



НАУКА
И ИННОВАЦИИ
РОСАТОМ

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ

**ВЫВОД ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ЯДЕРНО- И РАДИАЦИОННО- ОПАСНЫХ
ОБЪЕКТОВ: РЫНКИ, ФИНАНСОВО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ,
СТРАТЕГИИ ВЭ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**



**ОБЗОР ТЕКУЩЕГО
СОСТОЯНИЯ РАБОТ ПО ВЭ
В РАЗЛИЧНЫХ
СТРАНАХ МИРА**

**СТРАТЕГИИ И ПОДХОДЫ К
ВЭ ОИАЭ**

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
ПОЛИТИКА И УПРАВЛЕНИЕ
НИОКР В ОБЛАСТИ ВЭ**

**ЭКСПОРТ ТЕХНОЛОГИЙ
И УСЛУГ ВЭ НА
ЗАРУБЕЖНЫЕ РЫНКИ**

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

ВЫВОД ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЯДЕРНО- И РАДИАЦИОННО- ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ: РЫНКИ, ФИНАНСОВО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ, СТРАТЕГИИ ВЭ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Москва
2021

УДК 621.039.7

ББК 31.4

В 92

В 92 Вывод из эксплуатации ядерно- и радиационно-опасных объектов: рынки, финансово-экономические аспекты, стратегии ВЭ и перспективные технологии. / Мансуров О.А., Птицын П.Б.; М.: ЦАИР, частное учреждение «Наука и инновации», 2021. – 162 с.

ISBN 978-5-498-00806-6

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

Подписано в печать 20.08.2021. Формат 60x84 1/8. Бумага мелованная.

Гарнитура «Rosatom». Печать офсетная. Усл. печ. л. 18,83.

Тираж 150 экз. Заказ № 6300.

Отпечатано в ООО «Элефант»:

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

www.hibox.pro

НАЗВАНИЕ РАБОТЫ:

Вывод из эксплуатации ядерно- и радиационно-опасных объектов: рынки, финансово-экономические аспекты, стратегии ВЭ и перспективные технологии.

АВТОРЫ:

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:

Семин С.Д., Руководитель проектов, АО «Техснабэкспорт».

Журавлев П.В., Проректор, АНО ДПО «Техническая академия «Росатома».

РЕФЕРАТ:

В отчете представлены обзор и анализ текущего состояния работ в области вывода из эксплуатации и реабилитации ядерно- и радиационно-опасных объектов, включая ядерные установки и площадки, подпадающие под действие программ ядерного «наследия» в различных странах мира, а также парк энергетических и исследовательских реакторов, находящихся в стадии останова и снятия с эксплуатации. Проанализированы финансово-экономические аспекты выполнения работ в области вывода из эксплуатации, включая формирование финансовых долгосрочных обязательств в этой сфере и методы их покрытия из государственных и частных фондов. Рассмотрены экономические оценки стоимости и схемы финансирования практических работ по выводу из эксплуатации объектов ядерного «наследия», установок ядерного топливного цикла, реакторного парка. Кроме того, описаны стратегии и подходы коммерческих компаний-операторов, специализирующихся на выводе из эксплуатации при выходе на международные рынки. Рассмотрена научно-техническая политика ведущих стран мира (США, Великобритания, Германия, Франция, Япония) в отношении формирования инновационной экосистемы, выполнения НИОКР по тематике вывода из эксплуатации. Проанализированы потребности в высокотехнологичных решениях на ближайшую и среднесрочную перспективы. Оценены текущая ситуация и перспективы для Госкорпорации «Росатом» стать крупным исполнителем заказных работ на международных рынках вывода из эксплуатации в ближайшее время и на долгосрочную перспективу. Аналитический отчет подготовлен в рамках плана деятельности отраслевого Центра аналитических исследований и разработок частного учреждения «Наука и инновации» в 2020 году.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

вывод из эксплуатации, радиоактивные отходы, облученное ядерное топливо, атомная энергетика, ядерные технологии, научно-техническая политика, управление НИОКР, инновационное развитие.

ЦИТИРОВАНИЕ:

Вывод из эксплуатации ядерно- и радиационно-опасных объектов: рынки, финансово-экономические аспекты, стратегии ВЭ и перспективные технологии. / Мансуров О.А., Птицын П.Б.; М.: ЦАИР, частное учреждение «Наука и инновации», 2021. – 191 с. – Рус. – Деп. 21.05.21, № 33-В2021.

TITLE:

Decommissioning of nuclear facilities: markets, economics, strategies and technology prospects.

AUTHORS:

Mansurov O.A., Ptitsyn P.B., Centre of Analytical R&D (CARD), Private Enterprise «Science and Innovations», State Atomic Energy Corporation Rosatom.

REVIEWERS:

Semin S. D., JSC TENEX.

Zhuravlev P. V., Technical Academy of Rosatom.

ABSTRACT:

The report provides an overview and analysis of the current situation in the field of decommissioning of nuclear facilities (nuclear fuel cycle installations, commercial power stations and research reactors, etc.) and rehabilitation of nuclear sites, which are performed within the national nuclear legacy programs in multiple countries. Financial and economic aspects of decommissioning work, including the formation of long-term obligations and methods of their coverage from state and private decommissioning funds have been reviewed. The cost development and estimating of the decommissioning of nuclear legacy facilities, nuclear fuel cycle installations, and reactor units has been analyzed. In addition, strategies and market entry approaches of private companies that are specialized in the nuclear decommissioning have been described. Scientific and technical policy of leading countries (USA, Great Britain, Germany, France, Japan) was specified with regard to the formation of innovative ecosystems, research and development implementation in this area. Needs in high-tech solutions for near-future and mid-term perspectives have been evaluated. The current position and potential of the SC Rosatom to become a large executor of the decommissioning works at the international markets have been identified and analyzed.

This report was prepared as a part of the Action Plan for 2019–2020 of the Centre of Analytical R&D (CARD).

KEY WORDS:

decommissioning, radioactive waste, spent nuclear fuel, nuclear energy, nuclear technologies, scientific and technical policy, R&D management, innovative development.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
1. ОБЗОР ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ РАБОТ ПО ВЭ ЯРОО В МИРЕ	11
1.1. Программы ядерного «наследия»	12
1.1.1. США	12
1.1.2. Великобритания	17
1.1.3. Франция	22
1.1.4. Канада	24
1.2. Вывод из эксплуатации реакторного парка (АЭС и ИР)	25
1.2.1. США	29
1.2.2. Европейские страны	32
1.2.3. Канада	50
1.2.4. Япония	50
1.2.5. Южная Корея	53
2. ФИНАНСОВО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВЭ	55
2.1. Финансовые долгосрочные обязательства при ВЭ объектов ядерного «наследия»	55
2.2. Экономические оценки стоимости ВЭ	57
2.3. Финансирование работ по ВЭ	67
3. СТРАТЕГИИ ВЭ	77
3.1. Стратегии ВЭ ОИАЭ	77
3.2. Национальные рынки ВЭ: условия для формирования и последние тенденции	86
4. ПОТРЕБНОСТИ В ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ РЕШЕНИЯХ ПРИ ВЭ ЯРОО	93
4.1. Научно-техническая политика и управление НИОКР в области ВЭ	93
4.2. Цифровые решения и технологии роботизации, используемые при ВЭ ЯРОО	103
4.2.1. Цифровые и информационные технологии применительно к организации и проектированию работ по ВЭ	106
4.2.2. Имитационное моделирование технологий и процессов при ВЭ	110
4.2.3. Роботизированные системы для радиационного обследования и мониторинга ядерно- и радиационно-опасных объектов	113
4.2.4. Применение лазерных технологий при ВЭ	120

5. ПЕРСПЕКТИВЫ ГОСКОРПОРАЦИИ «РОСАТОМ» ПРИ ВЫХОДЕ НА ГЛОБАЛЬНЫЙ РЫНОК ТЕХНОЛОГИЙ И УСЛУГ В ОБЛАСТИ ВЭ	127
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	137
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	142
ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	158





ВВЕДЕНИЕ

Вывод из эксплуатации сегодня – это масштабная и быстро развивающаяся сфера деятельности во многих странах мира, имеющих объекты использования атомной энергии.

Терминологически «вывод из эксплуатации» относится прежде всего к ядерным или радиационно-опасным установкам. Под установкой понимаются строение и относящиеся к нему земля и оборудование, где используется или хранится радиоактивный материал. В свою очередь термин «реабилитация» чаще употребляется по отношению к площадкам (например, земельным участкам для последующего промышленного использования).

Под выводом из эксплуатации ядерной установки понимают меры, принимаемые с целью снятия с установки всех или некоторых регулирующих требований. Необходимость работать в условиях повышенного радиационного фона, значительная неопределенность реальной стоимости процессов вывода из эксплуатации, требуемый высокий уровень квалификации рабочих и инженерных кадров, не столь значимый накопленный в мире опыт в проведении практических работ на ядерных объектах – все это делает данный процесс сложным и дорогостоящим.

Одно из наиболее важных понятий, относящихся к выводу из эксплуатации, – это «конечное состояние» установки/объекта после завершения

работ. Под конечным состоянием понимают физическое состояние площадки (земельного участка) при достижении целевых показателей. Именно от того, каким будет определено конечное состояние, зависят планирование и организация работ по выводу из эксплуатации, а также величина и качество привлекаемых человеческих ресурсов, объем требуемых финансовых средств. Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ) в Общих требованиях безопасности GSR Part 6 «Вывод установок из эксплуатации» отмечает, что «мероприятия по выводу из эксплуатации считаются законченными, когда достигнуто утвержденное конечное состояние. В зависимости от национальных юридических и регулирующих требований это конечное состояние является результатом дезактивации и/или демонтажа, обращения с отходами и очистки, которые ведут к снятию установки с регулирующего контроля с введением ограничений в отношении дальнейшего использования или без таких ограничений». Во всем мире предпочтение отдается конечному состоянию «зеленая лужайка», т.е. когда ядерный объект полностью освобождается из-под надзорного контроля и на этом месте можно осуществлять любую хозяйственную деятельность.

В Требованиях безопасности WS-R-5 МАГАТЭ в качестве стратегий вывода из эксплуатации предусматривались следующие подходы: немедленный демонтаж, отсроченный демонтаж и захоронение/изоляция в искусственном сооружении. Общие требования безопасности GSR Part 6 исключили последний вариант из числа предпочтительных стратегий вывода из эксплуатации.

Программы ядерного «наследия» масштабно ведутся во многих странах не одно десятилетие – это прежде всего США и Великобритания. США на сегодняшний день страна-лидер в области ВЭ, чей ядерный промышленный комплекс успешно приобрел богатый опыт, современные решения и технологии при очистке и снятии множества устаревших ядерных объектов, установок из эксплуатации и реабилитации их площадок. На конец 2020 года из 107 ядерных площадок, включенных изначально в программу по выводу из эксплуатации и реабилитации, работы продолжаются только на 16. Реализация программ ядерного «наследия» требует огромных капиталовложений: так, общая стоимость работ, включенных в программы NDA, оценивается в около 115 млрд фунтов стерлингов; а общая сумма обязательств U.S.DOE-EM на очистку своей ядерной инфраструктуры составляет около 370 млрд долларов США, притом что уже фактически на программы «наследия» было потрачено свыше 200 млрд долларов США. Меньшие, но все же значимые суммы по своим программам «наследия» придется потратить Франции и России. С точки зрения

сроков реализации указанных программ речь идет о не менее чем столетии – к примеру, Великобритания предполагает завершить работы по ядерной площадке Sellafield только к 2120 году.

В отношении парка энергетических реакторов следует отметить, что возраст многих все еще действующих реакторов существенный – большая часть АЭС строилась на рубеже 1970 – начала 1980-х гг. Например, из 442 реакторов, работавших в ноябре 2020 года, 70% имели срок эксплуатации более 30 лет, а 25% функционировали в течение более чем 40 лет. Кроме того, суммарное количество находящихся в состоянии останова реакторов составляет 189 единиц. В связи с аварией на АЭС Fukushima-Daiichi процесс отключения из энергосети АЭС только ускорился (и причем многие из них так и не достигли предельного срока своей эксплуатации): многие страны объявили о поэтапном отказе от атомной генерации, в частности Германия, Швейцария, Испания, Бельгия, Южная Корея и др. На середину 2020 года в мире были полностью технически выведены из эксплуатации 20 энергоблоков, и только половина под статус «зеленая лужайка».

В отношении вывода из эксплуатации многих ядерных установок (энергетические, исследовательские реакторы) все чаще в последнее десятилетие используются стратегии немедленного демонтажа. Этой практики стали придерживаться такие страны, как США, Франция, Италия, Германия, Словения, Россия. Стратегия отложенного демонтажа с периодом выдержки реакторов в 10–40 лет принята в Швеции; Великобритания также частично придерживается данной стратегии, рассматривая период выдержки для своих энергетических уран-графитовых реакторов до 100 лет. Основными предпосылками для привлечения высокотехнологичных решений при ВЭ являются необходимость снижения расходов при выполнении проектных работ на объекте, а также желание исполнителей завершить их или в проектные сроки, или даже заблаговременно. Еще одним важным аспектом является тот факт, что наличие повышенного радиационного загрязнения нередко делает невозможным прямое участие персонала при выполнении определенных операций в ходе вывода из эксплуатации. Все эти факторы создают условия для широкого внедрения и применения таких современных технологических решений, как робототехника, цифровые и информационные технологии, искусственный интеллект и дополненная реальность, новые эффективные методы дезактивации и очистки загрязненных территорий. Появление новых технологий и тем более их быстрое промышленное освоение невозможно без понятной научно-технической политики государства и соответствующих инструментов и мер поддержки, направленных на

формирование широкой кооперации и обмен компетенциями и знаниями между различными участниками этого инновационного процесса (государство, наука и промышленность).

В России в середине 2000-х гг. отношение к тематике вывода из эксплуатации серьезно поменялось: осознавая весь комплекс складывающихся проблем и вызовов, в Госкорпорации «Росатом» предприняли шаги по созданию отраслевой системы вывода из эксплуатации. В феврале 2008 г. была утверждена первая версия «Концепции вывода из эксплуатации ЯРОО». В том же 2008 году была принята Федеральная целевая программа «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года» (ФЦП ЯРБ 2008–2015), в рамках которой при государственной поддержке осуществлялись работы по ВЭ объектов ядерного «наследия» в РФ до 2015 года. В 2016 году завершившаяся программа ФЦП ЯРБ 2008 – 2015 продолжилась в виде новой, более масштабной и длительной по срокам Федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016 – 2020 годы и на период до 2030 года» (ФЦП ЯРБ 2016 – 2030).

В главе 1 данного отчета представлено описание текущего состояния работ по выводу из эксплуатации в различных странах мира, где ядерная энергетика все еще остается востребованным источником энергии. Рассмотрены объемы рынков, финансовые обязательства и последние тренды в части вывода из эксплуатации объектов ядерного «наследия», энергетических и исследовательских реакторов, различных установок ядерного топливного цикла. Вторая глава посвящена финансово-экономическим аспектам вывода из эксплуатации, включая такие вопросы, как финансовые долгосрочные обязательства различных ядерных стран, механизмы финансового обеспечения этих обязательств, а также подходы и методологии к экономической оценке соответствующих затрат на вывод из эксплуатации. Различные общепринятые стратегии вывода из эксплуатации, а также последние своеобразные подходы как государственных структур, ответственных за данную деятельность, так и ведущих компаний, осуществляемые для достижения своих целей, рассмотрены в главе 3. Особенности формирования научно-технической политики, а также последние тенденции и практики организации взаимодействия с наукой, малым технологическим бизнесом рассмотрены в главе 4. Последняя глава представляет собой анализ и обсуждение возможностей, ограничений и перспектив Госкорпорации «Росатом» при выходе на глобальный рынок вывода из эксплуатации ЯРОО.

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)

