

АЭРОДИНАМИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ СЛОЕВ НЕКОТОРЫХ АДсорБЕНТОВ

*В.Г. Колобродов, Л.В. Карнацевич, П.А. Березняк, М.А. Хажмурадов,
Э.И. Винокуров, В.И. Спицына*
**ННЦ «Харьковский физико-технический институт»,
г. Харьков, Украина**

Описаны экспериментальный стенд и методика определения аэродинамического сопротивления слоя адсорбента. Определена зависимость величины перепада давления на макетах адсорберов разной конструкции, заполненных различными адсорбентами, от величины расхода воздуха. Изучены торфяные угли СКТ-3 и СКТ-4 российского производства, активные антрациты типа «Акдан» трех модификаций производства АОЗТ «Харьковский коксовый завод», активированные углеродные волокнистые материалы АУВМ «Днепр» и цеолит NaX украинского производства. Предложена методика оперативного определения аэродинамического сопротивления слоя адсорбента, необходимая при работах по восстановлению адсорбционных фильтров АУ-1500.

1. ВВЕДЕНИЕ

Ненормативный рост аэродинамического сопротивления адсорберов затрудняет работу вентиляционных систем и может привести к созданию опасной радиационной обстановки в помещениях АЭС. Возможные причины этого ненормативного роста детально проанализированы в работах [1, 2]. В ННЦ ХФТИ предложен и успешно опробован способ восстановления адсорбционных фильтров [3]. В технологии восстановления адсорберов имеется процесс просеивания активного угля СКТ-3 на сите с целью удаления угольной пыли и измельченных гранул. Для контроля этого процесса обычно применяют стандартный метод определения гранулометрического состава [4], которым определяется аэродинамическое сопротивление слоя адсорбента. Более простым и эффективным методом контроля качества просеивания является метод оперативного определения аэродинамического сопротивления слоя просеиваемого адсорбента на макете адсорбера в условиях, моделирующих работу реального адсорбера АУ-1500. Кроме этого, метод позволяет выбрать адсорбент для досыпки в адсорбер вместо отсеянного адсорбента или для полной его замены.

2. ПРИБОРЫ И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Для определения величины аэродинамического сопротивления слоя адсорбента был создан стенд, схема которого изображена на рис. 1. Поток газа для моделирования работы адсорбера создается при помощи пылесоса (5), регулируется вентилями (7) и измеряется газовым счетчиком (6). На газовом счетчике расположен столик, на котором устанавливаются съемные макеты адсорберов различной конструкции, заполненные исследуемыми адсорбентами. На рисунке изображен цилиндрический макет адсорбера (1), моделирующий работу адсорбера АУ-1500 систем вентиляции АЭС. Он представляет собой металлическую трубу диаметром 65 мм и дли-

ной 370 мм, в нижней части которой укреплена неподвижная латунная сетка (2). В трубу под вибрацией засыпается адсорбент, верхний слой которого прижимается подвижной сеткой (3). Величина потока воздуха через макет может регулироваться так, чтобы

$$Q = \frac{S_m}{S_a} \varphi Q_a,$$

где S_a – площадь поперечного сечения адсорбера; S_m – площадь поперечного сечения макета; Q_a – поток воздуха через адсорбер.

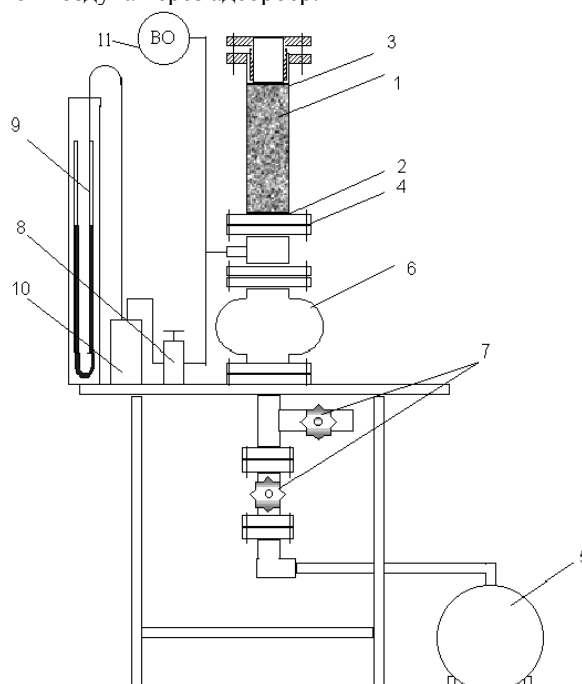


Рис. 1. Схема стенда для определения аэродинамического сопротивления

После установления заданного потока воздуха при помощи образцового вакуумметра (11) измеряется перепад давлений на адсорбере и, если он меньше 4000 Па, то открывается вентиль (8) и водяным диф-

ференциальным манометром (9) измеряется аэродинамическое сопротивление ΔP . Манометром измеряются перепады давления до 4000 Па. Буферный объем (10) предназначен для предотвращения попадания воды в газовую систему. Прибор позволяет моделировать работу адсорбера АУ-1500 с заполнением его различными адсорбентами с разным гранулометрическим составом.

При эксплуатации стенда было установлено, что для получения экспериментальных данных о зависимости перепада давления на адсорбере ΔP от потока газа через адсорбер Q существенно проще устанавливать ΔP , а измерять Q при помощи газового счетчика и секундомера.

Стенд позволяет измерять зависимость ΔP от Q для макетов адсорберов диаметром 10...120 мм. На столике стенда можно укреплять также макеты адсорберов различной конструкции.

Измерения проводились в основном на цилиндрическом макете адсорбера с толщиной слоя адсорбента равной 300 мм (толщина слоя в реальном адсорбере АУ-1500 систем вентиляции АЭС). Для исследования аэродинамического сопротивления акти-

вированной углеродной ткани был изготовлен макет адсорбера, позволяющий уплотнять пакеты из нескольких слоев ткани. При расчете измеряемый поток воздуха через макет адсорбера нормировался по площади сечения адсорбера, и результаты измерений строились в виде зависимости перепада давлений ΔP от удельного расхода воздуха Q_0 . Пределы измерений были ограничены либо производительностью пылесоса, либо большим перепадом давления ($\Delta P > 4000$ Па) на макете адсорбера. Аэродинамическое сопротивление больше 4000 Па можно измерить при помощи образцового вакуумметра (11), не открывая вентиль (8).

Были исследованы торфяные активные угли СКТ-4, СКТ-3; активный антрацит «Акдан» трех модификаций: дробленый (мелкий 1...3 мм), дробленый (крупный 1...8 мм), пластинчатая модификация, активированный углеродный волокнистый материал АУВМ «Днепр», цеолит NaX.

В макет адсорбера адсорбент засыпался в состоянии поставки. Геометрические параметры адсорбентов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Геометрические параметры исследуемых адсорбентов

Размер	Адсорбент						
	СКТ-3	СКТ-4	Акдан* дробл. крупный	Акдан* дробл. мелкий	Акдан* пластинчатый	NaX	АУВМ** Днепр
Диаметр гранулы, мм	2,0	2,0	1...3	1	0,5	2,5	4...6 мкм
Длина гранулы, мм	3...5	3...5	1...8	1...3	1...3	5...10	0,5

Примечание. Для активированного угля «Акдан» приведены размеры зерен; ** для активированного углеродного волокнистого материала АУВМ приведены диаметры волокон и нитей плетения.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты аэродинамических измерений представлены на рис. 2 в виде графиков зависимости перепада давления ΔP на адсорбере от удельной производительности Q_0 .

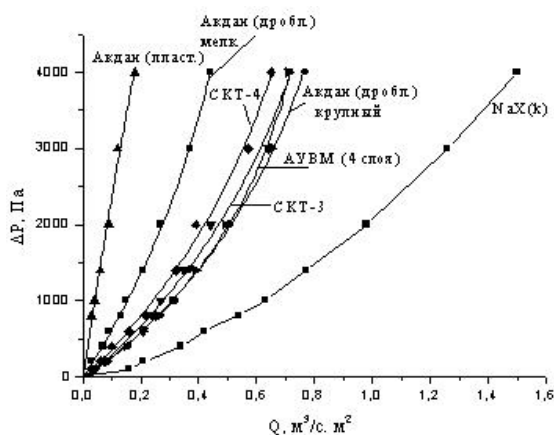


Рис. 2. Зависимость аэродинамического сопротивления цилиндрического макета адсорбера от удель-

ного расхода воздуха через него для различных адсорбентов

Видно, что наименьшим аэродинамическим сопротивлением обладает макет адсорбера, заполненный цеолитом NaX. Это, по нашему мнению, вызвано малой плотностью заполнения адсорбера, которая является следствием больших размеров гранул цеолита. Самыми плохими аэродинамическими характеристиками обладает пластинчатая модификация «Акдана». Это вызвано, по-видимому, размерами и формой зерен угля, которые представляют собой тонкие пластинки (чешуйки) размерами 1...3 мм и толщиной до 0,5 мм. Кривые зависимости ΔP от Q_0 для активных углей СКТ-3, СКТ-4, «Акдан» (дробленый) крупный и АУВМ «Днепр» близки во всей исследованной области. Поэтому с точки зрения аэродинамических свойств возможна полная или частичная замена активного угля СКТ-3 на СКТ-4 или «Акдан» (дробленый) крупный.

Проблема полной или частичной замены адсорбента в фильтре АУ-1500 возникает при работах по восстановлению фильтров, в результате которых удаляется и отсеивается примерно 20 % угля СКТ-3. Этот уголь надо чем-то заменить. Для этого можно

использовать просеянный уголь СКТ-3 с другого адсорбера, либо досыпать новый уголь СКТ-3, СКТ-4 или «Акдан» (дробленый) крупный. Данные по аэродинамическому сопротивлению всех адсорбентов можно использовать при разработке новых конструкций адсорберов. Большой интерес представляют данные для АУВМ «Днепр». При их существенном преимуществе в адсорбционной емкости по йодистому метилу углеродная ткань имеет очень развитую поверхность, что должно обеспечивать высокие коэффициенты очистки при небольшой толщине слоя. По данным работы [5] пакет углерод-

ной ткани толщиной в 4 слоя (2...7 мм) обеспечивает коэффициент очистки по CH_3I 100...200, в то время как для обеспечения такой степени очистки в аналогичных условиях нужна высота слоя зернистых адсорбентов в 10...100 раз выше.

На рис. 3,а и б изображена зависимость перепада давлений на макете адсорбера от удельного расхода воздуха для активных углей СКТ-3 и «Акдан» (дробленый) крупный при различных временах просеивания на сите с ячейкой 2 мм.

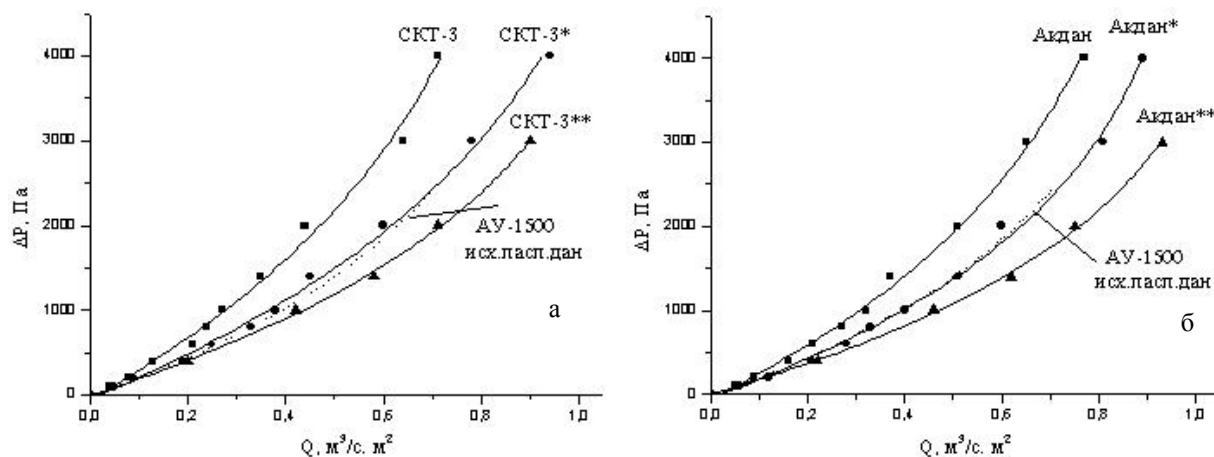


Рис. 3. Зависимость аэродинамического сопротивления цилиндрического макета адсорбера от удельного расхода воздуха для активного угля при различных продолжительностях (t) просеивания угля через сито с ячейкой 2 мм:

а – СКТ-3 при $t=0$; СКТ-3* при $t=3$ мин; СКТ-3** при $t=5$ мин;
б – «Акдан» дробленый (крупный) при $t=0$; «Акдан»* при $t=3$ мин; «Акдан»** при $t=5$ мин

На графике изображена также зависимость ΔP от Q_0 для АУ-1500 (паспортные данные). Видно, что с увеличением времени просеивания исходного адсорбента аэродинамическое сопротивление уменьшается. Этот факт можно использовать для оперативного определения качества просеивания адсорбента для адсорбера, восстанавливаемого по технологии ННЦ ХФТИ. В прибор загружается при ручной вибрации необходимое количество угольного адсорбента из партии, подготовленной для засыпки в восстанавливаемый адсорбер. При нескольких разных величинах потока воздуха измеряется величина аэродинамического сопротивления слоя адсорбента в приборе. При несоответствии сопротивления необходимой величине подготовленная партия угольного адсорбента направляется на пересев.

Основное значение полученных результатов – это возможность сопоставить адсорбционные и аэродинамические характеристики некоторых распространенных адсорбентов, перспективных для использования в системах вентиляции и спецгазоочистки АЭС. Для этого основные результаты, полученные в рамках выполнения данных исследований, и адсорбционные характеристики этих же адсорбен-

тов, опубликованные в работах [6, 7], приведены в виде табл. 2.

Для правильного выбора адсорбента, перспективного для использования в системах очистки воздуха на АЭС, укажем на отличие в условиях работы адсорбционных фильтров в вентиляционных системах и системах спецгазоочистки. В вентиляционных системах адсорберы работают при очень больших потоках воздуха $\sim 1500 \text{ м}^3/\text{ч}$, насыщенного атмосферной влагой, а в системах спецгазоочистки потоки очищаемого воздуха примерно на два порядка меньше, и перед попаданием в адсорбционную колонну происходит предварительная осушка газа на влагопоглотителях. Поэтому для вентиляционных систем основными сопоставляемыми данными будут данные об адсорбционной емкости насыщенных влагой адсорбентов, а для системы спецгазоочистки – данные об адсорбционной емкости обезвоженных адсорбентов. При этом более важным считается адсорбционная емкость по парам йодистого метила, так как его процентное содержание в йодных примесях вентилируемого воздуха около 60%. Кроме этого следует отметить, что в течение основного времени использования адсорбента он работает в области малых парциальных давлений йода и йодистого ме-

тила и, соответственно, в области малых заполнений адсорбционного пространства, далеких от максимального заполнения пористой структуры. Не исключена возможность, что при таких заполнениях соотношение адсорбционных емкостей различных

адсорбентов может измениться. Мы же предполагаем, что и при очень малых парциальных давлениях сорбируемых компонент соотношение адсорбционных емкостей будет сохраняться.

Таблица 2

Некоторые адсорбционные и аэродинамические характеристики исследованных адсорбентов

Эксперимент			Адсорбент						
			СКТ-3	СКТ-4	Акдан др.мел.	Акдан др.кр.	Акдан пласт.	NaX	АУВМ
1	Адсорбция J ₂ , мг/см ³ [6]	Адсорбент насыщен влагой	0,97	2,1	0,95	0,95	1,39	0,58	
		Адсорбент обезвожен	3,1	3,35	3,1	3,1	4,16	12,8	
2	Адсорбция CH ₃ J, г/см ³ [7]	Адсорбент насыщен влагой	0,010	0,020	0,011	0,011	0,011	0,009	0,051
		Адсорбент обезвожен	0,45	0,64	0,18	0,18	0,39	0,42	1,12
3	Аэродинамическое сопротивление □P, Па		2600	3000	>4000	2200	>4000	900	2300

Примечание. 1 – адсорбционная емкость по парам йода измерена при 20 °С и парциальном давлении паров йода 0,17 мм рт.ст.; 2 – адсорбционная емкость по парам йодистого метила измерена при 20 °С и парциальном давлении йодистого метила 325 мм рт.ст.; 3 – величина перепада давлений □P на адсорбере измерена для удельного потока Q = 0,53 м³/с·м², что аналогично потоку воздуха 1500 м³/ч через адсорбер АУ-1500, толщина слоя адсорбента 300 мм, а для АУВМ - пакет из 4 слоев ткани ~ 5 мм.

4. ВЫВОДЫ

Из приведенных данных видно, что в системах вентиляции АЭС, работающих в условиях прокачки влажного воздуха, возможна полная замена активного угля СКТ-3 адсорбентами АУВМ, СКТ-4, «Акдан» (дробленый) крупный и частичная замена цеолитом NaX. Активные угли «Акдан» (пластинчатый) и «Акдан» (дробленый) мелкий не подходят в связи с высоким аэродинамическим сопротивлением. В системах спецгазоочистки на адсорбер поступает осушенный воздух и согласно полученным данным возможна замена активного угля СКТ-3: полная – адсорбентами АУВМ, СКТ-4; частичная – адсорбентами NaX и «Акдан» (пластинчатый).

ЛИТЕРАТУРА

1.Л.И. Федорова, П.Я. Полтинин, Л.В. Карнацевич, М.А. Хажмурадов, С.О. Лысцов. К вопросу об изменении аэродинамических параметров угольных адсорберов типа АУ-1500 систем вентиляции АЭС // *ВАНТ. Серия «Ядерно-физические исследования (Теория и эксперимент)»*. 1999, в. 1 (33), с. 118-119.
 2.Л.И. Федорова, П.Я. Полтинин, Л.В. Карнацевич, М.А. Хажмурадов, С.О. Лысцов, В.В. Тесленко, В.И. Жуковин, В.А. Левицкий. Исследование роста

аэродинамического сопротивления фильтров типа АУ-1500 систем вентиляции АЭС // *Атомная энергия*. 2000, т. 88, в. 1, с. 74–76.

3.Декларационный патент Украины №61598 А. *Способ восстановления адсорбера системы очистки воздуха* /П.А. Березняк, О.И. Волчок, А.Н. Довбня, Л.В. Карнацевич, В.Г. Колобродов, В.И. Лапшин, И.М. Неклюдов, П.Я. Полтинин, А.А. Саньков, Л.И. Федорова, М.А. Хажмурадов., 17.11.2003 //Бюл. №11, 2003.

4.Л.А. Кольшкин, К.К. Михайлова. *Активные угли*: Справочник. Л.: «Химия», 1972, 57 с.

5.Н.И. Ампелогова, В.Г. Крицкий, В.И. Крупенникова, А.И. Скворцов. Углеволокнистые материалы-адсорбенты для очистки газов от радиоактивного йода // *Атомная энергия*. 2002, т. 92, в. 4, с. 303–307.

6.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. 114–119.

7.В.Г. Колобродов, Л.В. Карнацевич, П.А. Березняк. Адсорбция паров йодистого метила некоторыми адсорбентами //Там же, с. 110–113.

АЕРОДИНАМІЧНИЙ ОПІР ШАРІВ ДЕЯКИХ АДСОРБЕНТІВ

В.Г. Колобродов, Л.В. Карнацевич, П.О. Березняк, М.А. Хажмурадов, Э.І. Винокуров, В.І. Спіцина

Описано експериментальний стенд і методику визначення аеродинамічного опору шару адсорбенту. Визначено залежність величини перепаду тиску на макетах адсорберів різної конструкції, заповнених різними адсорбентами від величини витрати повітря. Вивчено торф'яні вугілля СКТ-3 і СКТ-4 російського виробництва, активні антрацити типу "Акдан" трьох модифікацій виробництва АТЗТ "Харківський коксовий завод", активовані вуглецеві волокнисті матеріали АУВМ "Дніпро" і цеоліт NaX українського виробництва. Запропоновано методику оперативного визначення аеродинамічного опору шару адсорбенту, яка необхідна при роботах по відновленню адсорбційних фільтрів АУ-1500.

AERODYNAMIC RESISTANCE OF SOME ADSORBENT LAYERS

V.G. Kolobrodov, L.V. Karnatsevich, P.A. Bereznyak, M.A. Khazhmuradov, E.I. Vinokurov, V.I. Spitsyna

Experimental stand and method of definition of layer adsorbent aerodynamic resistance are described. Dependence of pressure fall on air consumption at models of adsorbers of different construction filled with different adsorbents is studied. Peat carbons CKT-3 and CKT-4 produced in Russia, three modifications of active anthracites of "Akdan" type produced by "Kharkov coking plant", activated carbon fibrous materials AUVM "Dnieper" and NaX zeolite produced in Ukraine were studied. Method of the on-line definition of adsorbent layer aerodynamic resistance is proposed. This method is necessary during the works on maintenance of the adsorber filters AU-1500.