериментальных данных были получены характерстики модельных систем АСПГ и создан масштабированный адсорбционный аккумулятор. Экспериментально установлено, что капиллярная конденсация метана в мезопорах обеспечивает емкость АСПГ более 450 $м^3$(НТД)/$м^3$, в зависимости от выбранного режима циклической работы.

Проект поддержан грантом РНФ № 22-73-00184.