

Ю. В. Балашевская<sup>1</sup>, В. А. Герлига<sup>1</sup>,  
Н. И. Власенко<sup>2</sup>, О. Ю. Бакулин<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Севастопольское отделение научно-технической поддержки ОП НТЦ ГП НАЭК «Энергоатом», г. Севастополь, Украина

<sup>2</sup>Обособленное предприятие Научно-технический центр ГП НАЭК «Энергоатом», г. Киев, Украина

<sup>3</sup>Севастопольский национальный университет ядерной энергии и промышленности, г. Севастополь, Украина

## Дезактивация отработанных ионообменных смол в ультразвуковом поле

*Рассмотрен способ дезактивации радиоактивных ионообменных смол в ультразвуковом поле на примере отработанных смол из хранилища твердых радиоактивных отходов исследовательского реактора ИР-100.*

*Описаны сущность ультразвуковой дезактивации и влияние на ее эффективность основных параметров процесса, а также параметры работы ультразвукового кавитатора. Приведены результаты эксперимента по ультразвуковой дезактивации отработанных ИОС из ХТРО ИР-100.*

*Ключевые слова:* ионообменные смолы (ИОС); атомная электрическая станция (АЭС); радиоактивные отходы (РАО); твердые радиоактивные отходы (ТРО); ультразвуковая дезактивация (УЗД); хранилище твердых радиоактивных отходов (ХТРО).

**Ю. В. Балашевська, В. А. Герлига, М. І. Власенко,  
О. Ю. Бакулін**

### Дезактивація відпрацьованих іонообмінних смол в ультразвуковому полі

*Розглянуто спосіб дезактивації радіоактивних іонообмінних смол в ультразвуковому полі на прикладі відпрацьованих смол зі сховища твердих радіоактивних відходів дослідницького реактора ДР-100.*

*Описано сутність ультразвукової дезактивації та вплив на її ефективність основних параметрів процесу, а також параметри роботи ультразвукового кавітатора. Надано результати експерименту з ультразвукової дезактивації відпрацьованих іонообмінних смол з СТТВ ДР-100.*

*Ключові слова:* іонообмінні смоли (ІОС); атомна електрична станція (АЕС); радіоактивні відходи (РАВ); тверді радіоактивні відходи (ТВВ); ультразвукова дезактивація (УЗД); сховище твердих радіоактивних відходів (СТТВ).

© Ю. В. Балашевская, В. А. Герлига, Н. И. Власенко, О. Ю. Бакулин  
2011

**А**ктуальность данной темы определяется значимостью проблемы увеличения количества радиоактивных отходов, а также особыми свойствами ионообменных смол, затрудняющими их кондиционирование.

Образование больших количеств радиоактивных отходов на объектах атомной промышленности уже само по себе является огромной проблемой, не говоря о том, что для некоторых их видов в принципе не существует эффективных методов переработки. Именно такая ситуация сложилась с отработанными радиоактивными ионообменными смолами на атомных электростанциях Украины. Ни один из методов, пригодных для переработки других видов отходов, не может быть применен для переработки смол ввиду особой природы последних. Неразрушающие методы (иммобилизация) неизменно приводят к многократному увеличению их объема, а разрушающие (термические, химические) сопряжены с опасностью высвобождения токсичных газов. Поэтому сегодня в отечественной атомной промышленности обращение с радиоактивными ионообменными смолами заключается во временном их хранении в специальных ёмкостях-хранилищах жидких отходов. Дальнейшие переработка и обезвреживание смол не предусмотрены.

МАГАТЭ определяет ионообменные смолы как «проблемный вид РАО» [1] — отходы, для которых не только отсутствуют эффективные методы переработки, но и существуют затруднения, связанные с определением самой концепции обращения с ними.

Одним из результатов координированного исследовательского проекта в рамках МАГАТЭ стала классификация и оценка возможных методов переработки ионообменных смол. В отдельную группу была выделена дезактивация — перевод радионуклидов из смолы в дезактивационный раствор, а также дальнейшая утилизация отработанного раствора любым из известных способов: сорбционной очисткой, цементированием и т. д. Возможен также вариант выделения радионуклидов из отработанного дезраствора с последующей корректировкой его состава и повторным использованием.

Отработанные ионообменные смолы АЭС имеют удельную активность, в среднем,  $2 \cdot 10^4 - 10^5$  Бк/кг, обусловленную загрязнением в процессе эксплуатации изотопами  $^{134}\text{Cs}$  (20 %);  $^{137}\text{Cs}$  (60 %);  $^{60}\text{Co}$  (20 %). Радиоактивные загрязнители могут находиться в ионообменной смоле в различном состоянии: они могут быть связанными с ионогенными группами, находиться в поровом пространстве, заполнять трещины в зернах или входить в состав пленки на поверхности отработанного ионита [2].

**Сущность ультразвуковой дезактивации ионообменных смол.** Эффект ультразвуковой дезактивации состоит в удалении радионуклидов с поверхности зерен, интенсификации массообмена между ионитом и дезактивирующим раствором, «раскрытии» пор ионита. Указанные явления достигаются за счет возникновения кавитации в жидкой среде при наложении на нее ультразвукового поля. Кумулятивные струйки, возникающие при схлопывании каверн, разрушают поверхность зерна за счет кинетической энергии жидкости. Мелкие частицы, размеры которых соизмеримы с поперечным сечением кумулятивных струй, захватываются ими и дают дополнительный вклад в процесс разрушения более крупных частиц, находящихся в жидкости [3]. Капиллярный эффект способствует также более глубокому проникновению дезраствора в поры ионита [4], [5]. Определенный вклад вносит также трение зерен ИОС между собой.



Рис. 1. Зависимость удельной активности ИОС от соотношения объемов дезактивируемых смол и дезактивационного раствора

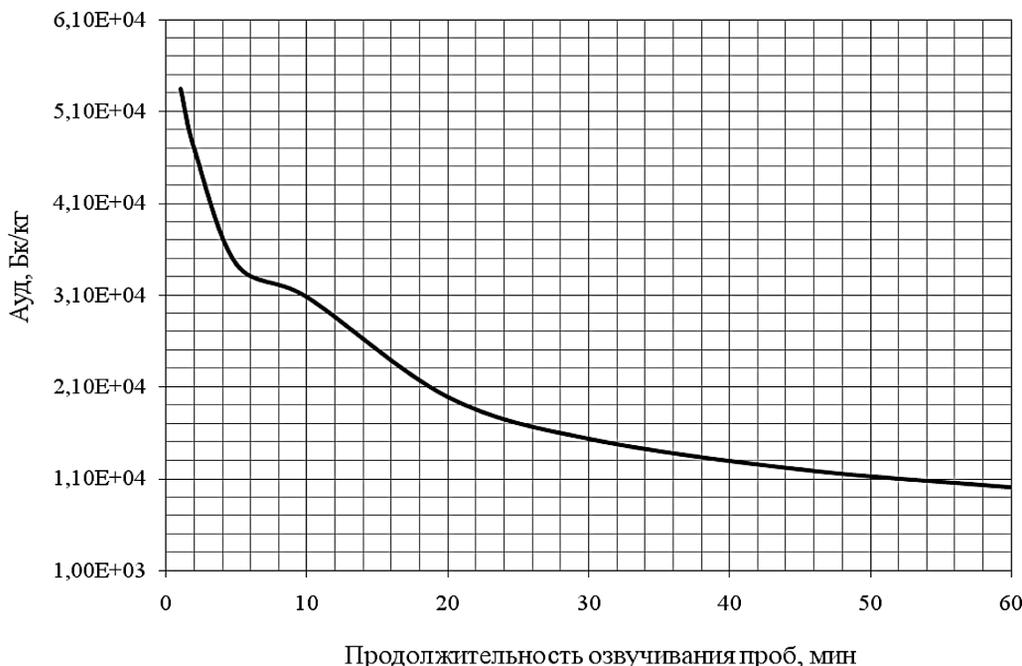


Рис. 2. Зависимость удельной активности ИОС от продолжительности ультразвуковой обработки пробы

Зависимости снижения удельной активности дезактивируемых ионообменных смол от некоторых параметров проведения процесса были исследованы авторами статьи на примере отработанных смол из ХТРО исследовательского реактора ИР-100 (г. Севастополь). Установлено, что наибольшее влияние на снижение активности ИОС в процессе ультразвуковой дезактивации (УЗД), помимо входящих в состав дезактивационного раствора веществ и его концентрации, оказывают также количество раствора и длительность ультразвуковой обработки пробы (рис. 1, 2).

По кривой, приведенной на рис. 1, можно определить, что наибольший эффект от УЗД достигается при соотношении объемов ИОС к раствору 1:30–1:60. Увеличение объема дезактивационного раствора приводит к распределению зерен смолы в большом объеме жидкости и поглощению звуковой энергии самим раствором, а также исключению составляющей трения зерен из процесса дезактивации.

Относительно длительности ультразвуковой обработки, наибольшее снижение удельной активности ИОС наблюдалось в первые 15–20 мин, далее активность снижалась незначительно.

**Результаты эксперимента.** Ультразвуковая обработка проб отработанных ионообменных смол ИР-100 осуществлялась при помощи кавитатора (рис. 3). Частота колебаний сонотрода составляла 20 кГц, рабочее напряжение — 150 В, подведенная мощность — 1800 Вт.

Ионообменные смолы ИР-100, отобранные для эксперимента, представляли собой смесь катионита КУ-2–8 и анионита АВ-17–8, находившихся на хранении в сухом виде более десяти лет.

Проба, представляющая собой смесь навески отработанных ИОС и дезактивационного раствора в объемном соотношении 1:40, помещалась в химический стакан и устанавливалась под излучателем таким образом,

Таблица 1. Результаты эксперимента

Результаты радиометрического анализа		Результаты гамма-спектрометрического анализа	
Удельная активность исходных ИОС, Бк/кг	$3,0 \times 10^5$	Удельная активность $\gamma$ -излучателей в исходных ИОС, Бк/кг	$^{60}\text{Co} - 1,4 \times 10^4$ $^{65}\text{Zn} - 1,6 \times 10^4$ $^{137}\text{Cs} - 2,7 \times 10^5$
Удельная активность очищенных ИОС, Бк/кг	после 1-го этапа УЗД		
	после 2-го этапа УЗД	$4,9 \times 10^3$	
	после 3-го этапа УЗД	$1,3 \times 10^3$	
		Удельная активность $\gamma$ -излучателей в очищенных ИОС (после 3-го этапа УЗД), Бк/кг	Гамма-излучатели отсутствуют

чтобы расстояние от дна емкости до его поверхности составляло 10 мм. Непрерывное барботирование пробы осуществлялось сжатым воздухом от подведенного к ней компрессора.

В качестве дезактивационного раствора использовался кислый раствор натриевой соли. Обработка ИОС проводилась в три этапа: через каждые 20 минут ультразвуковой обработки дезактивационный раствор заменялся на свежий. Таким образом, длительность ультразвуковой дезактивации каждой пробы ионообменных смол составляла 1 ч.

Результаты эксперимента представлены в табл. 1, из которой видно, что в процессе ультразвуковой дезактивации удельная активность ИОС интенсивно снижалась.

Согласно Основным санитарным правилам обеспечения радиационной безопасности Украины [6], предельное значение удельной активности радиоактивных отходов, превышение которой на этапе предупредительного сани-

тарного надзора разрешает квалифицировать их как нерадиоактивные (уровень изъятия), для РАО третьей группы (содержащих бета- и гамма-излучающие радионуклиды) составляет  $10^4$  Бк/кг. Таким образом, в процессе ультразвуковой дезактивации поставленная цель перевода ИОС в категорию нерадиоактивных отходов была достигнута.

Отработанные дезактивационные растворы могут быть легко очищены от радионуклидов методом селективной сорбции.

### Выводы

1. Реализация данного способа позволит перевести ИОС из категории среднеактивных отходов в категорию «чистых» и разместить их на полигонах промышленных отходов.

2. Предварительные исследования УЗД показали, что эффективность процесса в наибольшей степени зависит от продолжительности ультразвуковой обработки пробы и количества дезактивационного раствора.

3. Результаты, полученные при дезактивации отработанных ИОС исследовательского реактора, подтверждают состоятельность данного способа дезактивации. Для определения применимости его для отработанных ИОС АЭС и внесения возможных коррективов в методику необходимо проведение экспериментов с указанным материалом.

4. Окончательная технология очистки радиоактивных ИОС может быть сформирована после подбора наиболее качественного сорбента для извлечения радионуклидов из отработанных дезактивационных растворов.

### Список литературы

1. New Developments and Improvements in Processing of "Problematic" Radioactive Waste. Results of coordinated research project 2003 – 2007 / IAEA-TECHDOC-1579. – Vienna, 2007. – 49 p.
2. Блянкман, Л. М. Очистка фильтрующих материалов / Л. М. Блянкман, В. Г. Пономарев, Н. Л. Смирнова. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 144 с.
3. Mason, Timothy J. Applied Sonochemistry: Uses of Ultrasound in Chemistry and Processing / Timothy J. Mason, John Philip Lorimer. – Coventry: Wiley-VCH, 2002. – 314 p.
4. Агрант, Б. А. Ультразвуковая технология / Б. А. Агрант, В. И. Башкиров, Ю. И. Китайгородский, Н. Н. Хавский. – М.: Металлургия, 1974. – 504 с.
5. Келлер, О. К. Ультразвуковая очистка / О. К. Келлер, Г. С. Крантыш, Г. Д. Лубянский. – Л.: Машиностроение, 1977. – 184 с.
6. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности Украины. – Утв. приказом МОЗ Украины № 54 от 02.02.2005.

Надійшла до редакції 21.01.2011.



Рис. 3. Внешний вид кавитатора