

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Цыганкова Павла Юрьевича  
**«ПРОЦЕССЫ ПОЛУЧЕНИЯ АЭРОГЕЛЕЙ С ВНЕДРЁННЫМИ  
УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ В АППАРАТАХ ВЫСОКОГО  
ДАВЛЕНИЯ И ИХ ИНТЕНСИФИКАЦИЯ»,**  
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности

05.17.08 - Процессы и аппараты химических технологий

За последние 5 лет количество научных публикаций, посвящённых синтезу и исследованию свойств, как индивидуальных, так многокомпонентных аэрогелей, увеличилось в мире более чем в четыре раза. В то же время, несмотря на большие усилия, которые прилагаются во всем мире для исследования и разработки материалов на основе аэрогелей, приходится признать, что использование аэрогелей в промышленных процессах носит пока еще ограниченный характер. В настоящее время материалы на основе аэрогелей масштабно применяются только в двух областях: для теплоизоляции и в ускорительной технике в качестве рабочего тела для черенковских детекторов. Соответственно, поиск новых композиций материалов на основе аэрогелей имеет большие перспективы. Одной из основных проблем на пути более широкого применения аэрогелей является необходимость проведения сверхкритической сушки, которая требует соответствующего дорогостоящего оборудования и дополнительного времени.

В этой связи, исследования, приводящиеся в Российском химико-технологическом университете имени Д.И. Менделеева, направленные на поиск новых материалов на основе аэрогелей, проектирование оборудования и моделирование процессов для сверхкритической сушки, являются важным элементом для придания нового импульса в понимание основных закономерностей синтеза аэрогелей.

В диссертационной работе П.Ю. Цыганкова представлены результаты исследования фазового равновесия системы «изопропиловый спирт – диоксид углерода», математического моделирования процессов сверхкритической сушки пластины аэрогеля. Приведены результаты проектирования установки для проведения сверхкритической сушки. Отдельный раздел посвящен разработке методик синтеза аэрогелей с внедренными углеродными нанотрубками (УНТ) и исследованию их адсорбционных свойств к промышленным газам и парам.

В ходе исследования автором диссертации получены заслуживающие внимания данные математического описания процесса сверхкритической сушки, а именно влияние параметров (давления, температура, расход диоксида углерода) на скорость процесса. На основании полученных результатов автором были сформулированы рекомендации по идентификации процесса, показано, что при увеличении температуры процесса время сушки уменьшается в 2,5 раза.

В качестве замечаний следует отметить, что в тексте автореферата не указано, учитывались ли в построенной математической модели диаметр пор, взаимодействие спирта и диоксида углерода с функциональными группами поверхности аэрогеля. Было бы полезно привести данные, экспериментально доказывающие, что уменьшение времени сушки пластины аэрогеля не оказывается отрицательно на структурных и текстурных характеристиках аэрогеля.

Автором были разработаны методики получения различных аэрогелей с внедрёнными УНТ: монолитов на основе диоксида кремния с внедрёнными УНТ золь-гель методом; микрочастиц на основе диоксида кремния с внедрёнными УНТ масляно-эмulsionным методом; частиц на основе альгината натрия с внедрёнными УНТ капельным методом. Полученные композиты исследовались в качестве сорбентов для различных токсичных веществ и инертных газов. Показано, что при сорбции веществ

изменяется электрическое сопротивление композитов и это указывает на перспективность их использования в качестве датчиков. Кроме того, было обнаружено, что аэрогели с УНТ проявляют селективность при адсорбции аргона.

В приведенных в автореферате текстурных характеристиках аэрогелей с внедренными УНТ отсутствуют данные по удельной поверхности и объему пор для используемых УНТ, поэтому довольно сложно анализировать приведенные закономерности изменения удельной поверхности и объема пор от содержания УНТ. В таблицах 1 и 2 удельная поверхность и объем пор уменьшаются с увеличением содержания УНТ. Автор предполагает, что это связано с заполнением пор аэрогелей УНТ, хотя общепризнано, что добавления различных материалов (волокон, нанопластин и даже опилок) приводят к армированию, то есть упрочнению структуры и, соответственно, увеличению объема пор. Эти же закономерности подтверждаются для микрочастиц аэрогелей (таблица 3.). Данное предположение нуждается в более четких доказательствах, возможно, есть факторы, приводящие к уплотнению геля на стадии синтеза.

Утверждение автора, что удельная поверхность и объем пор для микрочастиц аэрогелей увеличиваются в связи с увеличением количества открытых УНТ, представляется спорным. Если увеличение объема пор микрочастиц связывать с объемом пор УНТ, то получится следующее: разность объема пор аэрогеля с УНТ и чистого аэрогеля равна  $5.56 - 4.67 = 0,89 \text{ см}^3/\text{г}$ . То есть это объем 4,5 масс. % открытых УНТ, тогда у исходных УНТ объем пор должен быть равен  $19.77 \text{ см}^3/\text{г}$ . Такая величина совершенно нереальна и, скорее всего, закономерность, показанная в таблице 3 автореферата связана с армированием УНТ аэрогеля.

Отмеченные выше спорные моменты, отраженные в автореферате, лишь подчеркивают, что направлению, которому посвящена диссертационная работа, есть куда развиваться, причем автором обозначены перспективные пути такого развития. Выполненная работа имеет, несомненно, научную и практическую ценность. П.Ю. Цыганков заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата технических наук.

Научный сотрудник  
лаборатории исследования процессов в средах повышенной плотности  
Института катализа СО РАН  
к.х.н.

А.С. Шалыгин

17.12.2018г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт катализа им. Г.К. Борескова Сибирского отделения РАН  
630090, Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, д. 5  
Тел.: (383)3269593, e-mail: shas@catalysis.ru

Подпись к.х.н. А.С Шалыгина заверяю:

Ученый секретарь ИК СО РАН,  
д.х.н.

Д.В. Козлов

