

Серия периодических импульсов на временной диаграмме вызвана проходом преобразователя через зону сварного шва, электросопротивление которой отличается от электросопротивления заготовки, но вся диаграмма в целом недостаточно информативна. Преобразование временной диаграммы путем операции «трехмерная графика» дает возможность не только определить место расположения сварного шва, но и сделать заключение о его равномерности по длине трубы. При контроле таким методом отрезка трубной заготовки с неповаром выявлены отдельные дефекты на цилиндрической поверхности заготовки и участок неповара, где отсутствует сварной шов.

Таким образом, обработка результатов контроля с помощью компьютерной вихретоковой томографии позволяет расшифровывать и визуализировать результаты контроля с последующей их возможной классификацией.

Примеры контроля шовных труб и трубных заготовок демонстрируют существенное отличие вихретокового томографического изображения дефектов от временных диаграмм, полученных традиционным способом. Система визуализации позволяет регистрировать дефекты с большей объективностью и достоверностью при высокой разрешающей способности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ермолов И.Н., Алешин Н.П., Потапов А.И. Перазрушаючий контроль. Акустические методы контроля. Кн. № 2. М.: Высшая школа, 1991. 282 с.
2. Клюев В.В., Соснин Ф.Н., Филипов В.Н. и др. Перазрушаючий контроль и диагностика. Справочник. М.: Машиностроение, 1995. 488 с.
3. Stepinski T. Digital processing of eddy current signals and images — a review. — In: 6th European Conf. on Non Destructive Testing in Nice (France) from 24 to 28 October 1994, p. 51—54.
4. Вихретоковый дефектоскоп БЭВ-6. Паспорт 593.00.000 ПС.
5. Накладной вихретоковый преобразователь. Индекс проекта № B501.000.
6. Протяжный механизм ПР-1. Индекс проекта № B402.01.000.
7. Герасимов В.Г., Покровский А.Д., Сухоруков В.В. Перазрушаючий контроль. В 5 кн. Кн. 3. Электромагнитный контроль. Под ред. В.В. Сухорукова. М.: Высшая школа, 1995. 312 с.
8. Испытательный образец. Индекс B402.00.002.

Поступила в Редакцию 19.06.95

УДК 66.067.85:66.081.3+621.039.534

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОЧИСТКИ ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ НЕОРГАНИЧЕСКИМИ ГРАНУЛИРОВАННЫМИ СОРБЕНТАМИ

*Комаревский В.М., Степанец О.В., Шарыгин Л.М., Матвеев С.А.
(ГЕОХИ им. В.И. Вернадского РАН)*

Особое место в охране окружающей среды в настоящее время занимает очистка жидких радиоактивных отходов предприятий атомной промышленности и судовых установок атомного флота. К таким отходам относятся прежде всего слабозасоленные воды — следствие протечек реакторов или бассейнов выдержки отработавшего топлива, а также сточные воды судов атомного флота различного уровня засоленности и радиоактивности, содержащие в своем составе и органические соединения (нефтепродукты, поверхностно-активные вещества, комплексоны и т.д.). Основной вклад в их суммарную радиоактивность вносят долгоживущие радионуклиды продуктов деления (^{137}Cs , ^{90}Sr) и коррозионного происхождения (^{60}Co , ^{54}Mn , ^{51}Cr).

Такие воды целесообразно очищать селективными и радиационно устойчивыми сорбентами. Применяемые традиционно для очистки воды органические ионообменники в случае увеличения солености раствора резко снижают селективность извлечения радионуклидов в результате конкуренции щелочных и щелочно-земельных ме-

таллов, в присутствии даже незначительного количества органических веществ существенно уменьшается их сорбционная емкость [1, 2]. Известно [3, 4], что неорганические сорбенты на основе труднорастворимых соединений циркония и титана эффективны для извлечения радиоактивных элементов из растворов сложного состава. Их сорбционно-кинетические характеристики не уступают параметрам среднесшитых органических катионитов, а высокие показатели механической и радиационной устойчивости указывают на перспективность промышленной очистки водных растворов с последующим захоронением после отработки до предельной емкости. Характеристики сорбентов марки «Термоксид» и промышленных ионообменников следующие:

	«Термоксид»	KУ-2×8
Механическая прочность, МПа . . .	20—30	5
Радиационная устойчивость, МГр . . .	100	1
Насыпная плотность, 10^2 кг/м ³ . . .	10—13	3—9
Полная обменная емкость,		
мг-экв/г . . .	43,5	3—5
мг-экв/см ³ . . .	4,5	0,8—2
Равновесный коэффициент распределения, 10^3 см ³ /см ³ :		
по ¹³⁷ Cs . . .	20	5—8
по ⁹⁰ Sr . . .	20	1,5—2
Непрерывный ресурс, 10^3 кол.объем . . .	60	10

Сорбенты обладают высокой механической прочностью и формоустойчивостью, что особенно важно при их использовании в колоннах в качестве загрузки. Благодаря сферической форме гранул обеспечиваются низкий перепад давления на слос сорбента и благоприятные гидродинамические условия для поглощения и элюирования. Сорбенты на основе ферроцианидов и фосфатов циркония и титана, получаемые по золь-гель-технологии (торговая марка «Термоксид»), являются, на наш взгляд, наиболее перспективными для технологической реализации процессов очистки жидких радиоактивных отходов.

Нами опробованы следующие гранулированные механически прочные переходно-пористые сорбенты: «Термоксид-3А» (фосфат циркония, полученный химическим модифицированием гидратированного диоксида циркония), «Термоксид-3АБ» (гранулированный ферроцианид диоксида циркония), «Термоксид-213» (гидратированный диоксид олова) (табл. 1).

Т а б л и ц а 1. Физико-химические характеристики сорбентов марки «Термоксид»

Показатель	«Термоксид-3А»	«Термоксид-3АБ»	«Термоксид-213»
Химический состав	$Zr(HPO_4)_2 \cdot nH_2O$	$(ZrO_2)_2[Fe(CN)_6] \cdot nH_2O$	$SnO_2 \cdot nH_2O$
Фракционный состав, мм	0,4—1	0,4—1	0,4—1,6
Насыпная масса, кг/м ³	1200 ± 100	1150 ± 70	1350 ± 80
Влажность, определяемая высушиванием до постоянной массы при 100 °С, % по массе	30—35	30—40	~ 30
Механическая прочность на раздавливание, МПа	20 ± 7	12 ± 5	30 ± 8
Радиационная стойкость, МГр	100	100	100
Статическая обменная емкость по металлу при pH8, мг-экв/см ³	4,5 (по Na)	3 (по Na)	$0,2 \pm 0,005$ (по Sr)

Исследования, направленные на определение параметров очистки водных сред, включали проведение лабораторных экспериментов по изучению характеристик сорбентов для отдельных радионуклидов в статическом и динамическом режимах, оценку степени очистки растворов-имитаторов сточных вод со смесью определяемых радионуклидов, анализ реальных растворов до и после очистки.

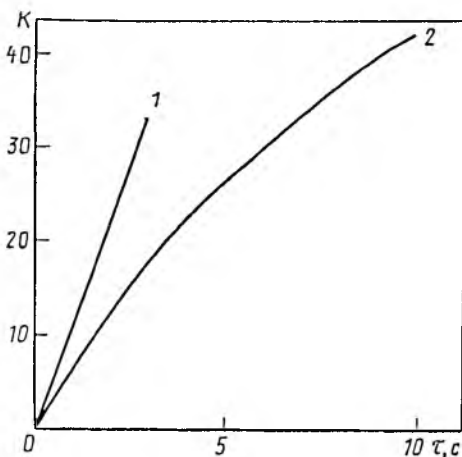
Сорбционно-кинетические характеристики исследовали при поглощении ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{60}Co из водных растворов с pH 6,5—7. Результаты лабораторных исследований слабозасоленных вод методом радиоактивных индикаторов (на примере водопроводной воды с добавлением индивидуальных изотопов в каждый эксперимент) приведены в табл. 2. Параметры очистки растворов от радионуклидов «Термоксидом-3А, -3АБ» измерены на первой тысяче, «Термоксидом-213» — первой сотне колоночных объемов.

Т а б л и ц а 2. Результаты очистки водопроводной воды от радионуклидов сорбентами марки «Термоксид» (скорость фильтрации 10 мин⁻¹)

Радионуклид	Сорбент	Очистка, %	Равновесный коэффициент распределения, 10^3
^{137}Cs	«Термоксид-3АБ»	~ 85	~ 20
	«Термоксид-3А»	~ 90	~ 100
	«Термоксид-213»	51	0,2
^{60}Co	То же	90	60
^{90}Sr	>>	80	2,5

Как видно из табл. 2, «Термоксид-3А, -3АБ» обладают хорошими сорбционно-кинетическими характеристиками. Равновесные коэффициенты распределения по ^{137}Cs для них равны $20 \cdot 10^3$ и $100 \cdot 10^3$ при очистке раствора на 85 и 90% соответственно. «Термоксид-213» показал хорошие характеристики прежде всего при поглощении ^{90}Sr и ^{60}Co (рис. 1).

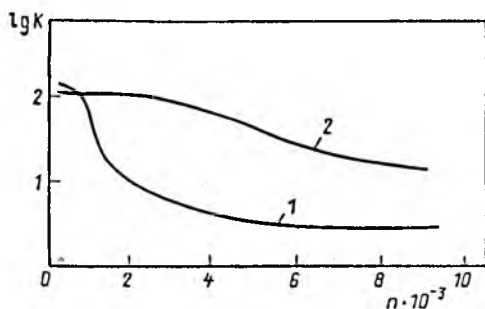
Эффективность очистки слабозасоленных вод от радионуклидов проверяла межведомственная комиссия (ГЕОХИ им. В.И. Вернадского РАН, ЦНИИ им. А.Н. Крылова, СПМБМ «Малахит» и др.) по результатам экспериментов на испытательном стенде ЦНИИ им. А.Н. Крылова. В экспериментах использовали имитатор сточной воды дренажных судовых цистерн с добавленной смесью определяемых радионуклидов и сорбционный фильтр из композиции трех сорбентов, расположенных в следующем порядке: «Термоксид-3А» — «Термоксид-213» — «Термоксид-3АБ». Источники излучения и установки для измерения препаратов были метрологически обеспечены. В ходе испытаний использовали опытный образец фильтра-концентратора объемом 3 л и сечением сорбционного слоя 100 см². Сорбенты располагали в фильтре секционно слоями по 10 см. Удельную концентрацию радионуклидов и время контакта фаз оценивали по реальному уровню радиоактивности в судовых цистернах и параметрам протечек растворов из сливных магистралей. Перед началом каждого опыта и после прохождения раствора через колонку отбирали аликвотные пробы исходного раствора и фильтрата и проводили гамма-спектрометрические измерения цезия и кобальта на низкофоновой γ -спектрометрической установке. Результаты испытаний показали, что раствор имитатора сточной воды после фильтрации очищается от радионуклидов не менее чем в 1000 раз (радиоактивность фильтрата в пределах погрешности измерений соответствовала фоновой) (табл. 3).



Р и с. 1. Кинетические зависимости сорбции ^{137}Cs из водопроводной воды «Термоксидом-3А» (1), «Термоксидом-3АБ» (2) в статических условиях при $V_{\text{ж}}/m_{\text{тв}} = 1000$

Т а б л и ц а 3. Результаты испытаний фильтра-концентратора при очистке имитатора дренажных и сточных вод судов атомного флота

Характеристика	Удельная радиоактивность растворов, Бк/л	
	^{137}Cs	^{60}Co
Место отбора проб:		
вход в колонку	110	105
то же	110	105
выход из колонки	13,3	10,4
то же	13,2	10,4
Фон	13,4	10,6
Коэффициент очистки	$> 10^3$	$> 10^3$



Р и с. 2. Зависимость коэффициента очистки по ^{137}Cs от объема пропущенной сточной воды «Термоксидом-3А» (1), «Термоксидом-3АБ» (2)

^{137}Cs $3 \cdot 10^4$, ^{134}Cs $6 \cdot 10^3$, ^{60}Co 530, ^{90}Sr 450. Очистку проводили в режиме кипящего слоя при объемной скорости фильтрации $\sim 20\text{--}25 \text{ ч}^{-1}$. Установлено (рис. 2), что при ресурсе сорбента до 500 колоночных объемов наблюдается эффективная очистка сточной воды от цезия (коэффициент очистки для обоих сорбентов не менее 100). С увеличением количества пропущенных колоночных объемов эффективность очистки уменьшается, особенно «Термоксидом-3А». По-видимому, это связано с изменением структуры катионообменника при переходе сорбента в солевую кальциевую форму, в результате чего его селективность по отношению к цезию снижается. Такой ресурс позволяет эффективно использовать сорбенты для переработки значительного объема воды при их небольшом количестве.

Исследования сорбционно-кинетических параметров «Термоксида» в статических и динамических режимах показали, что процесс извлечения радионуклидов продуктов деления и коррозионного происхождения протекает быстро и с хорошими параметрами очистки. С учетом высокой устойчивости сорбентов при работе со слабозасоленными и органосодержащими водами это говорит о перспективности их применения для очистки жидких радиоактивных отходов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Кузнецов Ю.В., Щербетковский В.Н., Трусов А.Г. Основы очистки воды от радиоактивных загрязнений. М.: Атомиздат, 1974. 248 с.
- Амфлетт Г. Синтетические неорганические ионообменники и их применение в атомной технике. — В кн.: Труды II Межд. конф. по мирному использованию атомной энергии. Женева, 1958.
- Sipos-Galiba J., Lieser K. Ion exchange of heavy metals ferrocyanides with alkaline ions. — Radiochem. Radioanal. Lett., 1980, v. 42, № 495, p. 329.
- Моисеев В.Ф., Шарыгин Л.М., Пышкин В.П. и др. Синтез фосфатов циркония, титана и олова золь-гель методом и использование их свойств. — Изв. АН СССР, сер. неорганические материалы, 1983, т. 19, № 11, с. 1899—1902.