

Захоронение на месте как вариант снятия с эксплуатации объектов Чернобыльской АЭС

Рассмотрены практические и теоретические аспекты захоронения на месте применительно к вопросам снятия с эксплуатации энергоблоков Чернобыльской АЭС и преобразования объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему. Приведен международный опыт, выполнен анализ возможности использования захоронения на месте в условиях зоны отчуждения. Выдвинуты предложения по легализации захоронения на месте в Украине и созданию нормативно-правовой базы для его применения.

Ключевые слова: снятие с эксплуатации, захоронение на месте, ядерные установки, Чернобыльская АЭС, объект «Укрытие», зона отчуждения.

Д. А. Стельмах, В. К. Кучинский, А. М. Платоненко

Захоронення на місці як варіант зняття з експлуатації об'єктів Чорнобильської АЕС

Розглянуто практичні та теоретичні аспекти захоронення на місці стосовно питань зняття з експлуатації енергоблоків Чорнобильської АЕС та перетворення об'єкта «Укриття» на екологічно безпечну систему. Наведено міжнародний досвід, виконано аналіз можливості використання захоронення на місці в умовах зони відчуження. Висунуто пропозиції щодо легалізації захоронення на місці в Україні та створення нормативно-правової бази для його застосування.

Ключові слова: зняття з експлуатації, захоронення на місці, ядерні установки, Чорнобильська АЕС, об'єкт «Укриття», зона відчуження.

© Д. А. Стельмах, В. К. Кучинский, А. М. Платоненко, 2016

Захоронение на месте (entombment) в течение нескольких десятилетий считалось одним из вариантов стратегий снятия с эксплуатации (СЭ) [1]. При пересмотре требований МАГАТЭ к снятию с эксплуатации захоронение на месте было исключено из перечня стратегий СЭ [2]. В последние годы некоторые государства — члены МАГАТЭ подтвердили свою заинтересованность в применении данного варианта, при этом захоронение на месте рассматривается только при исключительных обстоятельствах, для объектов так называемого ядерного наследия. Поскольку к данной категории можно отнести большинство объектов в зоне отчуждения, такой вариант не может быть проигнорирован и в Украине.

Целью данной статьи является рассмотрение возможности использования захоронения на месте при снятии с эксплуатации энергоблоков Чернобыльской АЭС и объекта «Укрытие» с учетом особенностей зоны отчуждения.

Общие положения. Согласно принятой терминологии МАГАТЭ [3], «Снятие с эксплуатации означает все меры, ведущие к освобождению ядерной установки, иной, чем установка для захоронения, из-под регулирующего контроля. Такие меры включают процессы дезактивации и демонтажа».

Формулировка соответствующего характера была принята и для захоронения на месте [4]: «Захоронение на месте — это стратегия, в соответствии с которой радиоактивное загрязнение заключено в структурно долгоживущем материале до тех пор, пока радиоактивность не распадается до уровня, позволяющего полное или ограниченное освобождение объекта из-под регулирующего контроля».

На практике освобождение от регулирующего контроля (полное или ограниченное) при захоронении на месте не всегда может быть достигнуто.

При захоронении на месте создается постоянный объект, эквивалентный хранилищу для захоронения отходов [5]. Этот объект будет оставаться под регулирующим контролем и/или режимом лицензирования в течение очень длительного периода времени, что особенно актуально для объектов, загрязненных долгосуществующими радионуклидами.

Таким образом, согласно обновленным требованиям безопасности МАГАТЭ, опубликованным в 2014 году [2], «Захоронение на месте (entombment), при котором весь объект или его часть заключены в структурно долгоживущем материале, не считается стратегией снятия с эксплуатации и не является вариантом в случае планового окончательного останова. Оно может быть рассмотрено как решение только в исключительных обстоятельствах (например, после тяжелой аварии)».

Основные варианты захоронения на месте [1]:

- *in situ disposal* (на месте захоронения). Реактор или ядерный объект сохраняется полностью или частично на месте его расположения. После удаления ядерных материалов, демонтажа вспомогательного оборудования и конструкций выполняется захоронение объекта на месте. Конструкционные элементы из реактора не извлекаются. Безопасность достигается за счет комплексного использования существующих и вновь создаваемых дополнительных барьеров (щебень, глиняная смесь и бетон). Эти барьеры исключают несанкционированный доступ к объектам локализации и нерегламентированный выход радиоактивных веществ в окружающую среду. Устанавливается соответствующий режим мониторинга и регулирующего контроля;

- *on-site transfer and disposal* (перемещение и захоронение на площадке). Основные элементы объекта (реактор, парогенератор и т. д.) демонтируются с последующим

захоронением в хранилище, организованном рядом на площадке (на территории установки).

Подход «on-site transfer and disposal» практически не востребован, так как не использует в полной мере преимущества, которые дает захоронение на месте, в частности:

относительно низкие затраты за счет отказа от демонтажа основного оборудования, переработки, транспортировки и захоронения образующихся РАО;

меньший объем работ по созданию дополнительных барьеров, чем при реализации немедленного или отложенного демонтажа;

меньшие сроки реализации работ, чем для других стратегий;

уменьшение коллективной дозы персонала по сравнению с дозами, получаемыми при дезактивации и демонтировании установки;

независимость от наличия и доступности (стоимости) внешних хранилищ для захоронения РАО;

возможность повторного использования площадки, например для захоронения РАО с других площадок.

В то же время захоронение на месте имеет ряд существенных недостатков:

дополнительные затраты на долгосрочный мониторинг, регулирующий контроль и обеспечение безопасности;

создание нескольких мест захоронения (при каждом объекте/установке) вместо одного — централизованного;

зависимость от принятия местным населением факта создания приповерхностного хранилища РАО, коим фактически является захоронение на месте;

воздействие на окружающую среду в долгосрочной перспективе.

Международный опыт. Большинство стран — членов МАГАТЭ исходя в основном из политических соображений, требований безопасности, экологических или технических аспектов, местных условий или финансовых факторов не включили захоронение на месте в национальную политику по СЭ и обращению с РАО. Тем не менее, некоторые страны уже имеют практический опыт использования данного варианта и рассматривают возможность его применения в будущем.

Наиболее масштабные проекты реализуются в Соединенных Штатах Америки и Российской Федерации:

- *площадка Саванна-Ривер (Savannah River Site), США.* Работы по захоронению на месте тяжеловодных промышленных реакторов (R-реактор и P-реактор) завершены в 2011 году [6]. После демонтажа вспомогательного оборудования и сооружений оставшиеся строительные конструкции стабилизированы, а подземные помещения забетонированы, включая конструкции реактора (рис. 1);

- *Национальная инженерно-экологическая лаборатория Айдахо (INEEL), США.* Захоронение на месте объектов комплекса по переработке ядерного топлива СРР-601/640 реализовано в 2010–2011 годах [6]. Все надземные конструкции демонтированы, подземные — заполнены бетоном для предотвращения миграции радионуклидов в грунтовые воды;

- *ФЯО «Горно-химический комбинат», РФ.* Промышленные уран-графитовые реакторы АД, АДЭ-1 и АДЭ-2 вместе со вспомогательным оборудованием и коммуникациями размещены в горных выработках скального массива. Решение о захоронении на месте принято в 2010 году [7] (рис. 2). Подреакторное пространство и металлоконструкции реактора планируется заполнить бетоном, реакторное пространство — бентонитовыми глинами. Таким образом, реактор будет изолирован от окружающей среды системой инженерных и естественных барьеров;

- *АО «Северный химический комбинат», РФ.* Индустриальный уран-графитовый реактор ЭИ-2 в 2015 году снят с эксплуатации по варианту захоронения на месте путем создания пункта консервации особых РАО (рис. 3). Выполнен демонтаж всех вспомогательных систем и оборудования кроме самого реактора. Подреакторные помещения заполнены бетоном, а остальные помещения ниже уровня земли — составом на основе глины. Строительные конструкции выше уровня земли демонтированы, после чего организован барьер от осадков. Аналогичные работы запланированы после 2020 года для оставшихся реакторов предприятия: АДЭ-4, АДЭ-5, АДЭ-3, И-1 [8].

В этих странах захоронение на месте применяется для крупных объектов ядерного наследия (промышленные реакторы, установки по переработке облученного ядерного топлива и т. д.), которые были созданы и эксплуатировались, когда отсутствовали современные стандарты безопасности. Для промышленных реакторов и установок по переработке облученного ядерного топлива, а тем более для объектов, претерпевших значительные аварии, удаление всех долгосуществующих радиоактивных отходов (ДСО) практически не осуществимо без их полного демонтажа. Поэтому данные объекты захоронения подлежат вечному (постоянному) экологическому мониторингу и контролю, с сохранением существующих механизмов обеспечения безопасности на площадке.

Как показывает опыт, снятие с регулирующего контроля в течение 300 лет после захоронения возможно только для небольших объектов, которые находились в эксплуатации непродолжительный период — порядка трех лет. Например, Грузия (1990), Швейцария (1969) и Италия (1989) применили захоронение на месте для небольших исследовательских реакторов, а США в 1969–1970 годах захоронили три демонстрационных реактора [9].

Конечное состояние СЭ — постоянный мониторинг и контроль, что не согласуется с положениями Конвенции [3]. Невозможность освобождения из-под регулирующего контроля таких объектов является главным аргументом против рассмотрения захоронения на месте как одной из стратегий СЭ.

О значимости упомянутых недостатков свидетельствует то, что в некоторых странах (например, Франции, Германии) законодательство и общественное мнение полностью исключают возможность захоронения установок на месте. Такая позиция обосновывается тем, что существует возможность обойтись существующими стратегиями СЭ с целью снятия ограничений на использование территорий. Также существует опасение, что захоронение на месте даже в исключительных случаях может спровоцировать страны — члены МАГАТЭ на использование данной стратегии как обычной практики.

Перспективы и проблемы захоронения на месте при СЭ энергоблоков №№ 1, 2, 3 Чернобыльской АЭС и преобразования объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему. Отметим, что такое определение, как «захоронение на месте», отсутствует в нормативно-правовой базе Украины [10, 11] и не рассматривается как вариант снятия с эксплуатации ядерных установок или объектов по обращению с РАО [12]. Отсутствуют и какие-либо нормативные требования к реализации или безопасности данной деятельности. Однако существуют предпосылки, которые позволяют предположить, что такой подход можно применить при СЭ блоков №№ 1, 2, 3 ЧАЭС и преобразовании объекта «Укрытие» (ОУ) в экологически безопасную систему (ЭБС).

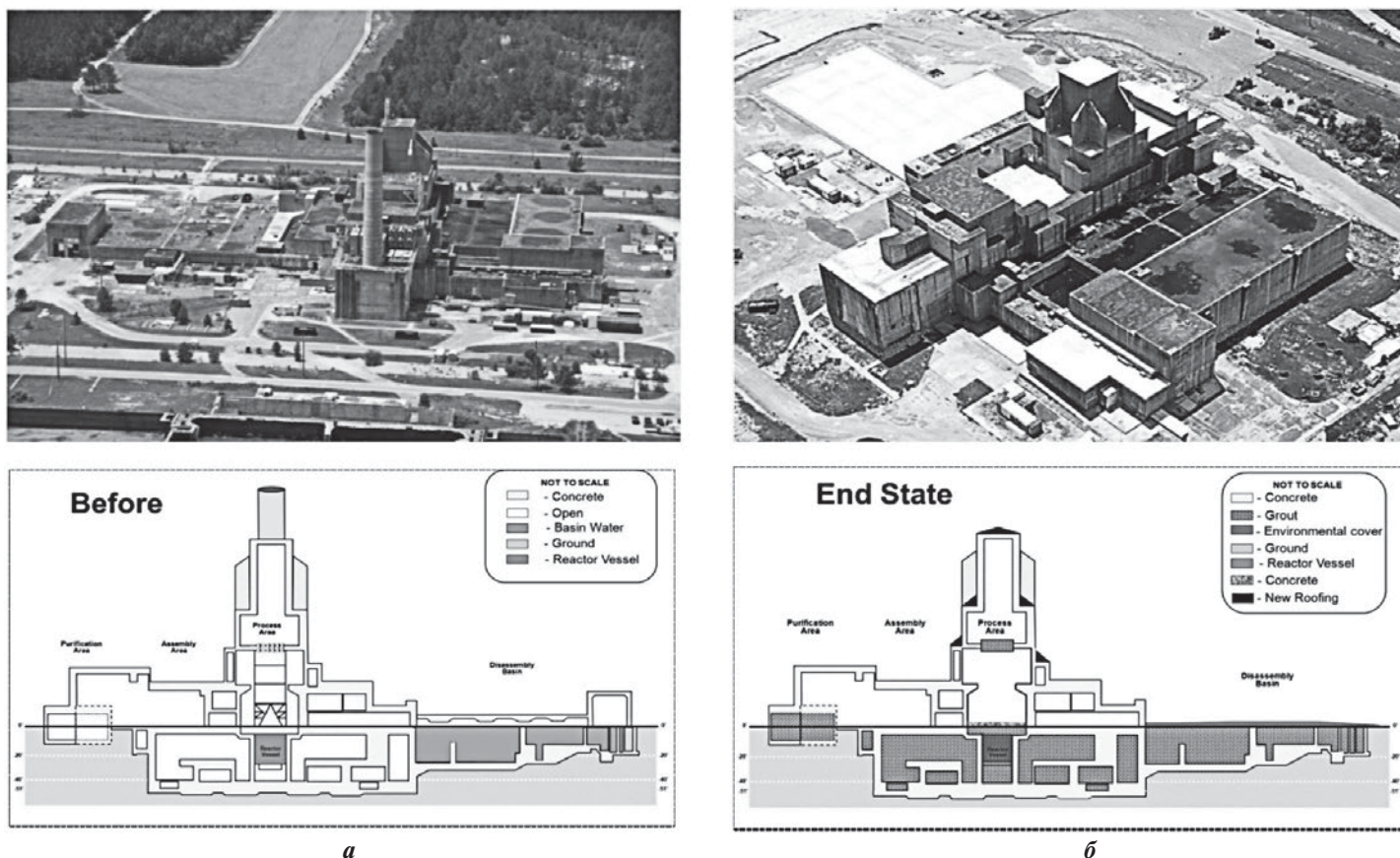


Рис. 1. Общий вид и схема промышленных реакторов на площадке Саванна-Ривер, США, до захоронения на месте (а) и после (б)

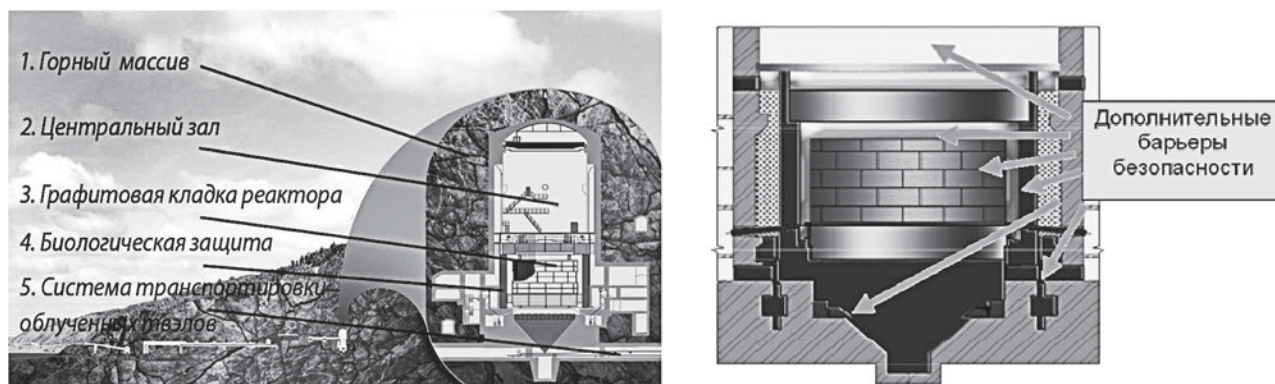


Рис. 2. Создание дополнительных барьеров при захоронении промышленных уран-графитовых реакторов ФЯО «Горно-химический комбинат», РФ

ЧАЭС расположена в зоне отчуждения площадью 2600 км², территория которой загрязнена в результате крупной аварии (по международной шкале ядерных событий) на блоке № 4 в 1986 году. Из-за загрязнения долгосуществующими трансурановыми радионуклидами значительная часть зоны отчуждения никогда не будет пригодна для нормальной жизни человека.

ЧАЭС является примером тех исключительных обстоятельств, при которых рассмотрение варианта захоронения на месте возможно [2]. Для энергоблоков станции принята стратегия отложенного демонтажа с конечным состоянием «бурое пятно» [13]. Все оборудование планируется демонтировать до 2065 года (рис. 4), а строительные конструкции блоков — очистить до уровней ограниченного

освобождения от регулирующего контроля, установленных для конечного состояния площадки ЧАЭС [14]. Установленные уровни близки к характеристикам низкоактивных ДСО, так как во внимание принято реальное загрязнение зоны отчуждения вокруг ЧАЭС

Демонтаж строительных конструкций блоков №№ 1, 2, 3 и реабилитация территории площадки ЧАЭС будут выполняться в рамках отдельной деятельности по снижению последствий аварии и реабилитации зоны отчуждения. На данный момент отсутствует программа таких мероприятий.

В части преобразования объекта «Укрытие» в ЭБС необходимо учитывать, что ОУ является приповерхностным временным хранилищем неорганизованных РАО

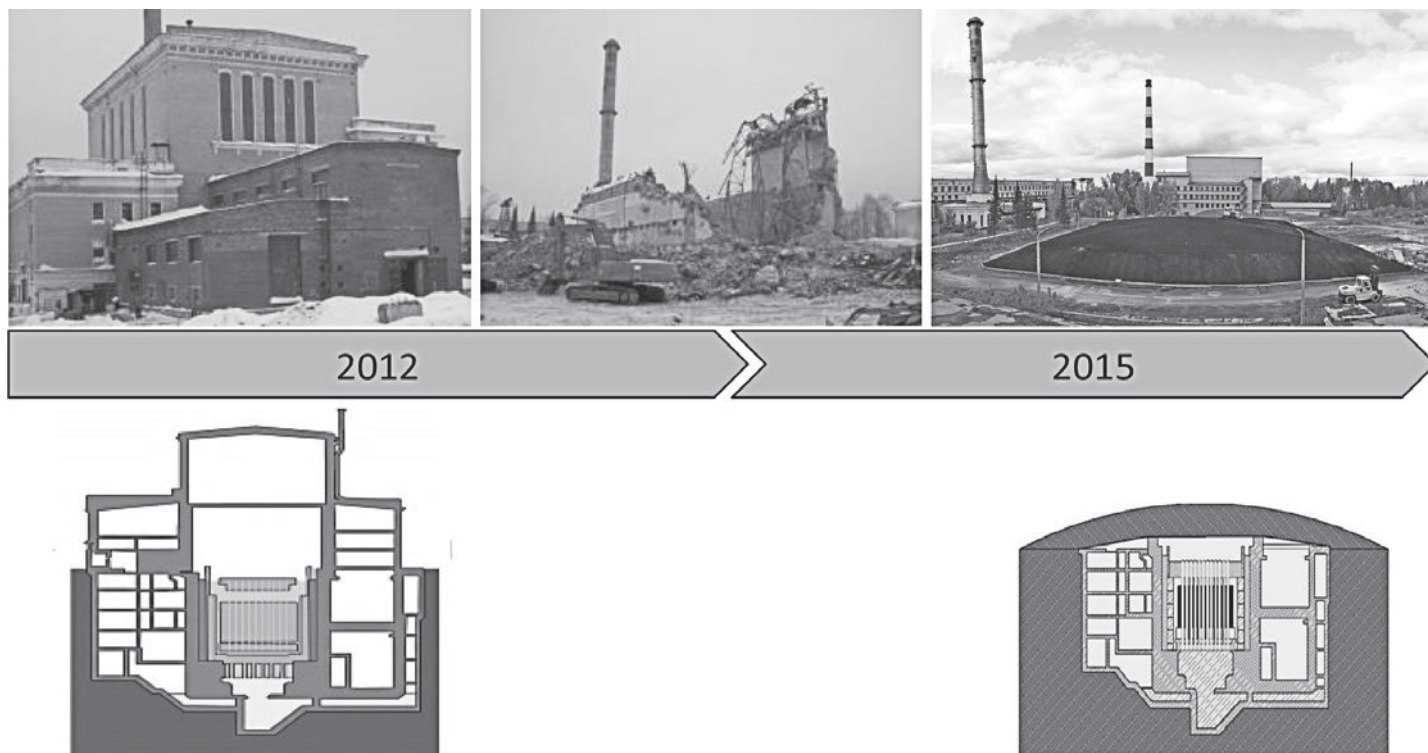


Рис. 3. Создание пункта консервации особых РАО при снятии с эксплуатации промышленного уран-графитового реактора ЭИ-2, АО «Северный химический комбинат», РФ. Ход выполнения работ

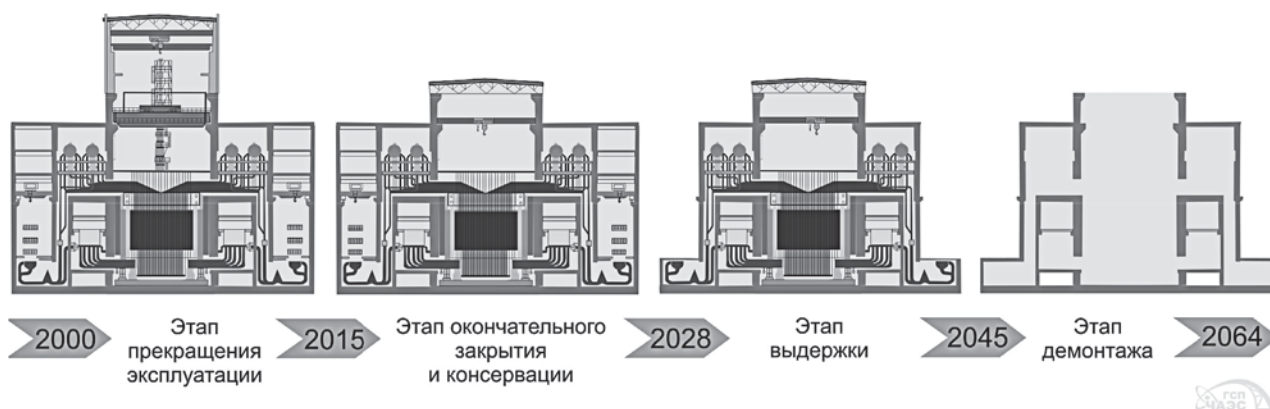


Рис. 4. Снятие с эксплуатации блоков №№ 1, 2, 3 Чернобыльской АЭС

в состоянии стабилизации и реконструкции [15]. После извлечения топливосодержащих масс (ТСМ) и ДСО предполагается снятие с эксплуатации ОУ (рис. 5).

Очевидно, что извлечение всех ДСО из ОУ труднодостижимо, так как почти все элементы и конструкции ОУ загрязнены долговременными радионуклидами. Хранилище РАО, в случае его создания в границах ОУ, не может быть освобождено от регулирующего контроля, что противоречит конечным целям, установленным для СЭ.

Для блоков ЧАЭС и для ОУ вопрос применения захоронения на месте может быть поднят только через 50 и 100 лет соответственно. Необходимо учитывать, что обращение с облученным реакторным графитом и извлечение ТСМ являются отложенными решениями, а вопрос создания национального хранилища для захоронения ДСО в стабильных геологических формациях остается открытым. В случае продления этапа выдержки блоков №№ 1, 2, 3 [16] и срока

эксплуатации нового безопасного конфаймента по причине нерешенности этих вопросов захоронение на месте может быть востребовано только через 100 и 200 лет.

В ближайшей перспективе вариант захоронения на месте может стать актуальным для поставарийных приповерхностных хранилищ РАО «Третья очередь ЧАЭС» («Комплексный») и «Подлесный». Эти объекты могут содержать значительное количество ВАО и ДСО, что потребует дополнительного обоснования захоронения на месте.

Предложения по развитию нормативной базы. В Российской Федерации формально на законодательном уровне захоронение на месте ядерных установок не рассматривается как легальная деятельность по СЭ и обращению с РАО, однако в «Концепции вывода из эксплуатации ядерных установок, радиационных источников и пунктов хранения» Госкорпорации «Росатом» [17] рассматривается такой вариант для ядерных и радиационно опасных объектов (ЯРОО):



Рис. 5. Преобразование объекта «Укрытие» в ЭБС

«Создание объекта окончательной изоляции (захоронения) на месте расположения выводимого из эксплуатации ЯРОО (консервация) — вариант вывода из эксплуатации ЯРОО, предусматривающий локализацию радиоактивно загрязненных компонентов оборудования, строительных конструкций или РАО на месте с созданием необходимых физических барьеров, исключающих несанкционированный доступ в зону локализации и нерегламентированный выход радиоактивных веществ в окружающую среду».

Также введено понятие (определение) особых радиоактивных отходов (ОРАО) [18]: «Особые радиоактивные отходы — РАО, для которых риски, связанные с радиационным воздействием, иные риски, а также затраты, связанные с извлечением таких радиоактивных отходов из пункта хранения радиоактивных отходов, последующим обращением с ними, в том числе захоронением, превышают риски и затраты, связанные с захоронением таких радиоактивных отходов в месте их нахождения».

Отнесение к особым РАО призвано обеспечить возможность реализации не менее безопасного, но существенно менее затратного способа окончательной изоляции ранее накопленных РАО, — консервации пункта хранения РАО, а затем и обоснованного с позиций долгосрочной безопасности перевода в пункт захоронения РАО. На основании оценки нескольких взаимозависимых параметров (дозы, затраты, возможный вред окружающей среде и др.) принимается решение об отнесении РАО к категории особых радиоактивных отходов [19].

При этом на законодательном уровне в РФ запрещены сооружение промышленных объектов и создание промышленных технологий, если это заведомо приводит к образованию особых радиоактивных отходов.

В США для АЭС установлено регуляторное требование о завершении снятия с эксплуатации не позднее 60 лет после останова. Поэтому такой вариант, как захоронение на месте, для АЭС не приемлем [20]. Однако, как упоминалось ранее, захоронение на месте доступно для так называемых объектов ядерного наследия. В 1995 году Агентство США по охране окружающей среды (EPA) и Министерство энергетики (DOE) сделали совместное заявление о политике снятия с эксплуатации оборонных ядерных объектов DOE, которая будет проводиться в соответствии с требованиями CERCLA EPA (Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act). Согласно Федеральному закону США о всеобъемлющем экологическом ущербе, компенсации и ответственности от 1980 года (CERCLA), касающемуся очистки участков, загрязненных опасными веществами (в широком

смысле), на основе анализа рисков, а также исходя из планов дальнейшего использования территории, устанавливается конечное состояние объекта: проживание, промышленное или рекреационное использование. Для выбора конечного состояния требуется проведение сравнительного анализа для каждого объекта по девяти критериям (табл. 1) [7, 20, 21].

Таким образом, кроме технико-экономической составляющей учитывается, что демонтаж объекта с последующим захоронением в другом месте просто приведет к перемещению экологических рисков. Более того, персонал, задействованный в этой деятельности, будет подвержен воздействию ионизирующего излучения.

Важно также отметить, что в США решение о захоронении на месте принимается исходя из того, что данная территория подлежит только промышленному использованию и остается в федеральной собственности. Решение принимается при обязательном участии и с согласия местных заинтересованных сторон [21].

Несмотря на отсутствие в нормативной базе Украины такого понятия, как захоронение на месте, допускается, что на базе части установки, снимаемой с эксплуатации, может быть создан новый объект (новая ядерная установка или объект для обращения с РАО) [11].

Первым шагом на этом пути можно считать признание ядерной установки объектом по обращению с РАО [8]. Например, ядерная установка — энергоблок № 3 Чернобыльской АЭС — уже признана объектом по обращению с РАО, что позволило организовать в машинном зале место временного хранения радиоактивно загрязненного металла. Разрушенный блок № 4, в качестве объекта «Укрытие», тоже был переквалифицирован в приповерхностное временное хранилище неорганизованных РАО в состоянии стабилизации и реконструкции [14].

Таким образом, существует возможность дальнейшего приведения данных объектов в соответствие с требованиями к долгосрочному хранению или захоронению. Однако еще остаются противоречия, которые необходимо устранить при вводе в национальную нормативно-правовую базу понятия «захоронение на месте». Например, законодательством Украины [10] запрещается «проведение работ по захоронению радиоактивных отходов юридическим и физическим лицам, в результате деятельности которых образуются радиоактивные отходы и которые поставляют и используют радиоактивные вещества, ядерные установки». При этом дается четкое определение производителя РАО [10]: «юридические или физические лица, в результате деятельности которых образуются радиоактивные отходы».

Таблица 1. Сопоставление вариантов СЭ согласно критериям оценки CERCLA

| Критерии оценки CERCLA | Не принимать действий | Захоронение на месте | Полное удаление (демонтаж) |
|--|-----------------------|----------------------|----------------------------|
| <i>Пороговые критерии</i> | | | |
| Общая защищенность здоровья людей и окружающей среды | Нет | Да | Да |
| Соответствие другим государственным и федеральным регуляторным требованиям | Нет | Да | Да |
| <i>Критерии первичной балансировки</i> | | | |
| Уменьшение токсичности, мобильности или объема | Плохо | Хорошо | Хорошо |
| Долгосрочная эффективность | Плохо | Средне | Высоко |
| Среднесрочная эффективность | Нет | Высоко | Низко |
| Реализуемость | Не применимо | Легко | Сложно |
| Стоимость | 0 | 52–236 млн \$ | 366 млн \$ |
| <i>Критерии модификации</i> | | | |
| Принятие правительством штата | Нет | Да | Да |
| Принятие обществом | Нет | Да | Да |

Получается, что снятие с эксплуатации — это деятельность, в результате которой образуются радиоактивные отходы, а захоронение на месте — это фактически захоронение РАО. Следовательно, организация, снимающая с эксплуатации объект, на данный момент не имеет права осуществлять захоронение на месте.

Выводы

Необходимо признать, что захоронение на месте приемлемо только при исключительных обстоятельствах, подобных запроектной аварии на энергоблоке № 4 ЧАЭС.

Захоронение на месте может быть востребовано при СЭ ЧАЭС и преобразовании ОУ в экологически безопасную систему, а также при реабилитации зоны отчуждения.

Согласно нормативно-правовой базе Украины такая деятельность, как захоронение на месте, может быть отнесена к обращению с РАО. В этом случае СЭ объекта можно считать выполненным при выполнении требований как к объекту по захоронению РАО с изменением статуса установки. Однако для практического осуществления все еще требуется устранение ряда противоречий.

Отсутствие в нормативно-правовой базе Украины требований к захоронению на месте может привести к конфликтам (проблемам) на завершающих этапах СЭ блоков ЧАЭС и преобразования ОУ в ЭБС.

Список использованной литературы

- International Atomic Energy Agency (1999), "On-Site Disposal as a Decommissioning Strategy", IAEA-TECDOC-1124, available at: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1124_prn.pdf
- International Atomic Energy Agency (2014), "Decommissioning of Facilities", General Safety Requirements, IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 6, available at: <http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1652web-83896570.pdf>
- International Atomic Energy Agency (1997), "Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management", INFCIRC/546, available at: <https://www.iaea.org/sites/default/files/infirc546.pdf>
- International Atomic Energy Agency (2011), "Policies and Strategies for the Decommissioning of Nuclear and Radiological Facilities", IAEA Nuclear Energy Series No. NW-G-2.1, available at: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1525_web.pdf
- International Atomic Energy Agency (2007), "Decommissioning strategies for facilities using radioactive material", IAEA Safety Reports Series No. 50, available at: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1281_web.pdf
- Belencan Helen, "Experience with In-Situ Decommissioning as a Remediation End Point", available at: <http://www-pub.iaea.org/iaea-meetings/IEM4/29Jan/Belencan.pdf>
- Вывод из эксплуатации промышленных уранграфитовых реакторов ФГУП «ГХК» / П. М. Гаврилов, А. А. Устинов, М. В. Антоненко, А. Д. Горобченко, К. Ю. Соколов, Д. В. Жирников // Безопасность ядерных технологий и окружающей среды. — 2011. — № 3. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.atomic-energy.ru/articles/2011/11/03/28244>
- Бесполостное заполнение пустот в реакторном пространстве при выводе из эксплуатации ПУГР / А. М. Измestьев, С. Г. Котляревский, И. Н. Селеев, К. В. Юшин // Безопасность ядерных технологий и окружающей среды. — 2012. — № 2. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.atomic-energy.ru/technology/47198>
- Michele Laraia (2014), "Entombment: A Viable Decommissioning Strategy for Research Reactors?", International Nuclear Safety Journal, Vol. 3, issue 4, pp. 1–10.
- Закон України «Про використання ядерної енергії і радіаційну безпеку» від 08.02.1995 № 39/95-ВР. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/39/95-вр/page>
- Закон України «Про поводження з радіоактивними відходами» від 30.06.1995 № 255/95-ВР. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/255/95-вр>
- Загальні положення забезпечення безпеки при знятті з експлуатації атомних електростанцій та дослідницьких ядерних реакторів : НП 306.2.02/1.004–98. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/z0047-98>
- Програма снятия з експлуатації Чорнобильської АЕС / ГСП ЧАЭС. — Славутич, 2008. — 241 с.
- Рівні обмеженого звільнення для майданчика ЧАЭС та матеріалів від регулюючого контролю (радіаційно-гігієнічні критерії кінцевого стану промислового майданчика ЧАЭС при знятті з експлуатації // ДСП «Чорнобильська АЕС». — К., 2008. — 15 с. — (Фонд НД НТБ ТО, інв. № 06352/7).
- Стратегія перетворення об'єкта «Укриття» : Ухвалено рішенням міжвідомчої комісії з комплексного вирішення проблем Чорнобильської АЕС, протокол № 2 від 12.03.2001 / ДСП «Чорнобильська АЕС». — 18 с. — Інв. № 45 від 04.02.2002.
- Стельмах Д. А. Применение мультифакторного анализа для определения продолжительности этапа длительной выдержки при снятии с эксплуатации Чернобыльской АЭС / Д. А. Стельмах, В. К. Кучинский, А. А. Бачурин // Ядерная та радіаційна безпека. — К., 2008. — Том 11, вип. 3. — С. 12–18.
- Концепция вывода из эксплуатации ядерных установок, радиационных источников и пунктов хранения / ГК «Росатом». — Москва, 2014. — 25 с.
- Федеральный закон РФ «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 29.06.2011 г. № 190-ФЗ. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://standartgost.ru/g/>

pkey-14293807890/%D0%A4%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D1%80%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B7%D0%B0%D0%BA%D0%BE%D0%BD_190-%D0%A4%D0%97

19. Постановление Правительства РФ «О критериях отнесения твердых, жидких и газообразных отходов к радиоактивным отходам, критериях отнесения радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам и к удаляемым радиоактивным отходам и критериях классификации удаляемых радиоактивных отходов» от 19.10.2012 г. № 1069. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.norao.ru/Files/ППФ%20от%2019.10.2012%20No.1069.pdf>

20. US Nuclear Regulatory Commission (1996), “Generic Environmental Impact Statement for License Renewal of Nuclear Plants”, NUREG-1437, Vol. 1, part 7, available at: http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/nuregs/staff/sr1437/v1/part07.html#_1_187

21. DOE EM Project Experience & Lessons Learned for In Situ Decommissioning Prepared By U.S. Department of Energy Office of Environmental Management Office of D&D and FE, EM-13, available at: <http://energy.gov/sites/prod/files/DOE%20EM%20Project%20Experience%20%26%20Lessons%20Learned%20for%20In%20Situ%20Decommissioning%20-%20Feb.%202013.pdf>

References

1. International Atomic Energy Agency (1999), “On-Site Disposal as a Decommissioning Strategy”, IAEA-TECDOC-1124, available at: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1124_prn.pdf

2. International Atomic Energy Agency (2014), “Decommissioning of Facilities”, General Safety Requirements, IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 6, available at: <http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1652web-83896570.pdf>

3. International Atomic Energy Agency (1997), “Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management”, INFCIRC/546, available at: <https://www.iaea.org/sites/default/files/infirc546.pdf>

4. International Atomic Energy Agency (2011), “Policies and Strategies for the Decommissioning of Nuclear and Radiological Facilities”, IAEA Nuclear Energy Series No. NW-G-2.1, available at: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1525_web.pdf

5. International Atomic Energy Agency (2007), “Decommissioning Strategies for Facilities using Radioactive Material”, IAEA Safety Reports Series No. 50, available at: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1281_web.pdf

6. *Belencan Helen*, “Experience with In-Situ Decommissioning as a Remediation End Point”, available at: <http://www-pub.iaea.org/iaeametings/IEM4/29Jan/Belencan.pdf>

7. *Havrilov, P.M., Ustinov, A.A., Antonenko, M.V., Gorobchenko, A.D., Sokolov, K.Yu., Zhyrnikov, D.V.* (2011), “Decommissioning of Commercial Uranium Graphite Reactors of the Mining and Chemical Combine” [Vyvod iz ekspluatatsii promyshlennykh uranografityvnykh reaktorov FGUP GKKhK], Safety of Nuclear Technologies and Environment, No. 3, available at: <http://www.atomic-energy.ru/articles/2011/11/03/28244> (Rus)

8. *Izmestiev, A.M., Kotliarevskiy, S.G., Selieiev, I.N., Yushitsin, K.V.* (2012), “Void-Free Filling of Reactor Space Cavities during Uranium-Graphite Reactors Decommissioning” [Besplostnoie zapolneniie pustot v reaktornom prostranstve pri vyvode iz ekspluatatsii PUGR], Safety of Nuclear Technologies and Environment, No. 2, available at: <http://www.atomic-energy.ru/technology/47198> (Rus)

9. *Michele Laria* (2014), “Entombment: A Viable Decommissioning Strategy for Research Reactors?”, International Nuclear Safety Journal, Vol. 3, Issue 4, pp. 1–10.

10. The Law of Ukraine “On Nuclear Energy Use and Radiation Safety” No. 39/95-VR dated 08 February 1995 [Zakon Ukrainy “Pro vykorystannia yadernoi enerhii i radiatsiinu bezpeky” vid 08.02.1995 No. 39/95-VR], available at: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/39/95-vp/page> (Ukr)

11. The Law of Ukraine “On Radioactive Waste Management” No. 255/95-VR dated 30 June 1995 [Zakon Ukrainy “Pro povodzhennia z radioaktyvnymy vidkhodamy” vid 30.06.1995 No. 255/95-VR], available at: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/255/95-vp> (Ukr)

12. General Safety Provisions for Decommissioning of Nuclear Power Plants and Research Reactors: NP 306.2.02/1.004–98 [Zahalni polozhennia zabezpechennia bezpeky pry zniatti z ekspluatatsii atomnykh elektrostantsii ta doslidnytskykh yadernykh reaktoriv: NP 306.2.02/1.004–98], available at: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/z0047-98> (Ukr)

13. Program for Chernobyl NPP Decommissioning / SSE ChNPP [Prohramma sniatia s ekspluatatsii Chernobylskoi AES / GSP ChAES], Slavutych, 2008, 241 p. (Ukr)

14. Levels of Limited Clearance for ChNPP Site and Material from Regulatory Control (Radiation and Safety Criteria for End State of ChNPP Industrial Site in Decommissioning) [Rivni obmezhenoho zvlennia dlia maidanchyka ChAES ta meterialiv vid rehuliuuichoho kontroliu (radiatsiino-hihienichni kryterii kintsevoho stanu promyslovoho maidanchyka ChAES pry zniatti z ekspluatatsii), ChNPP, Kyiv, 2008, 15 p. (Fund ND NTB TO, Inv. No. 06352/7). (Ukr)

15. Strategy of Shelter Transformation: Approved by the Decision of the Interdepartmental Commission on Comprehensive Solution of ChNPP Problems, Minutes No. 2 dated 12 March 2001 [Stratehiia peretvorennia obiekta “Ukryttia”: Ukhvaleno rishenniam mizhvidomchoi komisii z kompleksnoho vyrishennia problem Chernobylskoi AES, protokol No. 2 vide 12.03.2001], ChNPP, 18 p., Inv. No. 45 dated 04 February 2002. (Ukr)

16. *Stelmakh, D.A., Kuchinsky, V.K., Bachurin, A.A.* (2008), “Use of Multifactor Analysis for Determination of Safe Enclosure Duration for Decommissioning of Chernobyl NPP” [Primeneniie multifaktornogo analiza opredeleniia prodolzhitelnosti etapa dlitelnoi vyderzhki pri sniatii s ekspluatatsii Chernobylskoi AES], Nuclear and Radiation Safety, Kyiv, No. 11, pp. 12–18. (Rus)

17. Decommissioning Concept for Nuclear Facilities, Radiation Sources and Storage Facilities [Kontsepsiia vyvoda iz ekspluatatsii yadernykh ustanovok, radiatsionnykh istochnikov i punktov khraneniia], GK “Rosatom”, Moscow, 2014, 25 p. (Rus)

18. The Federal Law of the Russian Federation “On Radioactive Waste Management and Amendment of Separate Legal Acts of the Russian Federation” No. 190-FZ dated 29 June 2011 [Federalnyi zakon RF “Ob obrashchenii s radioaktivnymi otkhodami i o vnesenii izmenenii v otdelniie zakonodatelnyie akty Rossiiskoi Federatsii” ot 29.06.2011 No. 190-FZ], available at: http://standartgost.ru/g/pkey-14293807890/%D0%A4%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D1%80%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B7%D0%B0%D0%BA%D0%BE%D0%BD_190-%D0%A4%D0%97 (Rus)

19. Ordinance of the Government of the Russian Federation “On Criteria of Referring Solid, Liquid and Gaseous Waste to Radioactive Waste, Criteria of Referring Radioactive Waste to Specific Radioactive Waste and to Removable Radioactive Waste and Criteria of Removable Radioactive Waste Classification” No. 1069 dated 19 October 2012 [Postanovleniie Pravitelstva RF “O kriteriakh otneseniia tvordykh, zhidkikh i gazoobraznykh otkhodov k radioaktivnym otkhodam, kriteriakh otneseniia radioaktivnykh otkhodov k osobym radioaktivnym otkhodam i k udaliaemym radioaktivnym otkhodam i kriteriakh klassifikatsii udaliaemykh radioaktivnykh otkhodov” ot 19.10.2012 No. 1069], available at: <http://www.norao.ru/Files/ППФ%20от%2019.10.2012%20No.1069.pdf> (Rus)

20. U.S. Nuclear Regulatory Commission (1996), “Generic Environmental Impact Statement for License Renewal of Nuclear Plants”, NUREG-1437, Vol. 1, part 7, available at: http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/nuregs/staff/sr1437/v1/part07.html#_1_187

21. DOE EM Project Experience & Lessons Learned for In Situ Decommissioning Prepared By U.S. Department of Energy Office of Environmental Management Office of D&D and FE, EM-13, available at: <http://energy.gov/sites/prod/files/DOE%20EM%20Project%20Experience%20%26%20Lessons%20Learned%20for%20In%20Situ%20Decommissioning%20-%20Feb.%202013.pdf>

Получено 16.09.2015.