

*А. С. Костров**

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ ТЕПЛОЕМКОСТИ ГЕТЕРОГЕННЫХ СИСТЕМ

При измерении теплофизических характеристик (ТФХ) гетерогенных систем твердая фаза-газ (например, сыпучие и пористые материалы, волокнистые материалы) существенное влияние на получаемые результаты оказывает объем газовой фазы, заполняющей поры или пространство между частицами материала. Изменение порозности слоя (по разным причинам, например вследствие протекающих в нем химических реакций или при изменении температуры) будет оказывать существенное влияние на результаты измерения ТФХ. Поэтому возможность непрерывного определения в ходе эксперимента удельного объема твердой фазы исследуемого материала позволит повысить как точность измерения, так и информативность за счет дополнительного определения удельной теплоемкости.

Разработан комплексный метод, состоящий в том, что исследуемые образцы (или насыпной слой) размещают в камере 4 между газопроницаемой оболочкой 5 с нанесенными на нее нагревательным элементом и измерителем температуры, которые выполнены из манганиновой и медной проволочек соответственно (рис. 1). Внешние поверхности исследуемых образцов приведены в тепловой контакт с тонкими медными пластинами 6, на внешней поверхности которых размещены плоские нагреватели 7, которые, в свою очередь, приведены в тепловой контакт с датчиками теплового потока 8. Описанная система теплоизолирована от окружающей среды изоляцией 9.

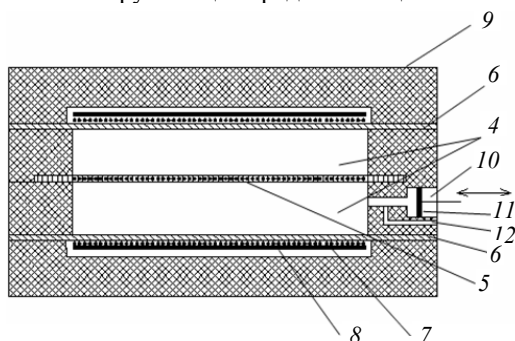


Рис. 1. Схема измерительной ячейки

* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доцента ФГБОУ ВПО «ТГТУ» П. В. Балабанова.

В конструкции ячейки предусмотрен цилиндр 10 с поршнем 11, осуществляющим возвратно-поступательное движение. Полость цилиндра 10 соединена с камерой 12 и измерителем давления (на рисунке не показан). Камеру 4 герметизируют и подводят постоянное напряжение к нагревателям 8 и 5 измерительной ячейки. Непрерывно во времени, отсчитываемого от начала подвода напряжения, измеряют температуры центрального нагревателя 5, нагревателей 7 и тепловые потоки посредством датчиков 8. При достижении регулярного теплового режима второго рода в центре исследуемого материала (о чем судят по показаниям датчика температуры, расположенного на оболочке 5) разово уменьшают суммарный объем камер 4 и 10 на величину $\Delta V = km$, где k – коэффициент пропорциональности и измеряют изменение давления ΔP в камере с исследуемым материалом. Что позволяет определить удельный объем твердой фазы исследуемого материала по выражению

$$V_{т.ф} = V / m - kP_{атм} / \Delta P ,$$

где V – суммарный объем камеры 4, в которой размещен исследуемый материал, и камеры 10; m – масса исследуемого материала; $P_{атм}$ – атмосферное давление.

Искомую удельную теплоемкость вычисляют по формуле

$$c_{т.ф} = c_{н\rho_n} \frac{(Q + \Gamma_1 - 1)}{\Gamma_1} V_{тф} ,$$

где Γ_1 – постоянная, определяемая геометрическими характеристиками измерительной ячейки; $c_{н\rho_n}$ – объемная теплоемкость нагревателей и оболочки; Q – комплексный измеряемый параметр, включающий показание датчиков теплового потока и температуры.

Необходимо отметить, что описанный метод и устройство позволяют исследовать также и теплопроводность материала [1].

Предложенный метод прошел апробацию, для чего был разработан комплект чертежей измерительной ячейки, по которым изготовлен рабочий макет. Создана измерительная установка, на которой исследованы ТФХ сыпучих химических поглотителей диоксида углерода в интервале температур 20...80°.

На рисунке 2 показаны результаты определения удельной теплоемкости и теплопроводности соответственно. Кривые 1 – 3 получены соответственно для зерненого регенеративного продукта на основе надпероксида калия (с добавками надпероксида натрия, асбеста, оксида и гидроксида кальция), таблетированного продукта на основе надпероксида калия (с добавкой пероксида кальция) и химического поглотителя ХПИ на основе гидрооксидов кальция и натрия, а кривые 1' – 3' для тех же материалов, но после продувки через них влажной (86±2) % газовоздушной смеси (ГВС), содержащей (4±0,1) % диоксида углерода.

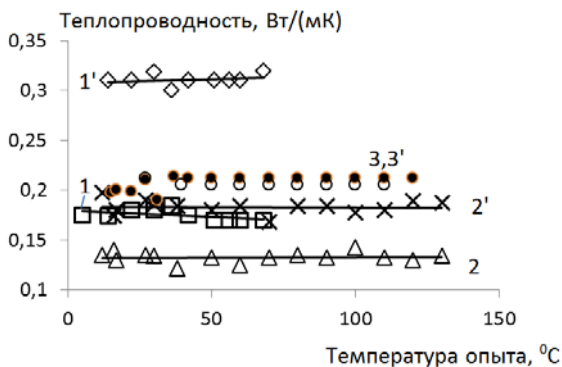
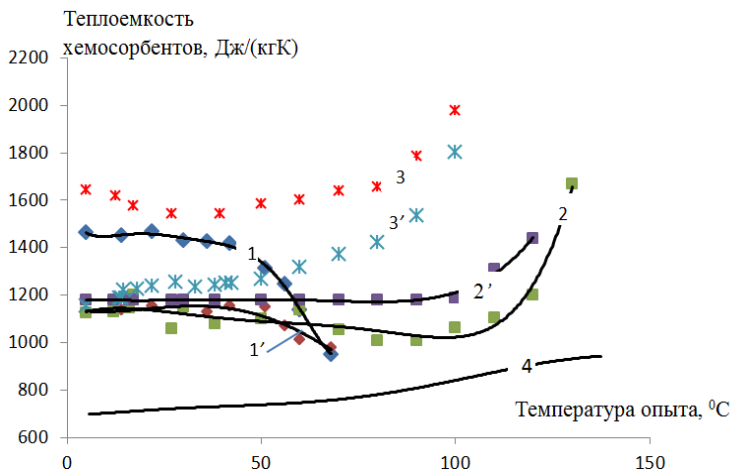


Рис. 2. Результаты измерения теплофизических характеристик

На кривых 2, 3 видны эндотермические эффекты, на кривых 1, 1' – экзотермические. Их присутствие в исследуемых материалах после продувки ГВС показывает, что хемосорбенты полностью не отработали. Однако повторное проведение эксперимента после нагрева исследуемого материала показывает отсутствие теплового эффекта, как это хорошо видно на кривой 4, полученной для ХПИ. Из анализа результатов измерения теплопроводности следует, что значительное возрастание теплопроводности насыпного слоя хемосорбента (за исключением химического поглотителя ХПИ) в процессе отработки, что объясняется уплотнением слоя и увеличением влажности исследуемого материала.

1. Результаты измерения объема твердой фазы и плотности

Состав исследуемого вещества	m , г	$V_{\text{тф}}$, мл	ρ , кг/м ³	
Зерна: надпероксид калия, натрия + + асбест + оксид и гидроксид кальция	до продувки	94,6	39±1	2426
	после продувки	113,9	60±1	–
Таблетки: надпероксид калия + + пероксид кальция	до продувки	75,04	32,2±0,5	2329
	после продувки	89,66	33,4±0,5	2684
Гранулы: гидроксид кальция + + гидроксид натрия	до продувки	91,8	45,5±0,5	2017
	после продувки	110,69	50,1±0,5	2209

Результаты измерения объема твердой фазы и определения плотности представлены в табл. 1.

Результаты измерения теплопроводности при комнатных температурах сопоставлены с аналогичными, полученными с использованием прибора ИТП-МГ4 «100», результаты измерения удельной теплоемкости – с использованием прибора ИТ-с-400. По всем измеряемым характеристикам (теплопроводность, удельная теплоемкость) погрешности не превышают 10%, что показывает перспективность дальнейших работ по разработке метода и технических средств для его реализации.

Список литературы

1. Балабанов, П. В. Метод комплексного определения теплофизических характеристик сыпучих хемосорбентов / П. В. Балабанов // Измерительная техника. – 2013. – № 10. – С. 51 – 54.

*Кафедра «Управление качеством и сертификация»
ФГБОУ ВПО «ТГТУ»*