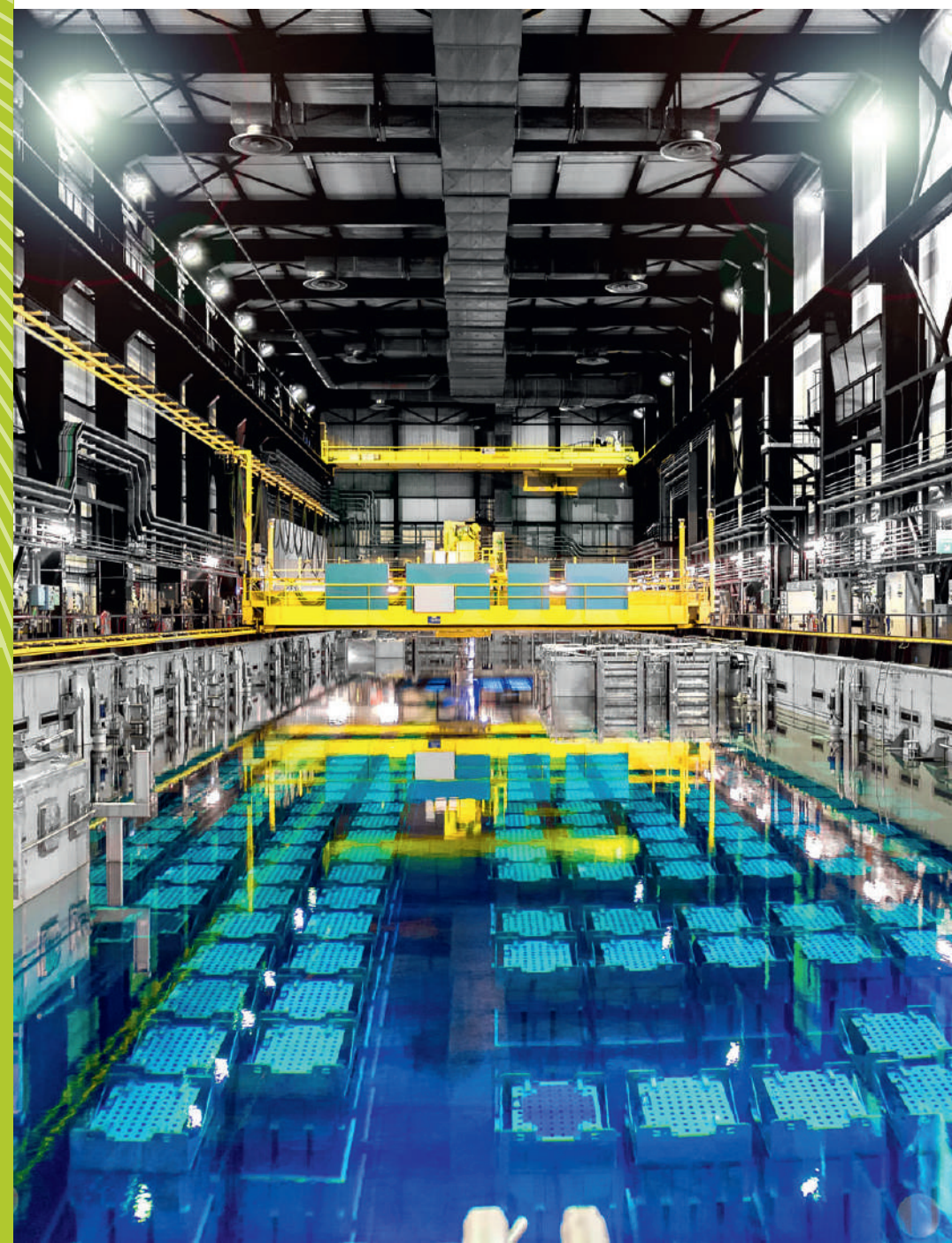




НАУКА  
И ИННОВАЦИИ  
РОСАТОМ

# АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ

## МЕТОДЫ ОБРАЩЕНИЯ С ОБЛУЧЕННЫМ ЯДЕРНЫМ ТОПЛИВОМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕАКТОРОВ



ОБЗОР МЕТОДОВ  
ОБРАЩЕНИЯ С ОЯТ  
И ПРЕДПРИЯТИЙ  
КОНЕЧНОЙ  
СТАДИИ ЯТЦ

ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ  
И ЗАРУБЕЖНЫЕ  
ТЕХНОЛОГИИ  
ПЕРЕРАБОТКИ ОЯТ

ОСОБЕННОСТИ  
НАЦИОНАЛЬНЫХ  
СТРАТЕГИЙ  
ОБРАЩЕНИЯ С ОЯТ

МЕЖДУНАРОДНАЯ  
И НАЦИОНАЛЬНАЯ  
НОРМАТИВНАЯ БАЗА  
В ОБЛАСТИ ОБРАЩЕНИЯ  
С ЗАРУБЕЖНЫМ ОЯТ

ЭКОНОМИЧЕСКИЙ  
АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ  
ПОДХОДОВ  
К ОБРАЩЕНИЮ С ОЯТ

Москва  
2021

Государственная корпорация  
по атомной энергии «Росатом»  
Частное учреждение «Наука и инновации»  
Центр аналитических исследований  
и разработок

Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом»  
Частное учреждение «Наука и инновации»  
Центр аналитических исследований и разработок

# **МЕТОДЫ ОБРАЩЕНИЯ С ОЯТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕАКТОРОВ**

Москва  
2021

УДК 621.039

ББК 31.4

М 54

М 54 Методы обращения с ОЯТ энергетических реакторов / Квятковский С.А., Мансуров О.А., Птицын П.Б.; М.: ЦАИР, частное учреждение «Наука и инновации», 2021. – 192 с.

ISBN 978-5-498-00809-7

© ЦАИР, частное учреждение «Наука и инновации», 2021

Подписано в печать 20.08.2021. Формат 60х84 1/8. Бумага мелованная.

Гарнитура «Rosatom». Печать офсетная. Усл. печ. л. 22,32.

Тираж 150 экз. Заказ № 6303.

Отпечатано в ООО «Элефант»:

610040, г. Киров, ул. Мостовая, д. 32/7,

[www.hibox.pro](http://www.hibox.pro)



**НАЗВАНИЕ РАБОТЫ:**

Методы обращения с ОЯТ энергетических реакторов.

**АВТОРЫ:**

**Квятковский С.А.**, Аналитик отдела ЯТЦ, Центр аналитических исследований и разработок, частное учреждение «Наука и инновации».

**Мансуров О.А.**, Начальник отдела ЯТЦ, Центр аналитических исследований и разработок, частное учреждение «Наука и инновации».

**Птицын П.Б.**, Заместитель директора – директор отраслевого Центра аналитических исследований и разработок, частное учреждение «Наука и инновации».

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

**Барышников М.В.**, Директор Департамента по инновациям и технологиям, АО «Техснабэкспорт».

**Белинский Л.Л.**, Старший менеджер Проектного офиса «Формирование системы обращения с ОЯТ», Госкорпорация «Росатом».

**РЕФЕРАТ:**

В данном аналитическом отчёте на основе анализа ретроспективы развития национальных ядерных энергетических систем показаны основные мировые тенденции и изменение подхода к обращению с ОЯТ энергетических реакторов. Проведён обзор современных технологий в области долговременного промежуточного хранения ОЯТ, существующих и разрабатываемых методов переработки облучённого топлива и реализуемых проектов по окончательной геологической изоляции ОЯТ. Рассмотрены национальные стратегии в области обращения с ОЯТ в странах мира, уже использующих ЯЭ или только сооружающих первую АЭС.

Проведён анализ основных международных и отечественных нормативных актов, определяющих возможности по ввозу и по переработке зарубежного ОЯТ энергетических реакторов. Также проведено сравнение ряда экономических характеристик, связанных с переработкой или окончательной геологической изоляцией ОЯТ.

Показано, что на данный момент у Госкорпорации «Росатом» имеются все необходимые условия для успешного замыкания ЯТЦ и выхода на зарубежный рынок с предложениями в области конечной стадии топливного цикла, однако это потребует интенсификации работ по каждому из рассмотренных направлений для их успешной реализации.

Аналитический отчёт подготовлен в рамках Плана деятельности отраслевого Центра аналитических исследований и разработок (ЦАИР) на 2021 г. (п. 3.4.1).

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:**

обращение с ОЯТ, хранение ОЯТ, переработка, окончательное захоронение ОЯТ, гидрометаллургическая переработка, PUREX-процесс, пирохимическая переработка, фракционирование МА, экономика обращения с ОЯТ.

**ЦИТИРОВАНИЕ:**

Методы обращения с ОЯТ энергетических реакторов. / Квятковский С.А., Мансуров О.А., Птицын П.Б.; М.: ЦАИР, частное учреждение «Наука и инновации», 2021. – 222 с. – Рус. – Деп. 08.06.21, № 39-В2021.

**TITLE:**

Technologies of power reactors SNF management.

**AUTHORS:**

**Kviatkovskii S.A., Mansurov O.A., Ptitsyn P.B.**, Centre of Analytical R&D (CARD), Private Enterprise “Science and Innovations”, State Atomic Energy Corporation Rosatom.

**REVIEWERS:**

**Baryshnikov M.V.**, JSC TENEX.

**Belinsky L.L.**, State Atomic Energy Corporation Rosatom.

**ABSTRACT:**

The analytical report shows the retrospective of world trends and changes in the approach to the management of spent nuclear fuel from power reactors. A review of modern technologies in the field of long-term SNF storage, existing and developing methods of reprocessing and current projects for the final geological isolation of SNF is carried out. National strategies of SNF management in the countries that are already using nuclear power or constructing the first nuclear power plant are considered. The analysis of the main international and domestic regulations which determining the possibilities of the import and reprocessing foreign SNF is carried out. Also a comparison of a number economic characteristics associated with a long-term storage, reprocessing and final geological isolation of SNF are made.

It is shown that at the moment the State Atomic Energy Corporation Rosatom has all the necessary conditions for successful closing the nuclear fuel cycle and entering the foreign market with proposals in the back-end of the fuel cycle. But this will require intensification of work in each of the considered areas for their successful implementation.

**KEYWORDS:**

SNF handling, SNF storage, reprocessing, final disposal, hydrometallurgical reprocessing, PUREX process, pyrochemical reprocessing, minor actinides separation, economics of SNF management.

# СОДЕРЖАНИЕ

---

<b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>5</b>
<b>1. ПРОБЛЕМАТИКА ОБРАЩЕНИЯ С ОЯТ .....</b>	<b>7</b>
1.1. Ретроспектива развития подходов к обращению с ОЯТ .....	7
1.2. Современное состояние вопроса .....	15
1.3. Выводы по разделу «Проблематика обращения с ОЯТ» .....	19
<b>2. МЕТОДЫ ОБРАЩЕНИЯ С ОЯТ .....</b>	<b>21</b>
2.1. Промежуточное хранение ОЯТ .....	21
2.1.1. «Мокрое» хранение ОЯТ .....	23
2.1.1.1. Приреакторное хранение ОЯТ .....	25
2.1.1.2. Пристанционное «мокрое» хранение ОЯТ .....	39
2.1.1.3. Централизованное «мокрое» хранение ОЯТ .....	43
2.1.2. «Сухое» хранение ОЯТ .....	50
2.2. Переработка ОЯТ .....	59
2.2.1. Перерабатывающие комплексы в зарубежных странах .....	59
2.2.2. Методы переработки ОЯТ .....	76
2.2.2.1. Водные технологии переработки .....	80
2.2.2.2. Неводные технологии переработки .....	87
2.2.2.3. Комбинированная гидро- и пирометаллургическая переработка ОЯТ .....	89
2.2.2.4. Технологии переработки ОЯТ в России .....	91
2.2.3. Обращение с продуктами переработки ОЯТ .....	93
2.3. «Прямое» захоронение ОЯТ .....	99
2.4. Выводы по разделу «Методы обращения с ОЯТ» .....	121
<b>3. ОСОБЕННОСТИ НАЦИОНАЛЬНЫХ СТРАТЕГИЙ ПО ОБРАЩЕНИЮ С ОЯТ ...</b>	<b>123</b>
3.1. Страны Европы .....	123
3.2. Страны Азии .....	132
3.3. Страны Ближнего Востока и Африки .....	135
3.4. Страны Северной и Южной Америки .....	137
3.5. Выводы по разделу «Особенности национальных стратегий по обращению с ОЯТ» .....	142
<b>4. ИНСТИТУЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ .....</b>	<b>145</b>
4.1. Основные международные акты .....	145
4.2. Основные нормативные акты Российской Федерации .....	149
4.3. Выводы по разделу «Институциональные особенности» .....	153
<b>5. НЕКОТОРЫЕ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОБРАЩЕНИЯ С ОЯТ .....</b>	<b>155</b>
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>163</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ А .....</b>	<b>166</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Б .....</b>	<b>167</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ В .....</b>	<b>169</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....</b>	<b>172</b>
<b>ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ .....</b>	<b>189</b>



## ВВЕДЕНИЕ

---

Выбор подхода к обращению с ОЯТ в странах зависит от многих факторов: общемировых макроэкономических и политических тенденций, влияющих на национальные стратегии развития энергетического комплекса; общественного отношения к ЯЭ; ожидаемых темпов роста установленных мощностей АЭС; наличия технологий, компетенций и предприятий ЯТЦ; географического положения и плотности населения.

Если в XX веке основными центрами развития технологий в области конечной стадии ЯТЦ являлись страны Европы, то в настоящее время этими центрами могут стать страны Азии – Китай и Индия, в связи с необходимостью надёжного обеспечения ресурсами своих программ широкомасштабного внедрения ЯЭ за счёт рецикла выделенных продуктов переработки ОЯТ и наработки дополнительных ДМ в реакторах типа БН.

В то же время Россия может оказать ключевое влияние на развитие технологий конечной стадии ЯТЦ и на мировой рынок в области предложений по переработке ОЯТ зарубежных стран и рециклу накопленных делящихся материалов, поскольку уже обладает обширным опытом как в части обращения с ОЯТ, так и в части технологий быстрых реакторов, способных наиболее эффективно использовать выделяемый при переработке Pu.

Цель настоящего отчёта – проанализировать, какой именно российский опыт в области обращения с ОЯТ может быть наиболее востребован в настоящее время, в том числе в международных проектах и программах.

С полными версиями аналитических отчетов отраслевого Центра аналитических исследований и разработок можно ознакомиться на следующих ресурсах:

1. Портал отраслевого Центра аналитических исследований и разработок (доступ осуществляется через внутреннюю сеть КСПД Росатома)



2. Раздел отраслевого Центра аналитических исследований и разработок на портале «Страна Росатом» (доступ осуществляется через внутреннюю сеть КСПД Росатома)

