

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЛЕКСА СВОЙСТВ АДСОРБЕНТОВ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ФИЛЬТРОВ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ АЭС

*В.И. Соколенко, М.А. Хажмурадов, Э.И. Винокуров, Т.К. Григорова,
Р.М. Сибилева, Д.В. Шаруда*

*Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт»,
Харьков, Украина*

E-mail: vsokol@kipt.kharkov.ua

С помощью стандартных и разработанных в ННЦ ХФТИ методик проведено комплексное исследование рабочих характеристик (аэродинамического сопротивления в условиях, моделирующих работу фильтров АУ-1500; механической прочности при истирании; адсорбционной емкости по йоду и йодистому метилу) активированных углей различных производителей, предлагаемых к использованию при восстановлении и реконструкции адсорбционных фильтров системы вентиляции АЭС.

ВВЕДЕНИЕ

Для предотвращения распространения и локализации радиоактивных инертных газов, а также йода и его соединений в помещениях контролируемой зоны АЭС предусмотрены системы специальной газоочистки и вентиляции воздуха, в состав которых входят угольные адсорберы типа АУ-1500. Для всех АЭС Украины остается актуальным вопрос восстановления и реконструкции существующих систем вентиляции и спецгазоочистки. К настоящему времени на АЭС Украины имеется большое количество угольных фильтров, требующих замены или восстановления используемых адсорбентов. Как известно, основными адсорбентами, применяемыми в настоящее время, являются угли СКТ-3 и СКТ-3И российского производства.

Ранее в ННЦ ХФТИ разработана технология восстановления фильтров типа АУ-1500 [1], предусматривающая просеивание использованного активного угля и его регенерацию. При этом отсеивается 10...20% общей массы адсорбента, что составляет 13...26 кг на каждый адсорбер. Это является трудоемким процессом, требующим соблюдения радиационной безопасности. Более эффективный и безопасный вариант – заполнение адсорбера новым активированным углем, что требует около 130 кг адсорбента на каждый адсорбер. Важно отметить, что уголь СКТ-3 и его модификации в настоящее время сняты с производства. В связи с этим возникает необходимость подбора других угольных адсорбентов, пригодных для восстановления фильтров типа АУ-1500 системы вентиляции АЭС.

В настоящей работе применен ряд методик исследования характеристик активированных углей, предлагаемых к использованию в адсорбционных фильтрах систем вентиляции АЭС: измерение аэродинамического сопротивления слоя адсорбента в условиях, моделирующих работу фильтров типа АУ-1500; измерение механической прочности адсорбентов при истирании, а также измерение емкости адсорбентов по йоду и йодистому метилу

при комнатной температуре [2-4]. Эти методики позволяют сравнить изучаемые адсорбенты с углями СКТ-3 и СКТ-3И и сделать оптимальный выбор новых адсорбентов для использования в системах вентиляции АЭС.

ИССЛЕДУЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКИ

Исследовался ряд углей производства Украины (ДУ(1-2), ДУ(2-3), Эл-2, Эл-3, Эл-4, Эл-5, Эл-8, Эл-Д – ЗАО «Электрод», г. Донецк), Германии (С40/4 Extra, D45/1, D45/2, импрегнированные 1,5% раствором КJ, угли DGF2 и D43/4 Extra фирмы «Carbo Tech»), Бельгии (Norit RKJ2) и России (СКТ-3, СКТ-3И – АТВТ ЭХМЗ, г. Электросталь, Московской области).

Для определения аэродинамического сопротивления слоя адсорбента (ΔP , кПа) в условиях, моделирующих работу адсорбционных фильтров АУ-1500 (высота слоя адсорбента 300 мм, удельный поток воздуха $0,48 \text{ м}^3/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$), был использован специально разработанный стенд [2].

Отметим, что аэродинамическое сопротивление адсорбера АУ-1500 при изготовлении должно составлять 2,0...2,4 кПа. Верхний предел обусловлен тем, что при транспортировке и эксплуатации адсорберов возникает усадка слоя, которая приводит к увеличению аэродинамического сопротивления, не связанного с разрушением адсорбента, а нижний – тем, что при уменьшении аэродинамического сопротивления сокращается время пребывания примесей воздуха в адсорбере, что приводит к уменьшению эффективности очистки.

Степень механического истирания (Π , %) углеродных материалов является важным параметром при выборе адсорбента, поскольку турбулентность воздушного потока приводит к разрушению гранул адсорбента в результате взаимного трения и, как следствие, ненормативному росту аэродинамического сопротивления и потере пропускной способности адсорберов для воздуха. Определение прочности адсорбентов проводилось

путем измерения истирания угля в соответствии с ГОСТ 2789-59 по методу МИС-60-8 [3].

Использованный в экспериментах йодистый метил был получен на основе стабильного изотопа йода (^{127}J). Учитывая, что изотопический состав йода не оказывает существенного влияния на физико-химические свойства вещества, результаты адсорбционных измерений для ^{127}J могут быть перенесены на йодистый метил на основе других изотопов йода (^{131}J , ^{129}J).

Измерение адсорбции проводилось на специально изготовленных стендах весовым методом (весы марки AS220/C), в которых исследуемые образцы углей были соединены с объемом йодистого метила или йода и атмосферой, а контрольные образцы только с атмосферой

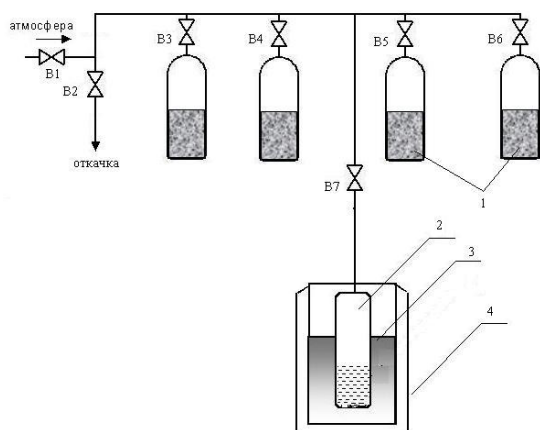


Рис. 1. Схема установки для измерения поглощения адсорбентами паров йодистого метила в присутствии атмосферного воздуха и паров воды, содержащихся в нем:

- 1 – стеклянные ампулы с адсорбентами;
- 2 – стеклянная ампула с йодистым метилом;
- 3 – вода;
- 4 – сосуд Дьюара; B1–B7 – вентили

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

В табл. 1 представлены значения аэродинамического сопротивления (ΔP , кПа) слоя адсорбента в условиях, моделирующих работу адсорбционных фильтров АУ-1500, и механической прочности на истирание (Π , %) для всех исследованных образцов.

Исходя из данных этой таблицы, можно выделить перспективные с точки зрения аэродинамического сопротивления и прочности угольные адсорбенты, для которых целесообразно проведение адсорбционных измерений. Весь исследуемый уголь производства Германии, Бельгии и два вида угля производства Украины (ДУ(1-2) и ДУ(2-3)) имеют высокие прочностные характеристики, однако высокое аэродинамическое сопротивление углей D45/1, ДУ(1-2), Эл-8 исключает их из дальнейшего рассмотрения.

На рис. 3 показаны результаты адсорбционных исследований по йодистому метилу. Видно, что за исключением угля ДУ (2-3) все исследованные угли показывают более высокую адсорбционную емкость

(рис. 1 и 2). Адсорбционная емкость по йодистому метилу $\left(\frac{\Delta m}{m_0}\right)_{\text{CH}_3\text{I}}$ определялась как разница

$$\left(\frac{\Delta m}{m_0}\right)_{\text{CH}_3\text{I}} = \left(\frac{\Delta m}{m_0}\right)_{\text{CH}_3\text{I} + \text{H}_2\text{O}} - \left(\frac{\Delta m}{m_0}\right)_{\text{H}_2\text{O}}$$

Аналогично адсорбционная емкость по йоду

$$\left(\frac{\Delta m}{m_0}\right)_{\text{I}_2} = \left(\frac{\Delta m}{m_0}\right)_{\text{I}_2 + \text{H}_2\text{O}} - \left(\frac{\Delta m}{m_0}\right)_{\text{H}_2\text{O}}$$

где m_0 – масса адсорбента, а Δm – изменение веса исследуемых образцов.

Адсорбция йодистого метила и йода происходила при температуре 20 °С, атмосферном давлении воздуха и парциальном давлении паров йодистого метила 325 мм рт. ст., а йода 0,17 мм рт. ст.

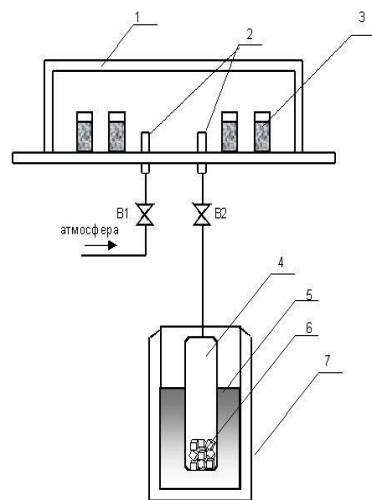


Рис. 2. Схема установки для измерения поглощения адсорбентами паров йода в присутствии паров воды: 1 – эксикатор; 2 – подводящие трубки; 3 – бюксы с адсорбентом; 4 – стеклянная ампула; 5 – вода; 6 – кристаллический йод; 7 – сосуд Дьюара; B1 и B2 – вентили

по йодистому метилу, чем угли СКТ-3 и СКТ-3И, используемые в настоящее время в угольных адсорберах АУ-1500. Максимальной емкостью обладает уголь DGF2. Важно отметить, что в течение всего эксперимента (80 сут) для всех адсорбентов, кроме ДУ(2-3), тенденции к насыщению сорбируемым веществом не наблюдалось.

Из рис. 4 видно, что максимальной емкостью по йоду обладает уголь Эл-Д, емкость углей производства Германии соизмерима с емкостью углей СКТ-3 и СКТ-3И, а уголь Norit RKJ2 несколько уступает СКТ-3.

Для оптимального выбора угля, который может быть использован при восстановлении адсорберов типа АУ-1500, в табл. 2 приведены все исследованные рабочие характеристики для рассмотренных новых перспективных углей. Для сравнения приводятся данные для углей СКТ-3, СКТ-3И. Приведены величины поглощения йода и йодистого метила

$$\left(\frac{\Delta m}{m_0}\right)_{\text{I}_2} \text{ и } \left(\frac{\Delta m}{m_0}\right)_{\text{CH}_3\text{I}}$$

в течение 75 сут.

Таблица 1

ΔP, кПа	Марка адсорбента	П, %	Производитель
2,3	C40/4 Extra	88,5	Германия
2,2	D45/2	86	
2,1	D43/4 Extra	81	
2,1	DGF2	81	
26,0	D45/1	79	
1,7	Norit RKJ2	89	Бельгия
4,5	ДУ(1-2)	95	Украина
2,1	ДУ(2-3)	91	
2,3	Эл-Д	72	
33,0	Эл-8	46	
2,3	Эл-2	16	
–	Эл-5	3	
–	Эл-3	2	
–	Эл-4	1	
2,5	СКТ-3	80	Россия
2,5	СКТ-3И	75	

Из табл. 2 видно, что по сравнению с СКТ-3 и СКТ-3И уголь украинского производства Эл-Д обладает более высокой адсорбционной емкостью по йоду и йодистому метилу, однако его прочность при истирании ниже. Уголь Norit RKJ2, несколько уступая СКТ-3 по адсорбционным свойствам, имеет максимальную прочность при истирании.

Угли немецкого производства DGF2 и D45/2 имеют высокую прочность, допустимое значение аэродинамического сопротивления и высокую адсорбционную емкость по йоду и йодистому метилу.

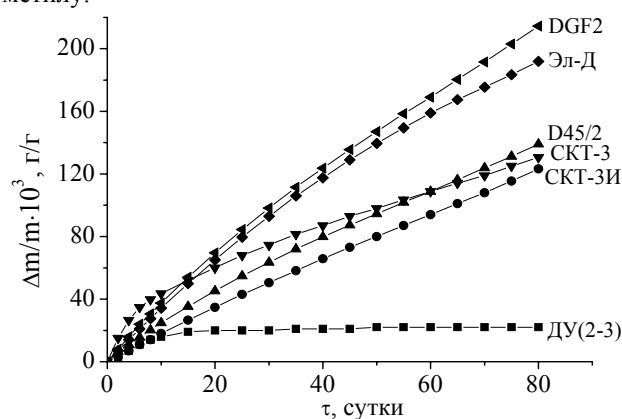


Рис. 3. Зависимость массы адсорбированного йодистого метила на грамм адсорбента от времени (адсорбция происходит при температуре 20 °С, атмосферном давлении воздуха и парциальном давлении паров йодистого метила 325 мм рт. ст.)

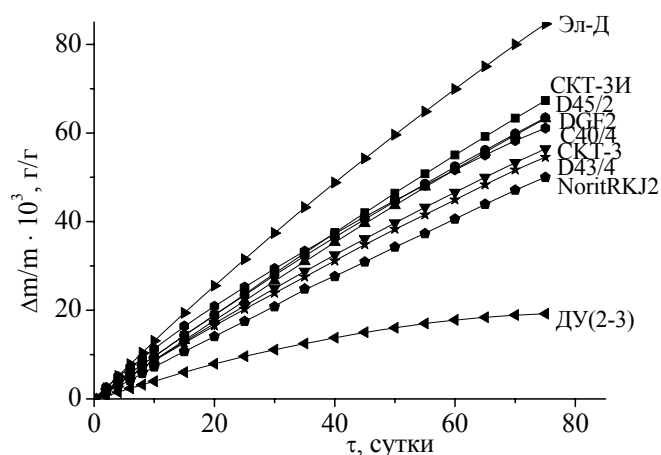


Рис. 4. Зависимость массы адсорбированного йода на грамм адсорбента от времени (адсорбция происходит при температуре 20 °С, атмосферном давлении воздуха и парциальном давлении паров йода 0,17 мм рт. ст.)

Таблица 2

Адсорбент	ΔP, кПа	П, %	$\frac{\Delta m}{m} \cdot 10^3, \text{г/г}$	$\frac{\Delta m}{m} \cdot 10^3, \text{г/г}$
Эл-Д	2,3	72	$84,6 \cdot 10^{-3}$	$183,5 \cdot 10^{-3}$
DGF2	2,1	81	$63,2 \cdot 10^{-3}$	$203,0 \cdot 10^{-3}$
D45/2	2,2	86	$63,4 \cdot 10^{-3}$	$131,2 \cdot 10^{-3}$
Norit RKJ2	1,9	89	$50,0 \cdot 10^{-3}$	–
СКТ-3	2,5	80	$56,4 \cdot 10^{-3}$	$125,0 \cdot 10^{-3}$
СКТ-3И	2,5	75	$67,3 \cdot 10^{-3}$	$115,5 \cdot 10^{-3}$

ВЫВОДЫ

Проведено комплексное исследование технологических характеристик ряда новых углей различных производителей (Украины, России, Германии и Бельгии). Показано, что угли немецкого производства DGF2 и D45/2 обладают оптимальным сочетанием технологических свойств адсорбента для использования в адсорберах систем вентиляции АЭС.

Учитывая, что механическое истирание угля Эл-Д близко к характеристике угля СКТ-3 и его аэродинамическое сопротивление и адсорбционные свойства удовлетворяют нормативным требованиям, этот уголь также можно рекомендовать для использования в адсорберах типа АУ-1500.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Декларационный патент на корисну модель України, №13173. *Способ восстановления адсорбера системы очистки воздуха* / В.М. Ажажа, В.И. Волчок, А.Н. Довбня, В.Г. Колобродов, И.М. Неклюдов, М.А. Хажмурадов. Бюл. №3, 2006.
2. В.Г. Колобродов, Л.В. Карнацевич, П.А. Березняк, М.А. Хажмурадов, Э.И. Винокуров, В.И. Спицина. Аэродинамическое сопротивление слоев некоторых адсорбентов // *ВАНТ. Серия «Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение»*. 2006, №4, с. 224-227.

3. В.Г. Колобродов, В.И. Соколенко, Э.И. Винокуров, Т.К. Григорова, Р.М. Сибилева, М.А. Хажмурадов. Измерение прочности адсорбентов, предназначенных для использования при восстановлении адсорберов типа АУ-1500 систем вентиляции АЭС // *ВАНТ. Серия «Вакуум, чистые материалы, сверхпроводники»*. 2011, №6, с. 76-78.

4. В.Г. Колобродов, А.А. Саньков, Л.В. Карнацевич, П.А. Березняк, Э.И. Винокуров. Адсорбция паров йода некоторыми адсорбентами // *ВАНТ. Серия «Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение»* (84). 2003, №6, с. 110-113.

Статья поступила в редакцию 10.07.2013 г.

ДОСЛІДЖЕННЯ КОМПЛЕКСУ ВЛАСТИВОСТЕЙ АДСОРБЕНТІВ, ПРИЗНАЧЕНИХ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ФІЛЬТРІВ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦІЇ АЕС

В.І. Соколенко, М.А. Хажмурадов, Е.І. Винокуров, Т.К. Григорова, Р.М. Сибільова, Д.В. Шаруда

За допомогою стандартних і розроблених у ННЦ ХФТІ методик проведено комплексне дослідження робочих характеристик (аеродинамічного опору в умовах, що моделюють роботу фільтрів АУ-1500; механічної міцності при стиранні; адсорбційної ємності по йоду і йодистому метилу) активованого вугілля різних виробників, передбачуваного до використання при відновленні і реконструкції адсорбційних фільтрів системи вентиляції АЕС.

STUDY COMPLEX OF PROPERTIES OF THE ADSORBENT FOR RENEWAL FILTERS OF VENTILATION SYSTEMS NPP

V.I. Sokolenko, M.A. Khazhmuradov, E.I. Vinokurov, T.K. Grigорова, R.M. Sibileva, D.V. Sharuda

Using standard and developed at NSC KIPT techniques it was carried out a comprehensive research of working characteristics (aerodynamic resistance in conditions modeling work adsorber AU-1500; mechanical strength abrasion; adsorption capacity for iodine and methyl iodide) of activated coals from different manufacturers, intended for use in rehabilitation and reconstruction of the adsorption filter ventilation system at NPP.