

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АКТИВИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИА- ЛОВ «ДНЕПР» В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦИИ И СПЕЦГАЗООЧИСТКИ АЭС

*\*В.Г. Колобродов, \*М.А. Хажмурадов, \*Т.К. Григорова, \*\*В.П. Сергеев, \*\*В.Н. Клевцов,  
\*\*Е.П. Плыгань*

*\*ННЦ «Харьковский физико-технический институт»,  
г. Харьков;*

*\*\*Институт проблем материаловедения им. И.Н. Францевича НАН,  
г. Киев, Украина*

Приведены результаты исследования адсорбционной емкости активированных углеродных волокнистых материалов (АУВМ) типа «Днепр», разработанных в ИПМ НАНУ, по парам йода и йодистого метила при комнатной температуре в статистическом режиме. В экспериментах использовался стабильный изотоп йода с атомным весом 127, а также йодистый метил, полученный на основе I127. Исследования проведены на пяти различных АУВМ. Полученные результаты сопоставлены с адсорбционной емкостью в аналогичных условиях активного угля СКТ-3, применяемого в системах вентиляции и спецгазоочистки на АЭС. Показано, что АУВМ по всем параметрам в несколько раз превосходит емкость СКТ-3, что позволяет сделать вывод о значительно большем ресурсе работы адсорбера, заполненного АУВМ.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

При работе атомных электростанций неизбежны утечки радиоактивных продуктов деления из тепло-выделяющих элементов в первый контур реактора, а из него – во второй контур и рабочие помещения АЭС. Основными радиоактивными газовыми продуктами деления (ГПД) являются изотопы криптона и ксенона, а летучими продуктами деления (ЛПД) – пары йода и его органических соединений. Особую опасность для обслуживающего персонала представляет изотоп йода -131 в силу своей способности накапливаться в организме человека. Для удаления ГПД и ЛПД из рабочих помещений АЭС и ограничения их выброса в атмосферу на станциях предусмотрены различные системы вентиляции и спецгазоочистки. Очистка воздуха от радиоактивных изотопов ксенона, криптона, йода и его соединений осуществляется при помощи адсорбционных фильтров. Основным адсорбентом, применяемым в системах вентиляции и спецгазоочистки АЭС, является активный уголь СКТ-3. Для повышения эффективности поглощения паров йодистого метила в угольных адсорберах типа АУ-1500 часто применяется импрегнированный активный уголь СКТ-3И. Выбор активного угля СКТ-3 для систем вентиляции и спецгазоочистки АЭС был обусловлен его наибольшей адсорбционной емкостью по ксенону, дающему самый большой вклад в радиоактивные выбросы АЭС в атмосферу. СКТ-3 – активный уголь рекуперационного типа, получаемый в виде гранул методами сернисто-калиевой активации углеродосодержащего сырья, производитель АООТ ЭХМЗ г. Электросталь (Россия). В настоящее время для всех четырех АЭС Украины встает вопрос о реконструкции существующих и создании новых си-

стем вентиляции и спецгазоочистки. Это вызвано следующими причинами:

- снижением коэффициентов очистки адсорбционных фильтров в результате накопления в них адсорбируемых примесей;
- исчерпанием ресурса работы адсорберов;
- ненормативным ростом аэродинамического сопротивления адсорберов АУ-1500 из-за износа адсорбента и накопления внутри фильтров пылевой фракции;
- ужесточением норм допустимого выброса радионуклидов в атмосферу.

Основными характеристиками адсорбционных фильтров являются коэффициент очистки и ресурс работы. Это адсорбционные характеристики, зависящие от взаимодействия в системе адсорбент-адсорбат. Так, например, ресурс работы адсорбера можно определить, зная изотерму адсорбции примесной компоненты. Взяв из изотермы величину адсорбции при заданном парциальном давлении и умножив ее на массу адсорбента в адсорбере, получим ресурс работы. Коэффициент очистки фильтра можно вычислить, определив концентрацию примесной компоненты на входе и выходе фильтра при работе в реальных условиях.

Вся сложность определения адсорбционных характеристик фильтров заключается в очень малой величине примесной компоненты. Концентрация паров йода в вентилируемом воздухе на входе в адсорбционный фильтр типа АУ-1500 по нашим оценкам составляет примерно  $10^{-16}$  % (объемных), а на выходе  $\sim 10^{-18}$  %. Такие концентрации невозможно измерить доступными нам методами анализа. Эти же трудности возникают и при измерении изотерм

адсорбции объемным методом. Измерения таких малых концентраций примесей производятся довольно сложной методикой с использованием «меченых» атомов J-131. В Украине такой методикой никто не владеет. Так как активные угли типа СКТ-3 производятся в России, возникает вопрос об использовании новых адсорбентов отечественного производства.

В работах [1,2,3] исследованы некоторые адсорбционные и аэродинамические характеристики активного антрацита «Акдан», выпускаемого АОЗТ «Харьковский коксовый завод». Полученные данные сопоставлены с данными для СКТ-3. Изучена возможность применения «Акдан» в системах вентиляции и спецгазоочистки АЭС. В работе [2] построены изотермы адсорбции паров йодистого метила углеродными адсорбентами при комнатной температуре. Наибольшей величиной адсорбционной емкости из исследованных адсорбентов обладает активированный углеродный волокнистый материал (АУВМ) «Днепр», разрабатываемый научно-исследовательской лабораторией базальтовых волокон в Институте проблем материаловедения НАН Украины. Активированный углеродный волокнистый материал имеет хорошие технологические параметры – практически не крошится, не истирается, технологичен при создании адсорбционных пакетов.

В работе [3] проведены исследования некоторых адсорбционных и аэродинамических характеристик АУВМ «Днепр» и показана перспективность использования АУВМ для очистки от паров йода тех-

нологических газовых сдувов из оборудования и воздуха АЭС.

## 2. АДСОРБЦИЯ ПАРОВ ЙОДА И ЙОДИСТОГО МЕТИЛА

Проведены измерения адсорбционной емкости образцов АУВМ «Днепр» по парам йода и йодистого метила при комнатной температуре в статическом режиме при различных условиях подготовки адсорбентов. В экспериментах использовался стабильный изотоп йода с атомным весом 127, а также йодистый метил, полученный на основе J-127. По физико-химическим свойствам изотопы йода (как стабильные, так и радиоактивные) практически не отличаются друг от друга. Поэтому результаты исследований обычного стабильного изотопа J-127 могут быть перенесены на радиоактивный изотоп J-131.

Исследования были проведены на пяти различных активированных углеродных волокнистых материалах. Адсорбционные характеристики АУВМ по различным газам исследовались нами и ранее [5,6]. Большие величины адсорбционной емкости и удельной поверхности, высокая технологичность использования обеспечили эффективное применение углеродных тканей для создания криоадсорбционных насосов с большой скоростью откачки; для вакуумирования сосудов Дьюара, используемых для хранения криогенных жидкостей; для создания пакетов экранно-вакуумной тепловой изоляции (ЭВТИ), применяемых в космических устройствах и т.д. Некоторые характеристики пяти исследуемых образцов АУВМ приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики исследуемых образцов АУВМ

Параметр	Адсорбент					
	АУВМ №1	АУВМ №2	АУВМ №3	АУВМ №4	АУВМ №5	СКТ-3
Тип плетения АУВМ	трикотаж	трикотаж	саржа	саржа	саржа	
Сорбционный объем пор, см <sup>3</sup> /г	0,30	0,85	0,42	1,25	0,93	0,7
Толщина 1 слоя АУВМ в свободном и уплотненном состоянии, мм	1,5/0,5	1,5/0,5	0,5/0,3	0,5/0,3	0,5/0,3	
Плотность намотки (засыпки), г/см <sup>3</sup>	0,38	0,19	0,64	0,21	0,25	0,42

Примечание. АУВМ «Днепр» представляет собой углеволокнистый активированный материал в виде ткани саржевого плетения или трикотажа, состоящий из комплексных углеродных нитей, каждая из которых содержит около двух тысяч элементарных волокон диаметром 6...8 мкм с хорошо развитой микро-, мезо-, и макропористостью. Он получен с использованием в качестве исходной основы гидратцеллюлозных волокон, которые подвергали карбонизации и парогазовой активации до обгара от 30 до 70 %. Элементный состав АУВМ следующий: углерод – не менее 94 %, минеральные примеси (зола) – не более 4 %, кислород, водород – около 2 %, ширина ткани 500...600 мм, трикотажа 230...350 мм, толщина ткани 0,4...0,5 мм, трикотажа 1,0...1,5 мм.

Экспериментальные стенды и методика измерения адсорбционной емкости адсорбентов по парам йода и йодистого метила подробно описаны в работах [1,2]. Были проведены две серии экспериментов. В первой серии исследования проводились на образ-

цах АУВМ, полностью насыщенных парами воды вследствие длительного хранения на воздухе. Вторая серия экспериментов проводилась на полностью обезвоженных образцах. Полное удаление паров воды достигалось регенерацией образцов форваку-

умной откачкой при температуре 350 °С в течение 2 ч. Эксперименты проводились при температуре (20 °С), давлении паров йода 0,17 мм рт. ст. и давлении паров йодистого метила 325 мм рт. ст. В связи с тем, что эксперименты по адсорбции паров йода и йодистого метила для АУВМ проводились при парциальных давлениях значительно больших, чем в вентилируемом воздухе, в аналогичных условиях измерялась адсорбционная емкость по парам йода и йодистого метила активного угля СКТ-3. Сопоставляя адсорбционные емкости СКТ-3 и образцов АУВМ и предполагая, что соотношение адсорбционных емкостей сохраняется при более низких парциальных давлениях, можно сделать вывод о возможности применения АУВМ. Как известно, адсорбционная емкость характеризует одну из основных величин работы адсорбционного фильтра – ресурс работы. Результаты адсорбции паров йода на насыщенных влагой адсорбентах приведены на рис. 1 в виде графиков зависимости относительного изменения массы адсорбента от времени адсорбции.

Видно, что адсорбционная емкость образцов АУВМ по парам йода находится в прямой зависимости от пористости углеродной ткани (см. табл. 1). Необходимо отметить, что три образца АУВМ (образцы № 4, 5 и 2) превосходят в адсорбционной емкости по парам йода активный уголь СКТ-3. При этом величина адсорбционной емкости образца № 4 по парам йода примерно в 2,5 раза превышает емкость угля СКТ-3. Особенностью кривых  $\Delta m/m$  от  $t$  (см. рис. 1), является то, что даже через 500 ч эксперимента адсорбция продолжается, т.е. кривые не выходят на насыщение.

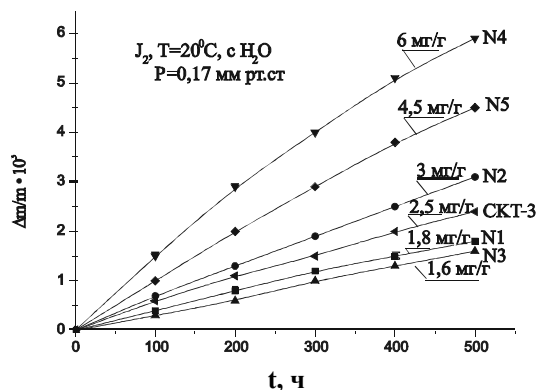


Рис. 1. Зависимости относительного изменения массы адсорбентов, насыщенных парами воды, от времени адсорбции при температуре 20 °С, атмосферном давлении воздуха и парциальном давлении паров йода 0,17 мм рт. ст.

Значительное время установления равновесия в данных экспериментах обусловлено, по нашему мнению, низким значением коэффициента диффузии молекулярного йода в воздухе. Нужно отметить, что при работе адсорбентов в динамическом режиме адсорбции этот коэффициент диффузии (внешняя диффузия) не должен влиять на скорость протека-

ния процессов, так как пары йода поступают с потоком воздуха, продуваемого через адсорбер. В этом случае время насыщения адсорбента зависит от скорости потока очищаемого воздуха, энергии взаимодействия молекул в системе адсорбент-адсорбат и скорости диффузии молекул йода в поры.

На рис. 2 показаны графики зависимости от времени адсорбции паров йода в вакууме для полностью обезвоженных образцов.

Видно, что для всех исследованных адсорбентов эти кривые выходят на насыщение через 200...300 ч эксперимента. Все образцы углеродной ткани превосходят в адсорбционной емкости по парам йода уголь СКТ-3. При этом величина адсорбционной емкости образца № 4 приблизительно в 3 раза больше адсорбционной емкости для активного угля СКТ-3. Выход кривых  $\Delta m/m$  от  $t$  на насыщение, по нашему мнению, обусловлен более высоким значением коэффициента диффузии йода в вакууме, чем при атмосферном давлении воздуха. Величины адсорбционной емкости по парам йода для обезвоженных и насыщенных влагой адсорбентов отличаются приблизительно в 4 раза.

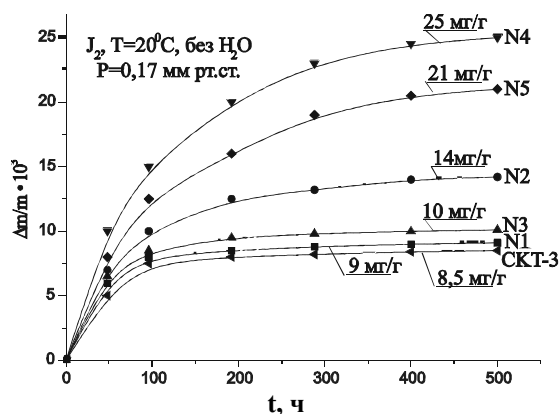


Рис. 2. Зависимости относительного изменения массы полностью обезвоженных адсорбентов от времени при адсорбции паров йода в вакууме при температуре 20 °С и давлении паров йода 0,17 мм рт. ст.

Результаты адсорбции паров йодистого метила адсорбентами, насыщенными влагой, изображены на рис. 3.

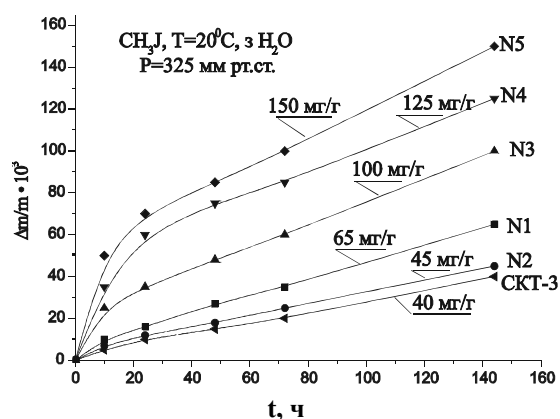


Рис. 3. Зависимости относительного изменения массы адсорбентов, насыщенных парами воды, от времени адсорбции при температуре 20 °С, атмосферном давлении воздуха и парциальном давлении паров йодистого метила 325 мм рт. ст

Для всех исследованных адсорбентов, предварительно насыщенных влагой, за 150 ч эксперимента не наблюдается выхода кривых  $\Delta m/m$  от  $t$  на насыщение. После 20...40 ч адсорбции происходит заметное снижение ее скорости. Это особенно хорошо видно для образцов № 4 и 5, имеющих наибольшую из исследованных образцов емкость по парам йодистого метила, которая в 3-4 раза превосходит адсорбционную емкость активного угля СКТ-3. Необходимо отметить, что все образцы АУВМ, насыщенные атмосферной влагой, имеют адсорбционную емкость по йодистому метилу большую, чем СКТ-3.

Результаты адсорбции йодистого метила обезвоженными адсорбентами показаны на рис. 4 в виде зависимости  $\Delta m/m$  от  $t$ .

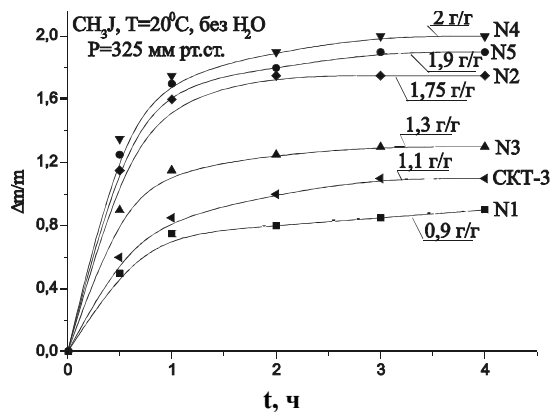


Рис. 4. Зависимости относительного изменения массы полностью обезвоженных адсорбентов от времени при адсорбции паров йодистого метила в вакууме при температуре 20 °С и давлении паров йодистого метила 325 мм рт. ст.

Для всех адсорбентов, из которых в результате регенерации полностью удалена влага, насыщение парами йодистого метила происходит приблизительно за 1-2 ч. Наибольшей емкостью по парам йодистого метила среди полностью обезвоженных адсорбентов обладают образцы АУВМ № 4 и 5, емкость которых в 2 раза превышает емкость активного угля СКТ-3.

Необходимо отметить, что адсорбция йодистого метила происходит довольно быстро и с выделением значительного количества тепла за счет теплоты адсорбции. Это приводит к существенному повышению температуры ампулы с адсорбентом (до 50...60 °С) в начальный период эксперимента. Охлаждение адсорбента до комнатной температуры осуществляется в результате естественного теплообмена приблизительно за 1 ч. По-видимому, этим температурным эффектом и определяется время выхода кривых  $\Delta m/m$  от  $t$  на насыщение.

107

Сопоставляя данные по адсорбционной емкости по парам йодистого метила для обезвоженных и насыщенных влагой адсорбентов, можно сделать вывод, что наличие влаги в адсорбентах уменьшает их адсорбционную емкость в 15 раз.

### 3. АЭРОДИНАМИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ СЛОЕВ АКТИВИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Аэродинамическое сопротивление является важной характеристикой адсорбционных фильтров. Его измеряют в величине перепада давлений  $\Delta P$  на входе и выходе при заданных величинах расхода воздуха. Эта величина легко измеряется при помощи дифференциального манометра и составляет в системах вентиляции воздуха, как правило, несколько килопаскалей. Давление в системах вентиляции воздуха на АЭС обычно ниже атмосферного для предотвращения утечки радионуклидов при нарушении герметичности вентиляционных каналов. Аэродинамическое сопротивление и величина расхода вентилируемого воздуха взаимосвязаны, поэтому любое увеличение аэродинамического сопротивления вызывает уменьшение производительности фильтра и наоборот.

Увеличение аэродинамического сопротивления в большинстве случаев связано с разрушением адсорбента, а уменьшение возможно при выдувании его мелкой фракции. Первое явление вызывает увеличение коэффициента очистки и уменьшение производительности, а второе – уменьшение коэффициента очистки и увеличение производительности адсорбционного фильтра. Величина аэродинамического сопротивления имеет большое значение в системах вентиляции и спецгазоочистки при больших расходах воздуха и является существенным фактором при проектировании систем вентиляции.

Величина удельной производительности при заданном аэродинамическом сопротивлении  $\Delta P$ -слоя адсорбента позволяет рассчитать рабочую поверхность адсорбционного фильтра заданной производительности. Поэтому построение графика зависимости аэродинамического сопротивления  $\Delta P$ -слоя адсорбента от удельной производительности имеет большое практическое значение.

На экспериментальном стенде для определения аэродинамического сопротивления слоев адсорбентов, конструкция которого описана в работе [3], по методике, описанной в этой же работе, измерена зависимость  $\Delta P$  от величины расхода воздуха  $Q$  через него для различных образцов АУВМ. Пакет из четырех слоев углеродной ткани устанавливался на столик экспериментального стенда, уплотнялся и снималась зависимость  $\Delta P$  от  $Q$ . Эта зависимость для пяти образцов АУВМ изображена на рис. 5.

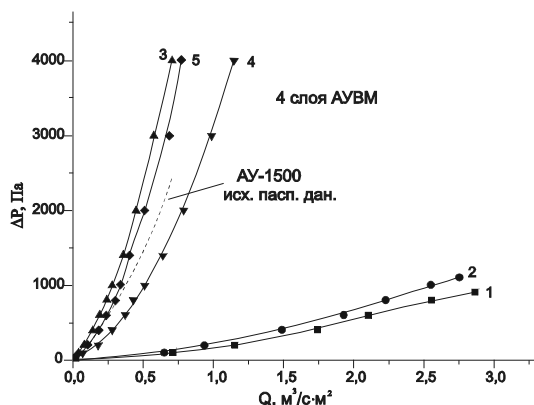


Рис. 5. Зависимости аэродинамического сопротивления макета адсорбера, заполненного различными образцами АУВМ, от удельного расхода воздуха через него. Номера кривых – номера образцов АУВМ

Пунктиром показана паспортная зависимость  $\Delta P$  от  $Q$  для адсорбера АУ-1500. Пакет из четырех слоев АУВМ составлен на основании данных работы [4], согласно которым пакет углеродной ткани типа бусофит толщиной в 4 слоя (2...7 мм) обеспечивает коэффициент очистки по СНЗJ, равный ~100.

Из графиков (см. рис. 5) видно, что наибольшим аэродинамическим сопротивлением обладает образец № 3 с наименьшей (из образцов саржевого плетения) степенью активации, а наименьшим – образец № 1 трикотажного плетения. Аэродинамическое сопротивление 4-слойного пакета образцов саржевого плетения № 3, 5 и 4 имеет величину, близкую к паспортному значению  $\Delta P$  для фильтра АУ-1500.

#### 4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Значение коэффициента очистки адсорбционно-го фильтра находится в прямой зависимости от величины геометрической поверхности адсорбента. Особенно сильно это проявляется при малых временах контакта примесной компоненты с адсорбентом.

Точное определение геометрической площади адсорбирующей поверхности адсорбентов со сложной пористой структурой невозможно. Однако существует несколько методов оценки этой величины. В основе каждого из этих методов лежит определенная модель строения и свойств адсорбирующей поверхности. Метод Брунауэра, Эммета и Теллера (БЭТ) является одним из наиболее адекватных методов определения удельной поверхности адсорбентов. На установке и по методике, описанной в работе [7], нами были определены удельные поверхности исследуемых образцов.

В результате проведенных измерений были вычислены удельные поверхности углеродных волокнистых материалов с различной степенью активации. Величины удельной поверхности равны: образец № 1 – 570; № 2 – 830; № 3 – 730; № 4 – 1750; № 5 – 1000 м<sup>2</sup>/г. Значение величин удельной поверхности хорошо коррелирует со значением сорбционного объема пор (см. табл. 1). Наибольшие сорбционный объем пор и удельную поверхность имеет образец № 4 – 1,25 см<sup>3</sup>/г и 1750 м<sup>2</sup>/г соответственно, а наименьшую – образец № 1 – 0,30 см<sup>3</sup>/г и 570 м<sup>2</sup>/г. Полученные данные адсорбционных и геометрических характеристик исследованных адсорбентов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Некоторые адсорбционные и геометрические характеристики исследованных адсорбентов

Характеристика	Адсорбент						
	АУВМ №1	АУВМ №2	АУВМ №3	АУВМ №4	АУВМ №5	СКТ-3	
Сорбционный объем пор, см <sup>3</sup> /г	0,30	0,85	0,42	1,25	0,93		
Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /г	570	830	730	1750	1000	1300	
Насыпная плотность, г/см <sup>3</sup>	0,38	0,19	0,64	0,21	0,25	0,42	
Тип адсорбента	трикотаж	трикотаж	саржа	саржа	саржа	гранулы d=2 мм	
Емкость по парам J <sub>2</sub> , мг/г	с Н <sub>2</sub> О	1,8	3,0	1,6	6,0	4,5	2,5
	без Н <sub>2</sub> О	9,0	14	10	25	21	8,5
Емкость по парам СНЗJ, г/г	с Н <sub>2</sub> О	0,065	0,045	0,10	0,125	0,15	0,04
	без Н <sub>2</sub> О	0,9	1,75	1,3	2,0	1,9	1,1
Аэродинамическое сопротивление $\Delta P$ , Па	80	80	2830	1100	2280	1700	

Примечание. Адсорбционная емкость по парам йода определялась при комнатной температуре (20 °С) и парциальном давлении паров йода 0,17 мм рт. ст. Адсорбционная емкость по парам йодистого метила определялась при температуре 20 °С и парциальном давлении йодистого метила 325 мм рт. ст. Аэродинамическое сопротивление определено для удельного расхода воздуха 0,53 м<sup>3</sup>/(с·м<sup>2</sup>), что соответствует расходу вентилируемого воздуха через фильтр АУ-1500.

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 приблизительно 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 насыщенными 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 составляет около 60 %.

Из табл. 2 видно, что образцы АУВМ, имеющие высокую степень активации (обр. № 4 и 5), существенно превосходят по адсорбционной емкости в условиях проведения эксперимента активный уголь СКТ-3. Кроме этого, образцы АУВМ имеют очень развитую геометрическую поверхность в результате маленького диаметра нитей плетения, что должно обеспечивать высокий коэффициент очистки адсорбционного фильтра от примесей паров йода и его органических соединений.

В работе [4] были изучены углеволокнистые материалы типа бусофит и АУТ-М (производство завода «Химволокно», г. Светлогорск, Белорусь) с поверхностной плотностью до  $670 \text{ г}/\text{см}^2$  и удельной поверхностью до  $1240 \text{ м}^2/\text{г}$ , изготовленные в виде ткани, трикотажа и нетканого материала. Диаметр волокна не превышает 3...15 мкм. Эти особенности обеспечивают высокие кинетические параметры поглощения летучих форм йода. Скорость адсорбции лучшим углеволокном в 15 раз выше по сравнению с гранулированным углем. Углеволокнистые материалы при фильтрации воздуха вентиляционных систем и технологических сдувок Ленинградской АЭС, загрязненного радиоактивным йодом, поглощают до 99% J-131. Сопоставляя параметры, характеризующие эффективность поглощения  $\text{СН}_3\text{I}$  из воздуха разными сорбентами, а также необходимую высоту слоя и массу адсорбента в адсорбере, авторы делают вывод, что для достижения 99...99,5%-й эффективности очистки от микроконцентрации  $\text{СН}_3\text{I}$  достаточен слой бусофита высотой 2...7 мм в отличие от зернистых адсорбентов, для которых необходимая высота слоя в 10...100 раз выше.

Экстраполируя полученные нами данные о соотношении адсорбционной емкости АУВМ и СКТ-3 по парам йода и йодистого метила в область более низких давлений, с большой степенью достоверности можно утверждать, что и в области малых парциальных давлений это соотношение сохранится. Ресурс работы адсорбера, заполненного АУВМ, будет существенно больше, чем для адсорбера с СКТ-

3, или при том же ресурсе работы можно в несколько раз уменьшить объем адсорбера. Кроме того, большая геометрическая поверхность углеродных тканей должна обеспечить высокие коэффициенты очистки вентилируемого воздуха от примесей йода. Следует также подчеркнуть, что углеволокнистый материал термостоек и гидрофобен, поэтому работоспособен при режимах работы с высоким паросодержанием газовой среды и повышенной температурой.

## 5. ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований для активированных углеродных волокнистых материалов с различной степенью активации вычислены адсорбционные емкости при  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  по парам йода при давлении 0,17 мм рт. ст. и йодистого метила при давлении 325 мм рт. ст. Полученные величины сопоставлены с адсорбционной емкостью в аналогичных условиях активного угля СКТ-3, применяемого в системах вентиляции и спецгазоочистки на АЭС Украины.

Установлено, что адсорбционная емкость АУВМ типа «Днепр» с большой степенью активации (объем пор  $0,93...1,25 \text{ см}^3/\text{г}$ ) в несколько раз превосходит емкость СКТ-3 по парам йода и йодистого метила, что позволяет сделать вывод о значительно большем ресурсе работы адсорбера, заполненного АУВМ. Кроме этого, хорошо развитая геометрическая поверхность углеродной ткани должна обеспечивать высокие коэффициенты очистки адсорберов.

Определена зависимость аэродинамического сопротивления слоев АУВМ от удельного расхода воздуха через фильтр. Это дает возможность производить расчет рабочей поверхности фильтра при заданных  $\Delta P$  и  $Q$ .

Высокая эффективность поглощения паров йода и его органических соединений при малой толщине слоев углеволокнистой ткани позволяет создать малогабаритные фильтры-адсорберы для улавливания этих примесей из газовых выбросов АЭС. Кроме этого, АУВМ может быть использован при разработке комбинированных фильтров, т.е. фильтров, совмещающих функции очистки от аэрозолей и летучих соединений йода. В целом следует отметить, что адсорбционный углеродный волокнистый материал является перспективным для применения в системах вентиляции воздуха и спецгазоочистки АЭС.

## ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. В.Г. Колобродов, Л.В. Карнацевич, П.А. Березняк. Адсорбция паров йодистого метила некоторыми ад-

сорбентами //ВАНТ. Серия «Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение» (84). 2003, № 6, с. 110–113.

3. 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» (см. наст. номер, с. ).

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

5. В.Г. Колобродов, И.В. Богоявленский, Л.В. Карнацевич, В.С. Коган, А.В. Пучков. Применение углеродного волокнистого материала в адсорбционном

насосе для откачки паров  $Ne^3$  //ВАНТ. Серия «Ядерно-физические исследования (Теория и эксперимент)». 1989, в. 3(3), с. 25–28.

6. Т.К. Григорова, Л.В. Карнацевич, В.Г. Колобродов, Л.В. Левикова, В.П. Сергеев, В.Ф. Литвинов, П.П. Кондратюк. Адсорбционные характеристики активированных углеродных волокнистых материалов типа АУВМ «Днепр» //ВАНТ. Серия «Ядерно-физические исследования (Теория и эксперимент)». 1991, в. 1(19), с. 9–14.

7. Т.К. Григорова, И.В. Лепин, Л.В. Карнацевич, В.С. Коган. Сравнение интегральных адсорбционных характеристик углеродных адсорбентов на основе измерений удельной поверхности методами БЭТ //ВАНТ. Серия «Вакуум, чистые материалы, сверхпроводники» (13). 2003, № 5, с. 30–34.

## ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ АКТИВОВАНИХ ВУГЛЕЦЕВИХ ВОЛОКНИСТИХ МАТЕРІАЛІВ «ДНІПРО» В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦІЇ ТА СПЕЦІАЛЬНОГО ГАЗООЧИЩЕННЯ АЕС

*В.Г. Колобродов, М.А. Хажмурадов, Т.К. Григорова, В.П. Сергеев, В.Н. Клевцов, Є.П. Плигань*

Наведені результати досліджень адсорбційної ємності активованих вуглецевих волокнистих матеріалів (АВВМ) типу «Дніпро», що розроблені в ІІМ НАНУ, по парам йоду та йодистого метилу при кімнатній температурі в статичному режимі. В експериментах використовувався стабільний ізотоп йоду з атомною вагою 127, а також йодистий метил, одержаний на основі J-127. Дослідження проведені на п'ятьох різних АВВМ. Одержані результати зіставлені з адсорбційною ємністю в аналогічних умовах активного вугілля СКТ-3, що використовується в системах вентиляції та спеціального газоочищення на АЕС. Показано, що АВВМ по всіх параметрах в декілька раз перевищують ємність СКТ-3, що дозволяє зробити висновок про значно більший ресурс роботи адсорбера, заповненого АВВМ.

## STUDYING OF THE POSSIBILITY OF THE USAGE OF ACTIVATED CARBON FIBROUS MATERIALS (ACFM) OF “DNIPRO” TYPE IN THE SYSTEMS OF VENTILATION AND SPECIAL GAS CLEANING AT NPP

*V.G. Kolobrodov, M.A. Khazhmuradov, T.K. Grygorova, V.P. Sergeev, V.N. Klevtsov, Ye.P. Plygan*

Results of studying of the adsorbtion characteristics of the activated carbon fibrous materials (acfm) of “Dnipro” type developed at the ismp uas at the iodine and iodic methyl vapors in static regime at the room temperature are given. In experiments we used stable iodine isotope with atomic weight 127 and iodic methyl obtained at the J127 basis. Investigations were carried out at five different acfm. Obtained results are compared with adsorbtion capacitance in the same conditions of the active coal SKT-3, that is used in the systems of ventilation and special gas cleaning at npp. It is shown that acfm at the all parameters exceeds SKT-3 capacitane in several times. From this we can conclude that adsorber filled with acfm has larger working life time.