ПОДХОДЫ К ДЕМОНТАЖУ ГРАФИТОВЫХ КЛАДОК ПРИ ВЫВОДЕ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПО ВАРИАНТУ «ЛИКВИДАЦИЯ»

Е. С. Падерин, А. А. Шешин, К. Е. Орлов

АО «Опытно-демонстрационный центр вывода из эксплуатации уран-графитовых ядерных реакторов»,
Северск, Томская область

Статья поступила в редакцию 10 июля 2019 г.

В настоящее время для энергетических уран-графитовых реакторов (УГР) типа РБМК, АМБ и ЭГП-6 принята концепция вывода из эксплуатации по варианту «ликвидация». Практический опыт таких работ, в том числе и демонтаж кладки реакторов, отсутствует. Разрабатываемые технологии выполнения демонтажных работ на объектах использования атомной энергии должны основываться в первую очередь на соблюдении принципов оптимизации и обоснованности, что для данных условий требует максимально возможного применения дистанционных методов проведения работ.

В рамках мероприятий, предусмотренных Федеральной целевой программой «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016–2020 годы и на период до 2030 года» (ФЦП ЯРБ-2), АО «Опытно-демонстрационный центр вывода из эксплуатации уран-графитовых ядерных реакторов» были проведены опытно-конструкторские работы (ОКР) по созданию методов и технологий выполнения демонтажа графитовой кладки на остановленном промышленном УГР АДЭ-5. По итогам первого этапа работ определена последовательность технологических операций и мероприятий, обеспечивающих безопасность при демонтаже элементов металлоконструкций УГР между верхней биологической защитой и графитовой кладкой. На различных стадиях вывода из эксплуатации выполнена оценка характеристик и количества образующихся радиоактивных отходов, дозовых затрат и времени пребывания персонала в зоне выполнения работ. Разработаны технические решения по выполнению проема в верхней биологической защите, демонтажа элементов трактов технологических каналов, металлоконструкций и графитовых блоков верхнего ряда кладки, расположенных в зоне проема.

Ключевые слова: уран-графитовый реактор, графитовая кладка, демонтаж, металлоконструкции, биологическая защита, технологическая последовательность.

К настоящему времени в мире построено более 250 уран-графитовых ядерных реакторов различного типа, из которых многие уже остановлены, а в ближайшие 10–15 лет, в связи с выработкой ресурса, будет остановлено и большинство работающих блоков.

Одним из наиболее острых вопросов, связанных с выводом из эксплуатации УГР, является обращение с облученным графитом, что

обусловлено присутствием в нем радионуклидов ^{14}C , ^{36}Cl . Эти радионуклиды, вследствие длительного периода полураспада ($5,73 \cdot 10^3$ и $3,01 \cdot 10^5$ лет соответственно) и своих радиологических свойств, представляют значительную потенциальную экологическую опасность [1]. Содержание ^{14}C в облученном графите (10^5 – 10^6 Бк/г) в 10^6 раз больше его количества в естественном углероде.

Кроме этого, необходимо учитывать и масштабы проблемы. В мире накоплено около 230—250 тыс. тонн облученного графита. В настоящее время на территории Российской Федерации остановлены 13 промышленных и пять энергетических уран-графитовых реакторов (АМ, АО «ГНЦ РФ-ФЭИ»; АМБ-100, 200, Белоярская АЭС; РБМК-1000, Ленинградская АЭС; ЭГП-6, Билибинская АЭС). Продолжают эксплуатироваться 10 реакторов РБМК Ленинградской, Курской и Смоленской АЭС и 3 блока ЭГП-6 Билибинской АЭС. Количество накопленного облученного графита — примерно 60 тыс. т. Помимо России, проблема обращения с облученным реакторным графитом актуальна и для других стран, например в Великобритании накоплено более 77 тыс. т облученного графита, в США — более 50 тыс. т и во Франции — более 23 тыс. т.

В настоящее время для всех УГР, как зарубежных, так и отечественных, концептуально определен вывод из эксплуатации по варианту «ликвидация» [2]. Исключение составляют только отечественные промышленные уран-графитовые реакторы (ПУГР), для которых, с учетом их конструктивных особенностей и мест размещения, предусмотрена возможность вывода из эксплуатации по варианту «захоронение на месте».

Однако практический опыт работ по ликвидации УГР или демонтажу кладки таких реакторов отсутствует.

При проведении масштабных работ по демонтажу графитовой кладки, связанных с любыми манипуляциями с облученными графитовыми деталями (блоками, втулками, кольцами), необходимо свести к минимуму образование радиоактивных аэрозолей, а также обеспечить взрыво- и пожаробезопасность работ. Проведение демонтажа графитовой кладки осложняется еще и тем, что она расположена в окружении массивных металлоконструкций, которые при работе реактора подвергались нейтронной активации и на момент окончательного останова УГР содержат существенное количество гамма-излучающих изотопов (в основном ^{60}Co), которые определяют высокую мощность дозы в реакторном пространстве (до 10 Зв/ч).

С целью безопасного демонтажа графитовых кладок должны быть разработаны соответствующие организационно-технические мероприятия, технологические решения и необходимые средства технологического оснащения, обеспечивающие дистанционное проведение работ. С 2016 г. специалистами АО «ОДЦ УГР», АО НИКИЭТ и ИФХЭ РАН в рамках государственных контрактов проводятся научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по

созданию технологических решений и оборудования для демонтажа графитовой кладки УГР.

Для практической отработки технологии демонтажа был выбран ПУГР АДЭ-5, конструкция которого сходна с конструкцией уран-графитовых энергетических реакторов. За период его эксплуатации не зафиксировано ни одного серьезного инцидента, поэтому отработка технологии демонтажа на АДЭ-5 может быть выполнена с минимальным облучением персонала.

До проведения опытных работ на ПУГР АДЭ-5 по отработке технологии демонтажа графитовой кладки было выполнено комплексное инженерное и радиационное обследование, на основании которого выбран район выполнения проходки в верхней биологической защите. Разработана последовательность технологических операций по организации доступа к графитовой кладке и извлечению графитовых блоков, а также перечень мероприятий, предотвращающих пыление в процессе производства работ. Выполнена оценка дозовых нагрузок и пожароопасных факторов при выполнении всех операций в соответствии с разработанной технологической последовательностью. На полномасштабных макетах элементов конструкции ПУГР отработаны операции с применением стандартного и нестандартного оборудования по демонтажу трактов технологических каналов и извлечению графитовых блоков кладки.

При выполнении НИОКР были описаны и проанализированы конструкции кладок и металлоконструкции в пределах шахты реактора и разработан способ демонтажа графитовой кладки ядерных реакторов.

Последовательность подготовительных операций по обеспечению доступа к графитовой кладке ПУГР АДЭ-5 предусматривает демонтаж верхних водяных коммуникаций и обрезку труб трактов технологических каналов (ТК) над верхней биологической защитой, организацию проема в верхней биологической защите (удаление фрагментов верхнего и нижнего листов верхней биологической защиты с трактами ТК), установку над проемом временной биологической защиты, демонтаж элементов трактов ТК между графитовой кладкой и верхней биологической защитой, организацию проема в азотном коробе, удаление плитного настила (рис. 1—3).

По итогам выполнения данных работ достигнуты следующие результаты:

- обоснованы подходы по обеспечению безопасного проведения работ по разбору кладки реактора;
- разработаны общие технологические решения по демонтажу графитовой кладки и требования к нестандартному оборудованию;

Рис. 1. Этапы практических работ по выполнению проема ПУГР АДЭ-5:

а) выполнение резов верхней плиты по периметру проходки; б) извлечение фрагментов верхней плиты с трактами ТК; в) установка защитной плиты

Рис. 2. Извлечение верхних блоков графитовой кладки ПУГР АДЭ-5

Рис. 3. Внешний вид фрагмента проема после извлечения графитовых блоков

- выполнен технологический проем в верхней биологической защите ПУГР АДЭ-5 для обеспечения доступа к графитовой кладке;
- изготовлено и испытано на стенде нестандартное оборудование для демонтажа кладки;
- через выполненный проем в верхней биологической защите извлечены несколько графитовых блоков;
- разработаны рекомендации по корректировке конструкторской документации на нестандартное оборудование.

Дальнейшая отработка технологии демонтажа кладки уран-графитовых реакторов проводится по следующим направлениям:

- разработка технических решений по демонтажу элементов металлоконструкций УГР, трактов ТК, расположенных между верхней биологической защитой и графитовой кладкой, и элементов кладки;
- доработка робототехнического комплекса для расширения его функциональных возможностей по дистанционному перемещению и выполнению комплекса работ по демонтажу элементов металлоконструкций и графитовой кладки реактора;
- выполнение опытных операций по демонтажу и извлечению трактов ТК и других металлоконструкций УГР, расположенных между верхней

биологической защитой и графитовой кладкой, в том числе блоков графитовой кладки ПУГР АДЭ-5, с помощью специального инструмента и роботизированного комплекса;

- метрологическая аттестация методики измерения радиационных характеристик графитовых РАО с использованием блоков, извлеченных из кладки реактора;
- отработка методов сортировки графитовых РАО на извлеченных из кладки реактора блоках;
- подготовка упаковок графитовых РАО и отработка методики их паспортизации.

По результатам проведенных НИОКР разработан и запатентован способ демонтажа графитовой кладки ядерного реактора [3].

Литература

1. Рублевский В. П., Яценко В. Н. Особенности радиационного и биологического действия ^{14}C на живые организмы и опасность его накопления в биосфере Земли // Атомная энергия. 2018. Т. 125. № 5. С. 301–306.
2. Лучшие зарубежные практики вывода из эксплуатации ядерных установок и реабилитации загрязненных территорий: Т. 1. / под общей ред. И. И. Линге и А. А. Абрамова. — М: ИБРАЭ РАН, 2017 г. — 336 с.
3. Способ демонтажа графитовой кладки ядерного реактора: патент № 2679827 Рос. Федерация: МПК G21C 19/00 / Бирюков А. Н., Ермошин Ф. Е., Котляревский С. Г. и др., заявка 2018108943; заяв. 12. 03. 18; опуб. 13. 02. 19, Бюл. № 5. — 6 с.

Информация об авторах

Падерин Егор Станиславович, начальник службы вывода из эксплуатации комплексов с ядерными установками, АО «ОДЦ УГР» (636000, г. Северск, Томская область, а/я 654), e-mail: info@dnrc.ru.

Шешин Александр Андреевич, ведущий инженер службы вывода из эксплуатации комплексов с ядерными установками, АО «ОДЦ УГР» (636000, г. Северск, Томская область, а/я 654), e-mail: info@dnrc.ru.

Орлов Константин Евгеньевич, начальник отдела развития и инновационной деятельности, АО «ОДЦ УГР» (636000, г. Северск, Томская область, а/я 654), e-mail: info@dnrc.ru.

Библиографическое описание статьи

Падерин Е. С., Шешин А. А., Орлов К. Е. Подходы к демонтажу графитовых кладок при выводе из эксплуатации по варианту «ликвидация» // Радиоактивные отходы. 2019. № 3(8). С. 69–73. DOI: 10.25283/2587-9707-2019-3-69-73.

GRAPHITE STACK DISMANTLING APPROACHES UNDER “DEMOLITION” DECOMMISSIONING OPTION

Paderin E. S., Sheshin A. A., Orlov K. E.

Pilot & Demonstration Center for Decommissioning of Uranium-Graphite Nuclear Reactors JSC, Seversk, Tomsk region, Russia

Article received on July 10, 2019

“Demolition” decommissioning strategy is currently being followed up for RBMK, AMB and EGP-6 type uranium-graphite commercial reactors. Nevertheless, practical experience on such reactor demolition, including graphite stack dismantlement, is not yet available.

Technologies being developed to enable the dismantlement of nuclear power facilities should be primary based on optimization and feasibility principles. Given the existing setup, this requires that remote techniques are applied to the maximum extent possible. Under the Federal Targeted Program for Nuclear and Radiation Safety-2 (FTP NRS-2),

JSC Pilot-Demonstration Center for Uranium-Graphite Nuclear Reactor Decommissioning has carried out R&Ds on the development of graphite stack dismantlement technology for the shutdown uranium-graphite commercial reactor ADE-5.

The first stage of the project resulted in a flow sequence of operations and measures ensuring safety during the dismantlement of UGR metal structures located between the upper biological shielding and the graphite stack. Characteristics and the amounts of generated radioactive waste, personnel exposure and time have been evaluated. Engineering solutions on penetrating the upper biological shielding, dismantlement of reactor fuel channel elements, metal structures and graphite blocks in the stack's upper layer have been developed.

Keywords: uranium-graphite reactor, graphite stack, dismantlement, metal structures, biological shield, technological sequence.

References

1. Rublevskiy V.P., Yatsenko V.N. Osobennosti radiacionnogo i biologicheskogo dejstviya ^{14}S na zhivye organizmy i opasnost' ego nakopleniya v biosfere Zemli [Peculiarities of ^{14}S Radiation and Biological Effect on living organisms and Risk of Its Accumulation in Terrestrial Biosphere]. *Atomnaya energiya — Atomic Energy*, 2018, v. 125, no. 5, pp. 301—306.
2. Luchshie zarubezhnye praktiki vyvoda iz ekspluatatsii yadernyh ustanovok i reabilitatsii zagryaznennykh territorij [Best Foreign Practices of Nuclear Facilities Decommissioning and Contaminated Areas Remediation]. Vol. 1. Edited by Linge I. I., Abramov A. A. Moscow, Nuclear Safety Institute of RAS Publ., 2017. 336 p.
3. Sposob demontazha grafitovoj kladki yadernogo reaktora [Method for Disassembling Graphite of Nuclear Reactor]: patent № 2679827 RU: MPK G21C 19/00/Biryukov A. N., Ermoshin F. E., Kotlyarevskij S. G. i dr. Application 2018108943. Date of filing 12. 03. 18. Date of publication 13.02.2019, Bull. № 5. 6 p.

Information about the authors

Paderin Egor Stanislavovich, Head of Service for Decommissioning of Nuclear Facilities Sites, JSC “Pilot Demonstration Center for Decommissioning of Uranium-Graphite Nuclear Reactors” (Box 654, Seversk, Tomsk Region, 636000, Russia), e-mail: info@dnrc.ru.

Sheshin Alexander Andreevich, Leading Engineer, Service for Decommissioning of Nuclear Facilities Sites, JSC “Pilot Demonstration Center for Decommissioning of Uranium-Graphite Nuclear Reactors” (Box 654, Seversk, Tomsk Region, 636000, Russia), e-mail: info@dnrc.ru.

Orlov Konstantin Evgen'evich, Head of Development & Innovation Activities Department, JSC «Pilot Demonstration Center for Decommissioning of Uranium-Graphite Nuclear Reactors” (Box 654, Seversk, Tomsk Region, 636000, Russia), e-mail: info@dnrc.ru.

Bibliographic description

Paderin E. S., Sheshin A. A., Orlov K. E. Graphite Stack Dismantling Approaches under “Demolition” Decommissioning Option. *Radioactive Waste*, 2019, no. 3 (8), pp. 69—73. DOI: 10.25283/2587-9707-2019-3-69-73. (in Russian).