

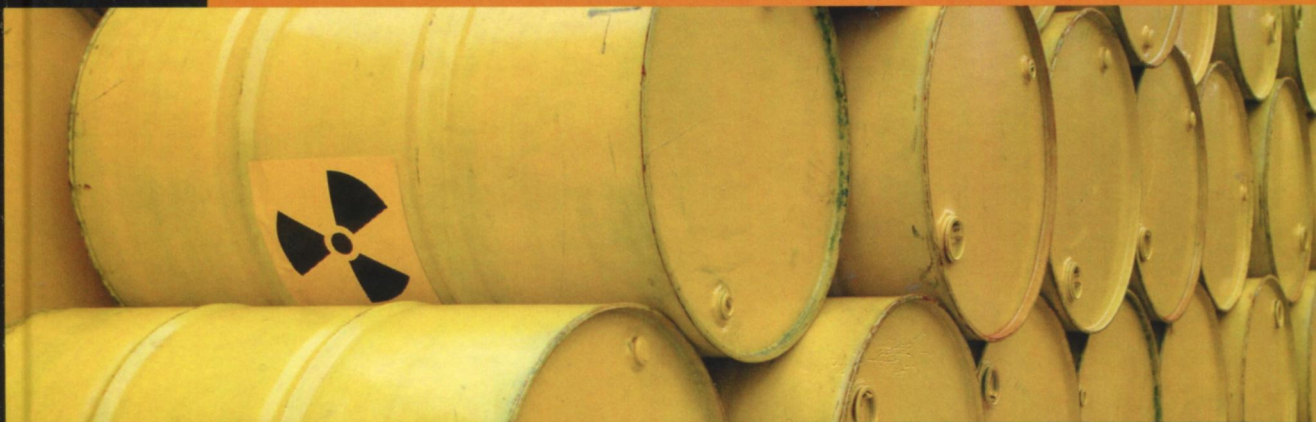
учебное пособие

# Радиоактивные компоненты АЭС:

обращение, переработка, локализация



М.А.Скачек



**М.А.Скачек**

---

# **Радиоактивные компоненты АЭС:**

**обращение, переработка, локализация**

---

учебное пособие

*Допущено УМО вузов России по образованию в области энергетики и электротехники в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки "Ядерная энергетика и теплофизика"*

Второе издание, исправленное

Москва  
Издательский дом МЭИ  
2022

УДК 621.384.039.54

ББК 31.46

С 426

Рецензенты: **О.М. Ковалевич**, доктор техн. наук, главный сотрудник НТЦ  
Федеральной службы по экологическому и атомному надзору;  
**В.П. Горбатов**, доктор техн. наук, профессор МЭИ

**Скачек М.А.**

С 426 Радиоактивные компоненты АЭС: обращение, переработка, локализация: учебное пособие для вузов / М.А. Скачек. — 2-е изд., испр. — М. : Издательский дом МЭИ, 2022. — 552 с.: ил.

ISBN 978-5-383-01551-3

В учебном пособии автором предпринята попытка охватить возможно более широкий круг вопросов, касающихся основных аспектов обращения с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами: методы переработки и транспортировки отработавшего ядерного топлива; модернизацию схем переработки исходя из условия нераспространения ядерного оружия; активацию теплоносителя ядерного энергоблока; состав радиоактивных вод и схемы их очистки. Рассмотрены методы переработки жидких и твердых радиоактивных отходов, проблемы выбора площадок для захоронения отработавшего топлива и отходов, альтернативные способы удаления радиоактивных отходов из сферы деятельности человека. По широте охвата и объему затронутых проблем по данной теме книга является одной из первых в нашей стране.

Первое издание учебного пособия выпущено в 2014 году.

Предназначено для студентов специальности «Атомные электрические станции и установки», студентов вузов других энергетических специальностей, аспирантов, инженеров и руководителей, работающих в области ядерной энергетики, а также широкого круга специалистов смежных областей науки и промышленности.

УДК 621.384.039.54  
ББК 31.46

ISBN 978-5-383-01551-3

© Скачек М.А., 2022  
© АО «Издательский дом МЭИ», 2022

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие .....	8
Введение .....	10
Глава 1. Основные концептуальные принципы обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом .....	21
Глава 2. Отработавшее ядерное топливо и радиоактивные отходы АЭС.....	25
Глава 3. Обращение с отработавшим ядерным топливом АЭС.....	35
3.1. Обращение с отработавшим ядерным топливом в Российской Федерации.....	38
3.1.1. Отработавшее ядерное топливо реакторов ВВЭР-440 .....	38
3.1.2. Отработавшее ядерное топливо реакторов ВВЭР-1000 .....	39
3.1.3. Отработавшее ядерное топливо реакторов РБМК-1000.....	39
3.1.4. Отработавшее ядерное топливо реакторов БН-600 Белоярской АЭС.....	40
3.1.5. Отработавшее ядерное топливо реакторов АМБ Белоярской АЭС и ЭГП-6 Билибинской АЭС.....	40
3.2. Особенности временного хранения ОТВС на АЭС .....	43
3.3. Транспортировка отработавшего ядерного топлива .....	48
3.4. Длительное хранение отработавших ТВС .....	58
3.5. Переработка отработавшего ядерного топлива .....	73
3.6. Обращение с РАО от переработки ОЯТ .....	105
3.7. Трансмутация долгоживущих радиоактивных отходов .....	107
Глава 4. Обработка газообразных радиоактивных отходов .....	113
4.1. Система газовых слувок реакторного отделения .....	114
4.2. Система газоочистки .....	116
Глава 5. Источники жидких радиоактивных отходов.....	118
Глава 6. Виды активности теплоносителя и ее расчет .....	127
Глава 7. Способы обработки жидких радиоактивных отходов .....	137
7.1. Соосаждение .....	137
7.2. Фильтрация .....	140
7.3. Дистилляция .....	145
7.4. Ионный обмен .....	151
7.5. Ионоселективная сорбция .....	152
7.6. Дегазация .....	155
7.7. Обратный осмос .....	159
7.8. Электродиализ .....	160
7.9. Флотация и вымораживание.....	163
Глава 8. Системы обращения с жидкими радиоактивными отходами.....	164

Глава 9. Обработка жидких радиоактивных отходов при выводе энергоблока из эксплуатации.....	186
Глава 10. Временное хранение жидких радиоактивных отходов.....	202
Глава 11. Отверждение жидких радиоактивных отходов .....	212
11.1. Битумирование ЖРО.....	212
11.2. Цементирование ЖРО .....	218
11.3. Остекловывание ЖРО.....	234
11.4. Включение радионуклидов в керамическую или полимерную матрицу .....	241
Глава 12. Обращение с твердыми радиоактивными отходами.....	252
12.1. Дезактивация твердых радиоактивных отходов и оборудования .....	254
12.1.1. Дезактивация ТРО и оборудования энергоблоков с реакторами на тепловых нейтронах.....	254
12.1.2. Дезактивация ТРО и оборудования энергоблоков с реакторами на быстрых нейтронах .....	281
12.1.3. Дезактивация контуров с натриевым теплоносителем .....	285
12.1.4. Дезактивация радиоактивного бетона .....	287
12.1.5. Дезактивация зданий и сооружений.....	294
12.1.6. Миграция радионуклидов в почве и дезактивация местности .....	298
12.2. Хранение твердых радиоактивных отходов и отработавшего ядерного топлива .....	312
12.3. Компактирование твердых радиоактивных отходов .....	325
12.3.1. Сжигание ТРО .....	325
12.3.2. Прессование ТРО.....	333
12.3.3. Плавление ТРО .....	334
12.3.4. Бактериологическая переработка ТРО.....	338
12.4. Контейнеризация и транспортировка РАО.....	339
12.5. Обращение с радиоактивными металлическими отходами.....	345
12.5.1. Глубокая дезактивация радиоактивных металлических отходов .....	349
12.5.2. Переплавка радиоактивных металлических отходов .....	356
12.5.3. Радиационный контроль радиоактивных металлических отходов.....	368
12.5.4. Хранение радиоактивных металлических отходов.....	370
12.6. Обращение с радиоактивным графитом .....	372
12.6.1. Изготовление реакторного графита и его характеристики .....	372
12.6.2. Источники загрязнения графита .....	388
12.6.3. Дезактивация отработавшего графита.....	398
12.6.4. Сжигание радиоактивного графита.....	400
12.6.5. Консервация радиоактивного графита.....	403
12.6.6. Газогенераторная переработка реакторного графита .....	407
12.6.7. Высокотемпературный синтез как метод переработки высокоактивного графита .....	408
12.6.8. Вариант обращения с графитом при выводе уран-графитовых реакторов из эксплуатации.....	410
Глава 13. Локализация радиоактивных отходов .....	416
13.1. Варианты и критерии подземного хранения и захоронения РАО .....	421
13.2. Характеристики геологических пород .....	424
13.3. Выбор варианта захоронения РАО .....	426
13.4. Выбор площадки для захоронения РАО.....	428
13.5. Сооружение, эксплуатация и опечатывание хранилища (могильника).....	431
13.6. Глубинное захоронение жидких радиоактивных отходов.....	432

13.7. Сброс радиоактивных отходов в водоемы.....	451
13.8. Приповерхностное захоронение твердых радиоактивных отходов.....	457
13.9. Глубинное захоронение отвержденных РАО и ОЯТ.....	478
13.9.1. Инженерно-геологические исследования по выбору площадки могильника-захоронения.....	495
13.9.2. Обоснование надежности захоронения РАО.....	516
<i>Глава 14. Альтернативные концепции удаления радиоактивных отходов.....</i>	<i>526</i>
14.1. Захоронение РАО подводными лавинами.....	527
14.2. Дезинтеграция РАО подземным ядерным взрывом.....	529
14.3. Космическая изоляция РАО.....	533
14.4. Самозахоронение высокоактивных РАО.....	536
Контрольные вопросы и задания.....	539
Список литературы.....	545