

УДК 541.183:544.353.21

**А. А. Эннан<sup>1</sup>, Р. М. Длубовский<sup>1</sup>, Н. Н. Абрамова<sup>1</sup>, Р. Е. Хома<sup>1,2</sup>**<sup>1</sup>Физико-химический институт защиты окружающей среды и человека МОН и НАН Украины, ул. Преображенская 3, Одесса, 65082, Украина; e-mail: eskvar@ukr.net<sup>2</sup>Одесский национальный университет имени И.И. Мечникова, ул. Дворянская, 2, Одесса, Украина, 65082; email: rek@onu.edu.ua

## **ХЕМОСОРБЦИЯ ОКСИДА СЕРЫ (IV) ВОЛОКНИСТЫМИ МАТЕРИАЛАМИ, ИМПРЕГНИРОВАННЫМИ ПОЛИЭТИЛЕНПОЛИАМИНОМ. 2. ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРЕДАДСОРБЦИИ ПАРОВ ВОДЫ НА ХЕМОСОРБЦИЮ SO<sub>2</sub> ВОЛОКНИСТЫМИ МАТЕРИАЛАМИ**

В статических и динамических условиях исследована сорбция оксида серы (IV) искусственными и синтетическими волокнами, а также импрегнированными полиэтиленполиамином (ПЭПА) неткаными иглопробивными волокнистыми материалами (ИВХС-ПЭПА). Установлено, что процесс хемосорбции SO<sub>2</sub> ИВХС-ПЭПА происходит только при наличии «свободной» воды. Показано, что импортозаменяющий ИВХС-ПЭПА на основе лавсанового волокна не уступает по защитным характеристикам лучшим зарубежным волокнистым хемосорбентам марки ВИОН. Дано теоретическое обоснование возможности априорного определения резерва динамической поглотительной емкости и времени защитного действия респиратора, находившегося в эксплуатации.

**Ключевые слова:** волокнистые материалы, SO<sub>2</sub>, изотерма, вода, ПЭПА.

В большей части статей, посвященных исследованиям хемосорбции газов ионитами, авторы обращали внимание читателя на зависимость хемосорбционной активности ионитов от содержания воды; существование некоторого уровня «критического» влагосодержания, ниже которого сорбционная активность ионитов резко уменьшается. Обнаруженное явление, однако, объяснялось лишь на качественном уровне: увеличением набухаемости и доступности ионогенных групп [1-8].

Первая попытка количественной оценки роли воды при хемосорбции кислотных газов ионообменными волокнистыми материалами, в частности тетрафторида кремния, была осуществлена авторами [9]. На основании исследования гидратации модельного ряда целлюлозоанионитов, отличающихся числом ионогенных групп, основностью и гидрофильностью, установлено:

- существование взаимосвязи эффективности хемосорбции кислотных газообразных соединений, гидрофильности и природы ионогенных групп ионита;
- сорбированная при разных относительных давлениях водяного пара вода подразделяется на «связанную» и обычную – «свободную»;
- «критическое влагосодержание» ионита – состояние системы ионит-вода, когда сформированы монослой и ближайшие прочносвязанные с активными центрами адсорбционные слои молекул, но еще отсутствует «свободная» вода;
- процесс хемосорбции кислотных газов ионитами возможен только при наличии «свободной» воды.

Исходя из общетеоретических представлений, последний вывод в полной мере относится к процессам хемосорбции основных газов ионитами. Как показано [10], он правомерен и в случае хемосорбции кислых газов ИВХС.

В статье авторов [11] приведены сведения о гидратации ИВХС-ПЭПА и, для сравнения, волокнистых носителей из волокон различной химической природы (ВН), изготавливаемых промышленностью. В рамках теории полимолекулярной адсорбции Брунауэра-Эммета-Теллера проанализированы изотермы сорбции паров воды, определены величины емкости монослоя и значения энергетических констант взаимодействия молекул воды, образующих монослой с активными центрами адсорбентов.

В настоящей работе представлены результаты исследования хемосорбции оксида серы (IV) ИВХС-ПЭПА и влияния преадсорбции паров воды на этот процесс.

### Материалы и методики исследования

Для исследований использовали:

- в качестве ВН образцы нетканых иглопробивных волокнистых материалов ВВ-6-55 (В), ВКЛ-1-15 (КЛ), ВПП-180 (ПП), Нитрон (Н), «Фильтра-550» (Л), ВИОН КН-1 (КН) и ВИОН АН-3 (АН)<sup>1</sup>;
- ПЭПА (ТУ 2413-357-00203447-99);
- ИВХС (ВН, импрегнированные водными растворами ПЭПА, как описано [10]);
- оксид серы (IV), очищенный в соответствии с рекомендациями [12];
- «сухие» образцы ВН и ИВХС (вакуумированные до постоянной массы при  $T = 297$  К, остаточном давлении  $1,33 \cdot 10^{-3}$  кПа);
- образцы ВН и ИВХС, увлажненные при  $p/p_s = 0,92$ .

Опыты проводили при  $T = 297$  К в статических и динамических условиях. В первом случае использовали вакуумную сорбционную установку с кварцевыми пружинными весами Мак-Бена-Бакра [13], во втором – установку, принципиальная схема которой приведена на рис. 1.

Кондиционирование образцов – увлажнение до соответствующего условиям эксперимента влагосодержания – производили непосредственно в вакуумной установке до достижения состояния сорбционного равновесия при различных значениях относительного давления паров воды. Для опытов, проводимых в динамических условиях, использовали образцы, кондиционированные над растворами серной кислоты различной концентрации [14].

Концентрацию  $SO_2$  в газозооной смеси (ГВС) определяли с помощью электрохимического газоанализатора марки 667ЭХ10 (изготовитель – «Украналит» г. Киев).

Для исследования хемосорбции  $SO_2$  в условиях, приближенных к реальной эксплуатации средств индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД) использовали установку, принципиальная схема которой представлена на рис. 1. В условиях эксперимента концентрация  $SO_2$  в ГВС равнялась  $150$  мг/м<sup>3</sup> (15 ПДК),  $T = 297$  К, относительная влажность ГВС  $\varphi = 95$  % (линейная скорость потока ГВС –  $2,0$  см/с, объемная –  $0,001$  м<sup>3</sup>/мин). О защитной эффективности материалов ВН и ИВХС судили по времени их защитного действия ( $\tau$ , мин) и динамической

<sup>1</sup> В скобках указаны наименования волокон: В – вискозное, КЛ – смесь полиамидных и лавсановых, ПП – полипропиленовое, Н – полиакрилонитрильное, Л – лавсановое, КН и АН – слабокислотный катионит и слабоосновной анионит на основе полиакрилонитрильного волокна, соответственно.

активности (ДА). Время защитного действия и ДА фиксировали в момент, когда концентрация  $\text{SO}_2$  за слоем исследуемого материала составляла 1-3 мг/м<sup>3</sup>. ДА (мг  $\text{SO}_2$ /г) определяли по формуле:

$$\text{ДА} = \frac{C \cdot V \cdot \tau}{m}, \quad (1)$$

где  $C$  – концентрация  $\text{SO}_2$ , мг/м<sup>3</sup>;  $V$  – объемная скорость ГВС, м<sup>3</sup>/мин;  $m$  – масса исследуемого материала, г.

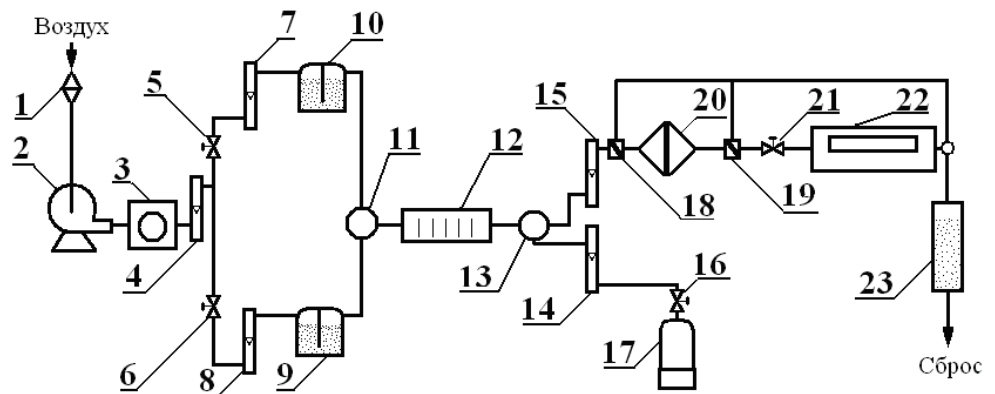


Рис.1. Принципиальная схема динамической установки.

1 – фильтр тонкой очистки воздуха от аэродисперсных частиц; 2 – воздухоудувка; 3 – стабилизатор потока воздуха; 4, 7, 8, 14 и 15 – ротаметры; 5, 6, 16 и 21 – вентили; 9 – осушитель воздуха; 10 – увлажнитель воздуха; 11 и 13 – смесители; 12 – гигрометр; 17 – баллон с  $\text{SO}_2$ ; 18 и 19 – электромагнитные клапаны; 20 – аллонж, снаряженный фильтром из испытуемого материала; 22 – электрохимический газоанализатор; 23 – блок санитарной очистки ГВС.

### Результаты эксперимента и их обсуждение

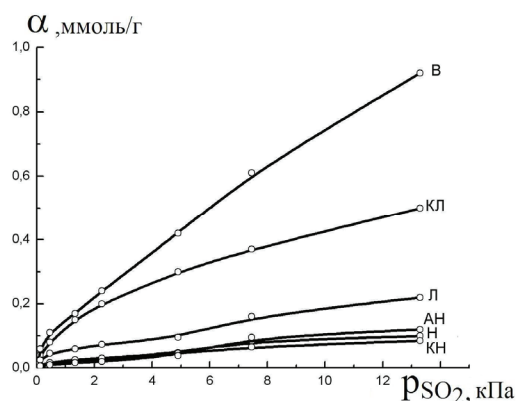


Рис. 2. Изотермы сорбции оксида серы (IV) «сухими» образцами ВН.

Результаты исследования сорбции оксида серы (IV) в статических условиях «сухими» – образцами ВН при  $p_{\text{SO}_2} = 0 \div 13,3$  кПа представлены на рис. 2.

Представленные на рисунке зависимости  $\alpha = f(p_{\text{SO}_2})$  относятся в соответствии с классификацией Брунауэра к изотермам II типа, характерным для физической сорбции газов и паров непористыми адсорбентами [15, 16]. Подтверждение физического механизма сорбции  $\text{SO}_2$  «сухими» ВН – полная его десорбция при последующем вакуумировании образцов.

Сорбционная способность ВН зависит от химической природы волокон и убывает в такой последовательности: В > КЛ > Л > АН > Н > КН («сухое» полипропиленовое волокно  $SO_2$  не сорбирует).

Зависимости поглотительной способности образцов ВН от их влагосодержания при  $p/p_s = 0 \div 0,92$ ,  $p_{SO_2} = 13,3$  кПа представлены на рис. 3.

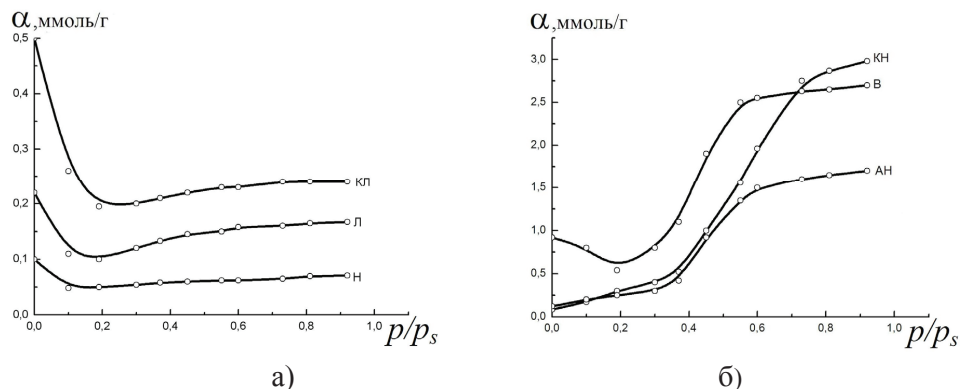


Рис. 3. Зависимость поглотительной способности образцов ВН от их влагосодержания при  $p/p_s = 0 \div 0,92$ ;  $p_{SO_2} = 13,3$  кПа.

Судя по приведенным на рис. 3а данным, увлажненные образцы Н, Л и КЛ поглощают  $SO_2$  в меньшем количестве, чем «сухие», во всем диапазоне значений  $p/p_s$  (рис. 2). Кажущееся противоречие вполне объяснимо: по мере увеличения  $p/p_s$  полярные молекулы воды в результате образования водородных связей последовательно блокируют активные центры на поверхности волокон, так что в условиях конкурентной сорбции с участием молекул  $H_2O$  и  $SO_2$  поглотительная способность ВН уменьшается пропорционально степени заполнения монослоя молекулами воды. Завершается формирование монослоя воды в диапазоне значений  $p/p_s = 0,15 \div 0,2$  [11]. Последующее незначительное возрастание поглотительной способности ВН (при увеличении  $p/p_s$ ) вероятно происходит вследствие образования «свободной» воды и дальнейшего растворения  $SO_2$ .

По иному ведут себя увлажненные материалы КН и АН (рис. 3б): резкое увеличение хемосорбции оксида серы (IV) наблюдается когда  $p/p_s$  достигает  $0,3 \div 0,35$ . Скорее всего, при этом, как и в описанном нами случае [9], после завершения формирования монослоя молекул воды образуются менее прочно связанные с поверхностью волокон слои молекул воды, а затем (при  $p/p_s > 0,4$ ) и появляется «свободная» вода, участвующая в процессах ионного обмена в соответствии с уравнением (2) (катионит ВИОН КН-1) и кислотно-основного взаимодействия (анионит ВИОН АН-3) в соответствии с уравнениями (3) и (4):



где: R – полимерная акрилонитрильная матрица; Am – первичная ( $-\text{NH}_2$ ) и/либо вторичная ( $=\text{NH}$ ) аминогруппа.

Свидетельство превалирования хемосорбционного механизма поглощения  $\text{SO}_2$  ионитами – незначительная его десорбция при вакуумировании образцов.

В случае вязкого волокна имеет место только физическая сорбция  $\text{SO}_2$ : на участке формирования монослоя ( $p/p_s \cong 0,2$ ) она вначале уменьшается, а в дальнейшем, когда происходит формирование менее прочно связанных слоев молекул воды, возрастает по мере увеличения количества «свободной» воды. Последнее подтверждается полной десорбцией  $\text{SO}_2$  при вакуумировании испытываемого образца.

Как следует из рис. 4, все образцы ВН, импрегнированные ПЭПА (содержание хемосорбента – см. таблицу), в «сухом» состоянии  $\text{SO}_2$  не поглощают; сорбция происходит по мере возрастания  $p/p_s$ . Причем, в случае образцов ПП, Н, Л и КЛ (рис. 4а) кривые имеют идентичную форму, обусловленную лишь хемосорбцией  $\text{SO}_2$  нанесенным ПЭПА: влияние химической природы ВН не прослеживается. Можно полагать, что механизм «связывания»  $\text{SO}_2$  при взаимодействии с аминогруппами (различной основности) ПЭПА аналогичен приведенному выше (см. реакции 2 и 3). При использовании ИВХС-ПЭПА на основе ионитов КН и АН (рис. 4б) в хемосорбции  $\text{SO}_2$  участвуют также функциональные группы носителя согласно реакций (2)–(4), а в случае ИВХС-ПЭПА на основе вязкого волокна хемосорбция  $\text{SO}_2$  сочетается с физической сорбцией  $\text{SO}_2$  на носителе. Подтверждение последнего – частичная десорбция  $\text{SO}_2$  при вакуумировании образцов.

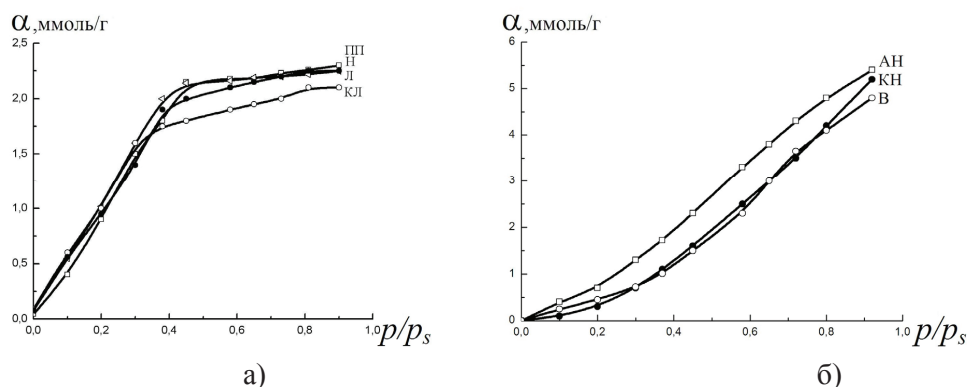


Рис. 4. Зависимость поглотительной способности ИВХС-ПЭПА от влагосодержания ( $p_{\text{SO}_2} = 13,3$  кПа).

Результаты исследования ВН и ИВХС-ПЭПА на их основе в статических и динамических условиях приведены в таблице.

Судя по приведенным в таблице данным, лучшими защитными показателями ( $\tau$  и ДА) обладают ИВХС-ПЭПА на основе волокнистых ионообменников – катионита ( $\tau = 302$  мин, ДА = 82 мг/г) и анионита ( $\tau = 293$  мин, ДА = 79,8 мг/г) – дорогостоящих импортных материалов. Динамическая активность ИВХС-ПЭПА на

основе остальных носителей, примерно, одинакова и достаточно велика: составляет 61,7 ÷ 70,0 мг/г.

С учетом последнего, а также доступности, в качестве носителя для изготовления образцов ИВХС-ПЭПА, используемых для дальнейших исследований хемосорбции SO<sub>2</sub> в динамических условиях, был применен нетканый материал «Фильтра-550» толщиной 3 мм (плотность упаковки волокон 530 г/м<sup>2</sup>) из лавсанового волокна (изготовитель – Ровненская фабрика нетканых материалов), соответствующий по физико-механическим характеристикам требованиям, предъявляемым к материалам респираторного назначения. Зависимости ДА полученных образцов ИВХС-ПЭПА от содержания ПЭПА (Q, мг/г) и влагосодержания ГВС представлены на рис. 5 и 6.

Таблица 1

Результаты исследований ВН и ИВХС-ПЭПА на их основе в статических и динамических условиях

№ п/п	Материал носителя	Содержание ПЭПА, масс. %	$\alpha_n(\text{H}_2\text{O})^*$ , ммоль/г	$\alpha_n(\text{SO}_2)^{**}$		$\tau$ , мин	ДА, мг/г	$\eta^{***}$ , %
				ммоль/г	мг/г			
1	ПП	0	0,2	0	0	0	0	–
2		13,7	9,0	2,30	147,2	220	61,7	41,9
3	Н	0	2,0	0,07	4,5	0	0	–
4		12,8	11,0	2,25	144,0	238	66,2	47,4
5	В	0	12,2	2,70	172,8	5	1,4	–
6		13,9	16,2	4,60	294,4	263	70,0	57,6
7	Л	0	0,6	0,17	10,9	0	0	–
8		13,2	9,6	2,25	144,0	256	68,5	51,5
9	КЛ	0	4,1	0,24	15,4	0	0	–
10		13,4	9,9	2,10	134,4	249	67,6	56,8
11	КН	0	32,3	2,90	185,6	81	22,0	–
12		12,2	33,7	5,20	332,8	302	82,0	55,7
13	АН	0	15,4	1,70	108,8	71	19,1	–
14		13,1	21,1	5,00	320,0	293	79,8	37,8

\*  $\alpha_n(\text{H}_2\text{O})$  – предельная величина сорбции H<sub>2</sub>O в статических условиях [10]

\*\*  $\alpha_n(\text{SO}_2)$  – предельная величина хемосорбции SO<sub>2</sub> в статических условиях ( $p/p_s = 0,92$ ;  $p_{\text{SO}_2} = 13,3$  кПа)

\*\*\*  $\eta$  – степень «срабатывания» ПЭПА, нанесенного на ВН.  $\eta = \frac{\text{ДА}}{a_n''(\text{SO}_2) - a_n'(\text{SO}_2)} \cdot 100 \%$ ,

где  $a_n''(\text{SO}_2)$  и  $a_n'(\text{SO}_2)$  – предельные величины хемосорбции SO<sub>2</sub> ИВХС-ПЭПА и ВН, соответственно.

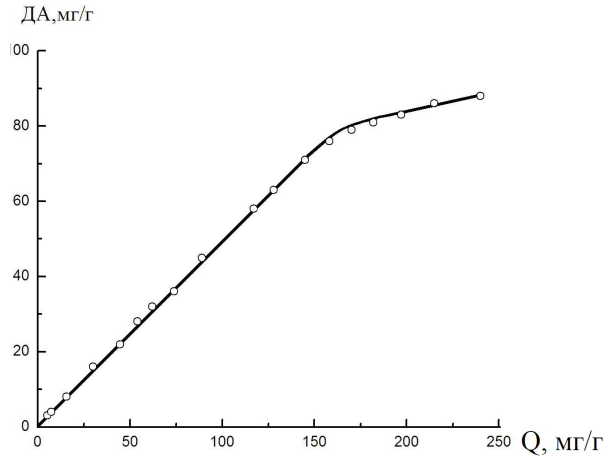


Рис. 5. Зависимость ДА ИВХС-ПЭПА от Q ( $\varphi=95\%$ ).

Согласно данным, представленным на рис. 5, динамическая активность ИВХС-ПЭПА возрастает с увеличением содержания ПЭПА пропорционально вплоть до  $Q = 150$  мг/г:

$$ДА = 0,6076 \cdot Q. \quad (5)$$

После чего градиент ДА существенно уменьшается, очевидно, вследствие того, что при этом возрастает роль диффузионных процессов. Кроме того, при  $Q > 150$  мг/г ухудшаются физико-механические характеристики ИВХС-ПЭПА.

Из таблицы и рис. 5 также следует, что даже при относительно небольшом содержании ПЭПА (50 мг/г) динамическая активность ИВХС-ПЭПА больше, чем волокнистых хемосорбентов ВИОН КН-1 и ВИОН АН-3 (см. № п/п 11 и 13). Степень «срабатывания» ПЭПА, нанесенного на ВН, в лучшем случае (вискозное волокно) не превышает 57,6 %. Последнее существенно, поскольку дает основание как для дальнейшего совершенствования ИВХС, так и технологии эксплуатации респираторов на их основе с целью увеличения времени защитного действия СФЭ.

Судя по приведенным на рис. 6 данным, приемлемые, с точки зрения эффективной эксплуатации сорбционно-фильтрующих элементов (СФЭ) респираторов, оптимум динамической активности и «срабатывание» динамической поглотительной емкости ( $ДПЕ = ДА \cdot m = C \cdot V \cdot \tau$ ) ИВХС-ПЭПА достигаются, когда относительная влажность ГВС составляет  $> 60\%$ , а влагосодержание ИВХС-ПЭПА составляет, как и в случае [11] не менее  $5,5 \div 6,5\%$ . Кстати, при эксплуатации респираторов последнее обеспечивается за счет влаги, содержащейся в выдыхаемом воздухе.

Установлено, что в условиях эксперимента ( $T = 297$  К,  $\varphi > 60\%$ ,  $Q = 150$  мг/г,  $V = 2,0$  см/с) динамическая активность ИВХС-ПЭПА при изменении концентрации  $SO_2$  в ГВС вплоть до  $1000$  мг/м<sup>3</sup> – величина постоянная ( $ДА \approx 70$  мг/г), а время защитного действия образца зависит от концентрации  $SO_2$  в ГВС обратно пропорционально (рис. 7).

2. Изучение влияния преадсорбции паров воды на хемосорбцию  $SO_2$  волокнистыми материалами

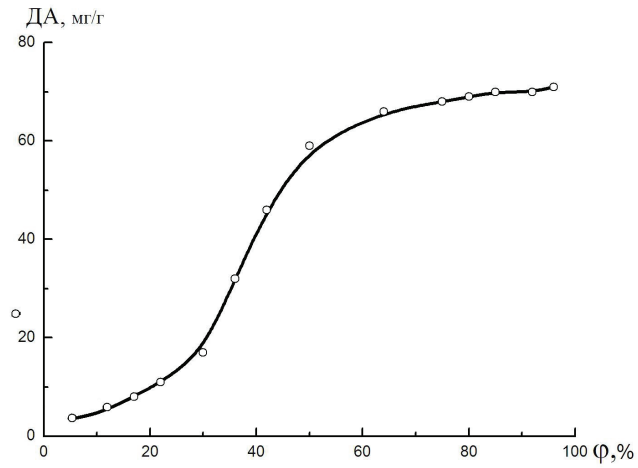


Рис. 6. Зависимость динамической активности ИВХС-ПЭПА от влагосодержания ГВС ( $Q = 150$  мг/г).

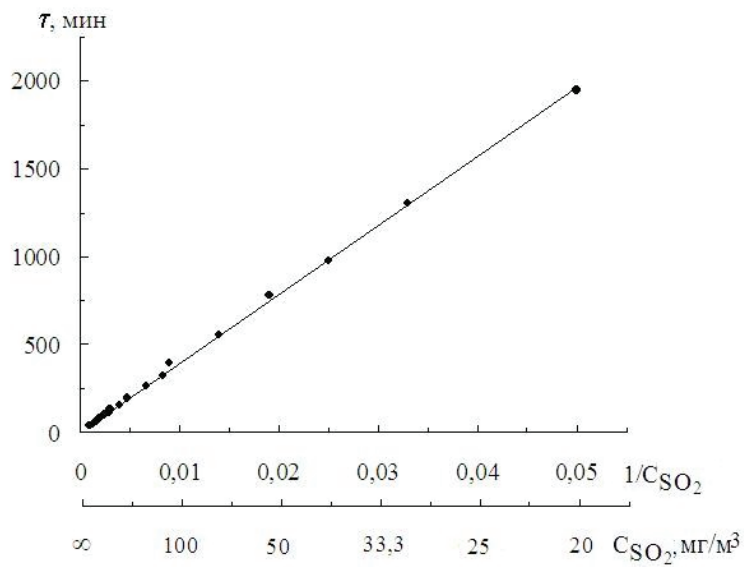


Рис. 7. Зависимость времени защитного действия ИВХС-ПЭПА от концентрации  $SO_2$  в ГВС ( $Q = 150$  мг/г,  $\phi = 95\%$ ).



С учетом изложенного выше, очевидно, в условиях эксперимента справедливо соотношение (6)

$$\tau_1 \cdot C_1 = \tau_2 \cdot C_2 = \tau_3 \cdot C_3 = \dots \quad (6)$$

то есть, когда на предприятии используются известные марки респираторов, снаряженные одними и теми же СФЭ ( $m = \text{const}$ ) при выполнении работ одной и той же тяжести ( $V = \text{const}$ ) и при известных  $C_1$  и  $\tau_1$ , возможно прогнозирование времени защитного действия респиратора ( $\tau_2, \tau_3, \dots$ ) при соответствующей концентрации  $\text{SO}_2$  в воздухе рабочей зоны  $C_2, C_3, \dots$ :

$$\tau_2 = \frac{C_1}{C_2} \cdot \tau_1 \quad (7)$$

Продолжительность эксплуатации респиратора в производственных условиях составляет, как правило, до 5 смен (предел устанавливается санитарными с учетом степени загрязнения внутренней поверхности СФЭ), так что

$$\text{ДПЕ} = \text{ДПЕ}_1 + \dots + \text{ДПЕ}_5 = (C_1 \cdot V_1 \cdot \tau'_1 + \dots + C_5 \cdot V_5 \cdot \tau'_5), \quad (8)$$

где  $\text{ДПЕ}_1 \div \text{ДПЕ}_5$  – «сработанная» динамическая поглотительная емкость СФЭ в течении 1-ой  $\div$  5-ой смен соответственно;  $V_1 \div V_5$  – объемная скорость воздуха при выполнении работы различной тяжести.

При использовании респиратора, когда  $V = \text{const}$ , на протяжении нескольких ( $n-1$ ) смен, а концентрация  $\text{SO}_2$  в воздухе рабочей зоны при этом составляет  $C_1, C_2, \dots, C_5$ , резерв динамической емкости ( $\Delta\text{ДПЕ}$ ) и времени защитного действия ( $\tau_p$ ) можно определить по формулам (9) и (10):

$$\Delta\text{ДПЕ} = \text{ДПЕ} - \sum_{i=1}^{n-1} \tau'_i \cdot V_i \cdot C_i = \text{ДПЕ} - V \cdot \sum_{i=1}^{n-1} \tau'_i \cdot C_i, \quad (9)$$

$$\tau_p = \frac{\Delta\text{ДПЕ}}{C_n \cdot V} \quad (10)$$

### Выводы

1. Разработан импортозамещающий волокнистый хемосорбент респираторного назначения нового поколения – ИВХС-ПЭПА с лучшими технико-экономическими показателями, чем у хемосорбентов ВИОН (РФ).
2. Установлено, что эффективность хемосорбции оксида серы (IV) ИВХС-ПЭПА обусловлена величиной вклада в его влагосодержание «свободной» воды, когда  $\varphi > 60\%$ .
3. Теоретически обоснована возможность априорного определения резерва динамической поглотительной емкости и времени защитного действия респиратора, находившегося в эксплуатации.

## Литература

1. Вулих А.И., Николаев А.В., Загорская М.К. Поглощение аммиака и хлора ионообменными материалами в динамических условиях // Докл. АН СССР.-1965. – Т. 160, №5. – С1072– 1074.
2. Эннан А.А.-А., Кац Б.М., Гудимович Т.Ф., Ермоленко И.Н., Червяков В.М., Блиндер В.Э., Михайловина С.К. А. с. 310473 СССР, МКИ В 01 d 53/14, С 01 b 7/22. Способ извлечения четырёхфтористого кремния из абгазов. – № 1413300; заявл. 14.03.70; не публикуется.
3. Некряч Е.Ф., Курilenko О.Д., Эннан А.А., Самченко З.А., Атаманенко И.Д., Блиндер В.И. Гидрофильность ионообменных волокнистых материалов на основе целлюлозы // Укр. хим. журн. – 1976. – Т. 42, вып. 7. – С. 702–708.
4. Ермоленко И.Н., Люблинер И.П. Сорбция аммиака волокнистыми катионообменниками в динамических условиях // Журн. прикл. химии.-1972.-№4.- С.748-751.
5. Курilenko О.Д., Эннан А.А. Некряч Е.Ф., Байденко В.И. Ионообменные волокнистые материалы на основе целлюлозы в газоочистке // Вестник АН УССР.-1975.-№7.-С.37-45.
6. Soldatov V.S., Shunkevich A.A., Sergeev G.I. Synthesis, structure and properties of new fibrous ion exchangers // Reactive Polymers, Ion Exchangers, Sorbents. – 1988. – Vol. 7, No 2–3. – P. 159–172. DOI: 10.1016/0167-6989(88)90136-5.
7. Kosandrovich E.G., Soldatov V.S. Fibrous Ion Exchangers // Ion Exchange Technology I. Theory and Materials. Springer – 2012. – Vol. XXII. – P. 299-371. DOI: 10.1007/978-94-007-1700-8\_9
8. Байденко В.И., Эннан А.А. Сорбция тетрафторида кремния анионитом на основе целлюлозы в динамических условиях // Журн. прикл. химии.-1988.-№4.-С.536-540.
9. Эннан А.А., Байденко В.И. К механизму сорбции тетрафторида кремния анионитами. Сообщ. 1. Роль воды // Вопросы химии и хим. технологии. – 2005. – № 6. – С. 64-68.
10. Эннан А.А., Байденко В.И., Захаренко Ю.С. Импрегнированные волокнистые хемосорбенты // Энергологии и ресурсосбережение. – 2011. – № 1. – С. 50-56.
11. Эннан А.А., Хома Р.Е., Длубовский Р.М., Абрамова Н.Н. Хемосорбция оксида серы (IV) волокнистыми материалами импрегнированными полиэтиленполиамином. 1. О гидрофильности волокнистых материалов, импрегнированных полиэтиленполиамином // Вестник ОНУ. Химия. – 2014. – Т. 19, № 1.
12. Гордон А., Форд Р. Спутник химика: Пер. с англ. – М.: Мир. 1976. – С. 438.
13. Тарасевич Ю.И., Овчаренко Ф.Д. Адсорбция на глинистых минералах. – Киев: Наукова думка, 1975. – 350 с.
14. Справочник химика. Т. 1. Под ред. Никольского Б. П.: Л.: Химия, 1966.
15. Брунауэр С. Адсорбция газов и паров. – М.: Мир.: ИЛ, 1948, – С 781.
16. Грег С., Синг К. Адсорбция, удельная поверхность, пористость. – М.: Мир, 1984. – 306 с.

Стаття надійшла до редакції 04.05.14

**А. А. Эннан<sup>1</sup>, Р. М. Длубовський<sup>1</sup>, Н. Н. Абрамова<sup>1</sup>, Р. Є. Хома<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Фізико-хімічний інститут захисту навколишнього середовища і людини МОН та НАН України, вул. Преображенська 3, Одеса, 65082, Україна; e-mail: eskvar@ukr.net

<sup>2</sup>Одеський національний університет імені І.І. Мечникова, вул. Дворянська, 2, Одеса, Україна, 65082; email: rek@onu.edu.ua

## **ХЕМОСОРБЦІЯ ОКСИДУ СІРКИ (IV) ВОЛОКНИСТИМИ МАТЕРІАЛАМИ, ІМПРЕГНОВАНИМИ ПОЛІЕТИЛЕНПОЛІАМІНОМ. 2. ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ ПРЕАДСОРБЦІЇ ПАРИ ВОДИ НА ХЕМОСОРБЦІЮ SO<sub>2</sub> ВОЛОКНИСТИМИ МАТЕРІАЛАМИ**

У статичних та динамічних умовах досліджена сорбція оксиду сірки (IV) штучними і синтетичними волокнами, а також імпрегнованим поліетиленполіаміном (ПЕПА) нетканими голкопробивними волокнистими матеріалами (ІВХС-ПЕПА). Встановлено, що процес хемосорбції SO<sub>2</sub> ІВХС-ПЕПА відбувається тільки за наявності «вільної»

води. Показано, що імпортозамінюючий ІВХС-ПЕПА на основі лавсанового волокна не поступається за захисним характеристикам кращим зарубіжним волокнистим хемосорбентам марки ВІОН. Дано теоретичне обґрунтування можливості апріорного визначення резерву динамічної поглинальної ємності і часу захисної дії респіратора, що знаходився в експлуатації.

**Ключові слова:** волокнисті матеріали, SO<sub>2</sub>, ізотерма, вода, поліетиленполіамін.

**A. A. Ennan<sup>1</sup>, R. M. Dlubovskiy<sup>1</sup>, N. N. Abramova<sup>1</sup>, R. E. Khoma<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Physico-Chemical Institute of Environment and Human Protection,  
Preobrazhenskaya str., 3, Odessa, 65082, Ukraine; eksvar@ukr.net

<sup>2</sup>Odessa I.I. Mechnikov National University, Dvoryanskaya str., 2,  
Odessa, 65082, Ukraine; rek@onu.edu.ua

## **CHEMISORPTION OF SULFUR DIOXIDE BY POLYETHYLENEPOLYAMINE IMPREGNATED FIBROUS MATERIALS.**

### **2. THE STUDY OF WATER VAPOR INFLUENCE ON PREADSORPTION SO<sub>2</sub> CHEMISORPTION BY FIBROUS MATERIALS**

Sulfur dioxide sorption by artificial and synthetic fibers as well as needlepunched nonwoven fibrous materials (IVHS-PEPA) impregnated with polyethylene polyamine (PEPA) under static and dynamic conditions has been investigated. It was found that when the vapor H<sub>2</sub>O and SO<sub>2</sub> were present together the adsorption on the surface of the initial fiber had the competitive character, wherein the polar water molecules through hydrogen bonds to block the active sites of the fibers resulting in reduced absorption of sulfur dioxide in comparison with dry samples, throughout the range of values of the relative water vapor pressure ( $p/p_s = 0 \div 0,92$ ). It was found that the process of chemisorption of SO<sub>2</sub> IVHS-PEPA occurs only in the presence of «free» water.

It is shown that the import-substituting IVHS-PEPA based lavsan fibers are not inferior to the protective characteristics of the best foreign fibrous chemisorbents brand VION.

**Keywords:** fibrous materials, SO<sub>2</sub>, isotherm, water, polyethylene polyamine.