

Ю.А. Ревенко
С.В. Подойницын
Д.Н. Колупаев

**РАДИОХИМИЧЕСКИЕ
ТЕХНОЛОГИИ
ДЛЯ РЕГЕНЕРАЦИИ
ДЕЛЯЩИХСЯ МАТЕРИАЛОВ
ИЗ ОТРАБОТАВШЕГО
ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА**



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ГОРНО-ХИМИЧЕСКИЙ КОМБИНАТ

Ю.А. Ревенко, С.В. Подойницын, Д.Н. Колупаев

**РАДИОХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ
ДЛЯ РЕГЕНЕРАЦИИ ДЕЛЯЩИХСЯ МАТЕРИАЛОВ
ИЗ ОТРАБОТАВШЕГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА**

Монография

Издательство
Томского политехнического университета
2014

УДК 621.039.59

ББК 35.362

Р32

Ревенко Ю.А.

Р32

Радиохимические технологии для регенерации делящихся материалов из отработавшего ядерного топлива: монография / Ю.А. Ревенко, С.В. Подойницын, Д.Н. Колупаев; Томский политехнический университет, Горно-химический комбинат. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 253 с.

Монография посвящена способам хранения и переработки облученного ядерного топлива, обобщению и систематизации знаний, полученных в данной сфере деятельности, а также вопросам безопасности на радиохимическом производстве. В ней представлены характеристики «свежего» и отработавшего ядерного топлива, физико-химические свойства актинидов и основных продуктов деления, технологии транспортирования и выдержки топлива перед его переработкой. Рассмотрены технологии, используемые на существующих радиохимических заводах, а также перспективные водные и неводные технологии обращения с радиоактивными отходами.

Предназначена для специалистов и инженеров радиохимических предприятий, а также студентов и аспирантов химических специальностей.

УДК 621.039.59

ББК 35.362

Рецензенты

Доктор технических наук,
профессор кафедры химической технологии редких,
рассеянных и радиоактивных элементов ТПУ

В.А. Карелин

Доктор технических наук,
профессор кафедры химии и технологии материалов
современной энергетики СТИ НИЯУ «МИФИ»

Т.И. Гусева

© ФГАОУ ВО НИ ТПУ, 2014

© Ревенко Ю.А., Подойницын С.В.,
Колупаев Д.Н., 2014

© Обложка. Издательство Томского
политехнического университета, 2014

Оглавление

Введение	7
1. Ядерное топливо	9
1.1. Тепловыделяющие сборки	9
1.2. Состав отработавшего ядерного топлива	11
1.3. Хранение и транспортирование ОЯТ	16
1.3.1. Хранение ОЯТ в водозаполненных бассейнах	17
1.3.1.1. Приреакторные хранилища ОЯТ	19
1.3.1.2. Отдельностоящие хранилища ОЯТ	21
1.3.2. Хранение ОЯТ в газозаполненных хранилищах	27
1.3.2.1. Сухое хранение ОЯТ в контейнерах	31
1.3.2.2. Сухое хранение ОЯТ в камерах	43
1.3.2.3. Сухое хранилище в железобетонном массиве	46
2. Физико-химические свойства актинидных элементов	54
2.1. Торий	54
2.1.1. Металлический торий	55
2.1.2. Химические свойства тория и его основные соединения	55
2.1.3. Переработка торийсодержащего ядерного топлива	56
2.2. Уран	56
2.2.1. Металлический уран	58
2.2.2. Химические свойства урана и его основные соединения	59
2.3. Плутоний	70
2.3.1. Металлический плутоний	71
2.3.2. Химические свойства плутония и его основные соединения	72
2.4. Нептуний -90	80
2.4.1. Металлический нептуний	90
2.4.2. Химические свойства нептуния и его основные соединения	90

2.4.3. Методы выделения нептуния при переработке ядерного топлива	94
2.5. Америций.....	96
2.5.1. Металлический америций.....	98
2.5.2. Химические свойства америция и его основные соединения.....	98
2.5.3. Выделение америция при переработке ядерного топлива	101
2.6. Кюрий.....	102
2.6.1. Металлические свойства.....	103
2.6.2. Химические свойства кюрия и его основные соединения	103
2.6.3. Выделение кюрия.....	104
3. Физико-химические свойства основных продуктов деления	106
3.1. Цезий	107
3.2. Стронций.....	108
3.3. Редкоземельные элементы (РЗЭ)	108
3.4. Цирконий	109
3.5. Молибден.....	111
3.6. Рутений	112
3.7. Технеций.....	113
3.8. Йод.....	114
3.9. Криптон.....	114
3.10. Тритий и углерод - 14.....	115
4. Некоторые характеристики процесса экстрагирования	116
5. Основные типы экстракторов в промышленности для переработки ядерного топлива	120
6. Некоторые инженерные аспекты разработки оборудования и выбора материалов.....	130
7. Компонентные решения производств переработки ОЯТ.....	136
8. Системы контроля и управления технологическими процессами переработки ОЯТ	145

8.1. Требования к СКУ	145
8.2. Датчики контроля технологического процесса	145
8.3. Измерение концентрации делящихся веществ. САС	150
8.4. Системы радиационного контроля.....	156
9. Технологии переработки ядерного топлива	159
9.1. Стандартный Пурекс-процесс	159
9.2. Промышленное применение Пурекс-процесса.....	161
10. Новые технологии переработки ядерного топлива	172
10.1. Технологии опытно – промышленного завода (ОДЦ) г. Железногорск Красноярского края	172
10.2. Американская технология UREX.....	176
10.3. Япония NEXТ-процесс	187
10.4. Пирохимические технологии для переработки ОЯТ	195
10.5. Фторидно-газовая технология	205
10.6. Флюидная экстракция для переработки ОЯТ	208
10.7. Водно-экстракционный процесс с использованием двух экстрагентов ТБФ и TRPO, разрабатываемые в Китае	211
11. Обращение с радиоактивными отходами.....	2123
11.1. Высокоактивные отходы.....	213
11.2. Среднеактивные отходы	226
11.3. Низкоактивные отходы (НАО).....	234
12. Аспекты безопасности в радиохимических технологиях.....	235
12.1. Ядерная безопасность.....	235
12.2. Химические аспекты безопасности	243
Список литературы	246