

ОБРАЩЕНИЕ С ВЫСОКОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ НА ЧАЭС

В. Г. Батий, О. А. Кафтанатина, А. А. Правдивый, В. М. Рудько, А. И. Стоянов

Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Чернобыль

Проведен анализ технологической схемы обращения с высокоактивными отходами ЧАЭС на всех этапах обращения с ними и приведены рекомендации по усовершенствованию существующей схемы.

Введение

Настоящая работа выполнялась в рамках проекта ТАСИС-U4.03/04 «Разработка национальной стратегии и концепции для обращения с радиоактивными отходами в Украине, включая стратегию по обращению с радиоактивными отходами НАЭК «Энергоатом».

Основной объем высокоактивных отходов (ВАО) Украины в настоящее время находится на площадке ЧАЭС. Главным образом, это ВАО, образованные во время аварии на 4-м энергоблоке в 1986 г. Большая их часть сосредоточена внутри объекта «Укрытие», а часть локализована в техногенном слое вокруг него.

В хранилище твердых отходов (ХТО) ЧАЭС находятся ВАО, образованные в процессе эксплуатации ЧАЭС, а также ВАО, образованные при ликвидации последствий аварии.

Потенциальными ВАО является часть конструкционных элементов реакторных установок 1 – 3-го энергоблоков, которые будут демонтироваться в процессе их снятия с эксплуатации.

Исходя из различного происхождения, характеристик и технологий обращения, ВАО разделены на три характерные группы:

эксплуатационные ВАО, которые накоплены в существующем хранилище (ХТО);

ВАО, которые будут образовываться при снятии с эксплуатации 1 – 3-го энергоблоков ЧАЭС;

ВАО, образующиеся в процессе преобразования объекта "Укрытие" (топливосодержащие материалы (ТСМ) и сильно загрязненные материалы).

Третья группа разделена на три подгруппы в соответствии с объемами ВАО и степенью проработки технологических решений:

ВАО при проведении работ по стабилизации объекта "Укрытие" и возведению нового безопасного конфайнмента (НБК);

ВАО при демонтаже нестабильных конструкций объекта "Укрытие";

ВАО на этапе извлечения ТСМ из объекта "Укрытие".

В настоящее время практически завершены работы по стабилизации строительных конструкций объекта "Укрытие" и начаты подготовительные работы по строительству НБК. Обращение с ВАО при выполнении данных работ осуществляется и, в значительной степени, будет осуществляться с использованием существующей инфраструктуры обращения с радиоактивными отходами на ЧАЭС.

Работы по демонтажу нестабильных конструкций объекта "Укрытие" смогут начаться только после создания НБК. К этому времени должны быть введены в эксплуатацию новые объекты по обращению с ВАО.

Основной объем ВАО будет образован на этапе извлечения ТСМ. В настоящее время принято принципиальное решение о необходимости завершения извлечения ТСМ до окончания срока эксплуатации НБК, который определен в 100 лет.

Существующие технологии обращения с ВАО

Организация обращения с ВАО на ЧАЭС связана с выполнением следующих производственных операций: сбор, радиационный контроль в местах образования, первичная сортировка и отправка на временное хранение.

Плановые работы, в результате которых могут образовываться твердые ВАО, производились на ЧАЭС до 2003 г. В настоящее время они запрещены до ввода в эксплуатацию промышленного комплекса по переработке твердых радиоактивных отходов (ПКОТРО). Исключение составляют ВАО, обнаруженные в ходе выполнения работ по преобразованию объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему (ЭБС).

Удаление ВАО с места обнаружения производится согласно типовой программе проведения работ по перемещению твердых ВАО объекта "Укрытие" к месту временного хранения с использованием имеющегося на настоящий момент времени оборудования, предназначенного для обращения с ВАО:

ручной дистанционный захват;

самоходный дистанционно управляемый комплекс (СДУК);

весовой терминал;

установка закрытия крышки (УЗК);

грузозахватные приспособления для извлечения контейнера КТ-0,2 из КТЗВ-0,2 и для работы с КТЗВ-0,2;

В случае обнаружения незначительного количества ВАО при производстве работ по преобразованию объекта "Укрытие" в ЭБС, их удаление с места обнаружения может производиться при помощи ручного дистанционного захвата, который применяется для сбора высокоактивных отходов, захвата, надежной фиксации и ручного перемещения фрагментов твердых ВАО массой до 10 кг и размещения их в первичную упаковку специального контейнера.

Но в большинстве случаев использование СДУК (рис. 1) является наиболее приемлемым для удаления ВАО с места обнаружения.

СДУК используется для фрагментации, сбора, погрузки ВАО и размещения их в первичную упаковку специального контейнера. СДУК предусматривает возможность работы со сменными видами рабочего оборудования (рис. 2): ковшом, грейфером, гидромолотом, гидрорезаками, дисковой пилой.

СДУК доставляется в зону обнаружения ВАО (рис. 3)

Управление ведется дистанционно, поскольку СДУК оснащен системой технического зрения.

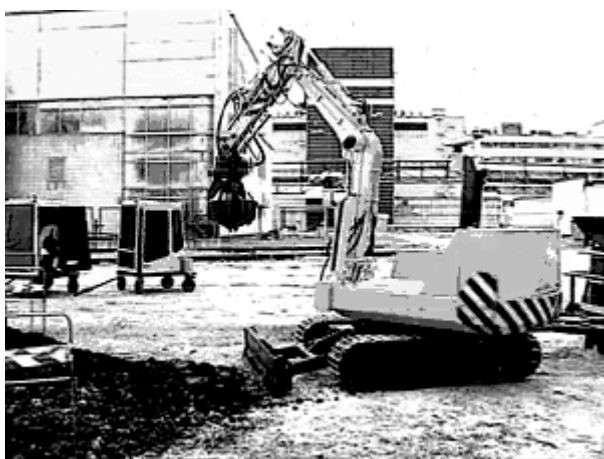


Рис. 1. Извлечение обнаруженных сыпучих ВАО (на заднем плане видны кабинки операторов) и загрузка их в первичные упаковки КТ-02.

Загрузка первичной упаковки КТ-0,2 (см. рис. 1) ВАО производится до достижения МЭД 150 мЗв/ч на расстоянии 10 см от ее наружной поверхности.

После загрузки СДУК транспортирует упаковки ВАО к мобильной УЗК, которая представляет собой комплект автоматизированного оборудования для дистанционного автоматического "закрытия" крышки первичного контейнера (КТ-0,2), загруженного ВАО (рис. 4).

Технологический процесс "закрытия" крышкой первичного контейнера осуществляется автоматически, при необходимости в ручном режиме. Открытие крышки осуществляется только в ручном режиме. После процесса закрывания первичной упаковки она грузится в защитный контейнер КТЗВ-0,2. Грузозахватный механизм оснащен устройством для измерения массы первичной упаковки.

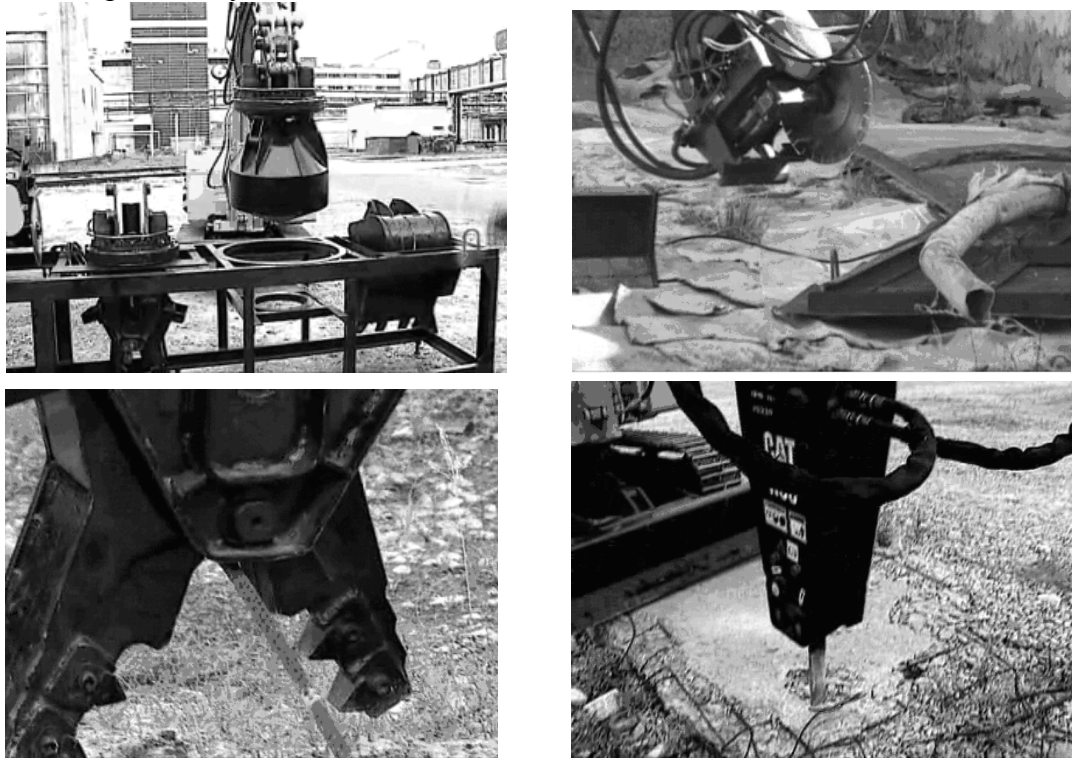


Рис. 2. Сменное оборудование СДУК.



Рис. 3. Доставка СДУК в зону обнаружения ВАО.

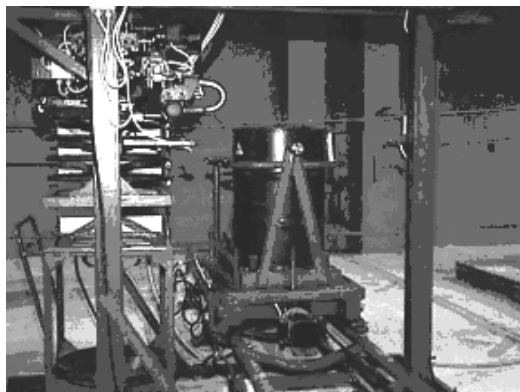


Рис. 4. Мобильная УЗК для первичных упаковок с ВАО.

С помощью весового терминала производится определение массы ВАО перед загрузкой первичной упаковки с ВАО (КТ-0,2) в спецконтейнер (КТЗВ-0,2). После этого измеряют мощность дозы на расстоянии 10 см от поверхности упаковки и КТЗВ-02 закрывают крышкой. Далее КТЗВ-0,2 грузится на специальную платформу и транспортируется на площадку паспортизации для определения активности и радионуклидного состава ВАО.

Для транспортировки контейнера КТЗВ-0,2 в ВХТВАО применяется специальное транспортное средство (платформа), которую прицепляют к спецавтотранспорту (рис. 5).

С целью обеспечения радиационной безопасности при производстве земляных и других работ, при которых могут быть обнаружены ВАО, производится непрерывный радиационный контроль. В случае обнаружения ВАО вокруг опасной зоны устанавливаются зоны радиационной опасности и сигнальное ограждение.



Рис. 5. Ввоз платформы с КТЗВ-0,2 в ВХТВАО и размещение упаковки в месте временного хранения.

Проведенный анализ результатов комплексных инженерно-радиационных обследований (КИРО) трех энергоблоков ЧАЭС [2] показал, что при снятии их с эксплуатации ВАО может образоваться лишь при демонтаже реакторной установки.

Расчетным путем установлено, что суммарная активность конструкций реактора на момент прекращения эксплуатации составляет порядка $8,5 \cdot 10^{17}$ Бк [2]. При этом определяющий вклад (более 90 %) в суммарную величину активности вносят графит и технологические каналы, располагаемые внутри графитовой кладки. ВАО также являются защитные плиты, опорные блоки, кожух реактора и другие металлоконструкции реактора. Однако после 50 лет выдержки реакторных установок только технологические каналы будут относиться к ВАО в количестве до 350 т для трех энергоблоков ЧАЭС.

Кроме того, на этапах прекращения эксплуатации и снятия с эксплуатации ожидается образование некоторого количества ВАО во время выполнения следующих работ:

извлечение облученных специзделий, находящиеся в бассейнах выдержки и шахтах центральных залов энергоблоков 1, 2, 3;

снятие с эксплуатации хранилища отработавшего ядерного топлива (ХОЯТ-1);

при обращении с отработавшими тепловыделяющими сборками (ОТВС) и отработанными дополнительными поглотителями (ОДП) на ХОЯТ-2 (выполнение операций по подготовке ОТВС и ОДП к долговременному хранению на установке по подготовке отработавшего топлива к хранению (УПОТХ)).

Основной объем ВАО, ожидаемых при снятии ЧАЭС с эксплуатации, составляют высокоактивные длинномерные изделия. Для измельчения высокоактивных длинномерных изделий энергоблоки ЧАЭС оборудованы специальными линиями измельчения длинномеров (ЛИД).

ЛИД предназначены для измельчения следующих типов изделий: стержней СУЗ; дополнительных поглотителей; прочих длинномерных специзделий (СИ), удовлетворяющих техническим характеристикам линии.

Во время эксплуатации энергоблоков ЧАЭС ЛИД использовались для измельчения длинномерных изделий реактора с последующей передачей их на хранение в ХТО.

При снятии ЧАЭС с эксплуатации использование ЛИД возможно только после проведения ее модернизации.

Временное хранение ВАО

В существующих на ЧАЭС хранилищах ВАО – хранилище твердых отходов (ХТО) и временном хранилище твердых ВАО (ВХТВАО) по состоянию на 1 января 2008 г. сберегалось 508 м³ ВАО. Основная их часть (507 м³) находится в ХТО.

Заполнение ХТО началось в 1978 г. и продолжалось в процессе эксплуатации энергоблоков, но наиболее интенсивно оно использовалось в период ликвидации аварии на 4-м энергоблоке.

Отсеки для низко- и среднеактивных отходов выведены из эксплуатации после их заполнения эксплуатационными отходами и отходами, образованными в процессе ликвидации последствий аварии на 4-м энергоблоке в 1986 г., и законсервированы.

Тяжелые отсеки для высокоактивных ТРО находились в работе до 2003 г. Хранение радиоактивных отходов осуществлялось навалом. Состав отходов: источники, фильтры, теплоизоляция, асфальто-битумная крошка с кровли ХТО и машинного зала I очереди, пластикат, графит, элементы из активной зоны.

В процессе заполнения ХТО анализ радионуклидного состава отходов не производился в связи с отсутствием соответствующей инструментальной, методической и метрологической базы. Поскольку основное заполнение ХТО произошло в период ликвидации последствий аварии на 4-м энергоблоке, радионуклидный состав отходов можно приравнять к усредненному радионуклидному составу выбросов в период аварии.

Таким образом, ТРО по радионуклидному составу представлены смесью радионуклидов цезия, стронция, кобальта и трансураниевых элементов (изотопов плутония, америция).

ХТО с мая 2003 г. закрыто для приема отходов в связи с началом строительства ПКОТРО. В рамках создания этого комплекса запланирована реконструкция существующего хранилища жидких и твердых радиоактивных отходов (ХЖТО), которое было построено и не введено в эксплуатацию. В настоящее время примерно на 90 % выполнены работы по модернизации ХЖТО, что позволит использовать его в качестве временного хранилища НСА-ДСО и ВАО.

Для временного хранения ВАО, которые могут быть обнаружены в процессе выполнения работ по стабилизации существующего объекта «Урытие» и строительства НБК (до ввода в эксплуатацию ПКОТРО), создано временное хранилище твердых ВАО (ВХТВАО) в помещении 12/2 здания склада свежего топлива, расположенного на промплощадке ЧАЭС. Объем ВАО, которые могут быть помещены на хранение во ВХТВАО, составляет 36 м³.

Большую часть помещения 12/2 занимает площадка для грузов размером 60 × 12 м (для хранения контейнеров с ВАО). Подъездные пути обеспечивают подачу к площадке грузов как автомобильным, так и железнодорожным транспортом.

Хранение ВАО осуществляется только в специальных транспортно-защитных контейнерах (КТЗВ-0,2), выполняющих функцию основного защитного барьера по радиационной безопасности. Режим хранения ВАО – в закрытых и опломбированных контейнерах.

Перемещения спецконтейнеров с платформы автомобиля на площадку для грузов осуществляется с помощью специального грузозахватного приспособления (рис. 6) с использованием подвешенного электрического крана грузоподъемностью 5 т.

Перед помещением в ВХТВАО производится определение радионуклидного состава отходов, помещаемых на хранение. По состоянию на 1 января 2008 г. в ВХТВАО сберегалось 0,81 м³ твердых ВАО.

На этапе прекращения эксплуатации ЧАЭС будет осуществляться переработка всех ТРО на ПКОТРО до такого их состояния, в каком они могут долговременно храниться (ВАО и НСА-ДСО) или захораниваться (НСА-КСО).

До ввода в эксплуатацию ПКОТРО предварительная обработка эксплуатационных ТРО ЧАЭС (сбор и сортировка отходов) осуществляется по схеме, действующей в настоящее время и определенной «Положением по обращению с твердыми радиоактивными отходами на ЧАЭС», 29П-С [1]. НСА ТРО поступают на захоронение в ПЗРО «Буряковка». Транспортные контейнеры с ВАО поступают в ВХТВАО где они будут храниться до создания промежуточного хранилища ВАО и НСАО-ДСО (в рамках проекта создания ПКОТРО).

С вводом в эксплуатацию ПКОТРО твердые радиоактивные отходы, содержащиеся в ХТО, необходимо будет извлечь и после сортировки поместить на хранение во временное хранилище НСА-ДСО и ВАО в здании ХЖТО.



Рис. 6. Грузозахватное приспособление для перемещения спецконтейнеров.

ВАО, находящиеся в ВХТВАО также должны быть направлены в ХЖТО после переупаковки.

Временное хранилище ВАО и НСА-ДСО в здании ХЖТО создается в рамках проекта ПКОТРО на промплощадке ЧАЭС. Проектный срок эксплуатации хранилища 30 лет.

В [4] предусмотрены все необходимые мероприятия для обеспечения безопасности и минимизации воздействия на персонал. ВАО будет храниться в упаковках КТ-0,2, а для уменьшения мощности дозы за пределами отсека хранения штабелирование упаковок оптимизировано – во внутренней зоне штабеля будут храниться упаковки с ВАО, во внешней зоне – упаковки с НСА-ДСО, которые будут служить дополнительным экраном.

Здание ХЖТО размещено в западной части промплощадки ЧАЭС в непосредственной близости от объекта «Укрытие» (рис. 7). С северной стороны от ХЖТО находится здание ХОЯТ.



Рис. 7. Вид на здание ХЖТО со стороны объекта «Укрытие».

Для подъезда к зданию ХЖТО используются существующие автодороги на площадке ЧАЭС.

На хранение во временное хранилище принимают ВАО в специальной упаковке, которая представляет собой 200-литровую бочку, внутри которой находится 165-литровая бочка. Такая упаковка допускает безопасное хранение в ней радиоактивных отходов в течение проектного срока хранения.

Исходя из защитных свойств здания ХЖТО, в отсеках хранилища можно разместить ВАО и НСА-ДСО с максимальной суммарной активностью $2,78 \cdot 10^{16}$ Бк, из них ВАО – $2,75 \cdot 10^{16}$ Бк. При этом максимальная активность в одной упаковке с твердыми отходами ВАО не должна превышать $4,3 \cdot 10^{12}$ Бк.

Значения мощности дозы гамма-излучения за наружными стенами ХЖТО при этом не превысят 10 мкЗв/ч, а над плитами перекрытия загруженных отсеков не более 100 мкЗв/ч на расстоянии 10 см.

Для дистанционного размещения 200-литровых бочек в отсеках временного хранилища используют следующее оборудование:

дистанционно управляемое устройство (ДУУ) BHS-AF1005 с захватом бочки BHS-AE1004 (рис. 8);

кран BHS-AE1010;

захват плиты BHS-AE1011;

штативы системы видеонаблюдения и освещения BHS-AQ1015 A/B;

переносные ограждения для ДУУ: BHS-AQ 1016 и BHS-AQ 1020;

камеры видеонаблюдения от BHS-FF1004 до BHS-FF1011.

Выбор отсека хранения осуществляют в соответствии с классом принимаемых отходов. Правильность определения класса отходов гарантируется путем считывания штрихового кода на участке приема и компьютерной системой в помещении управления.

Плиты перекрытия, которые требуется снять для загрузки отсека хранения, определяют в зависимости от позиции хранения 200-литровой бочки внутри отсека.

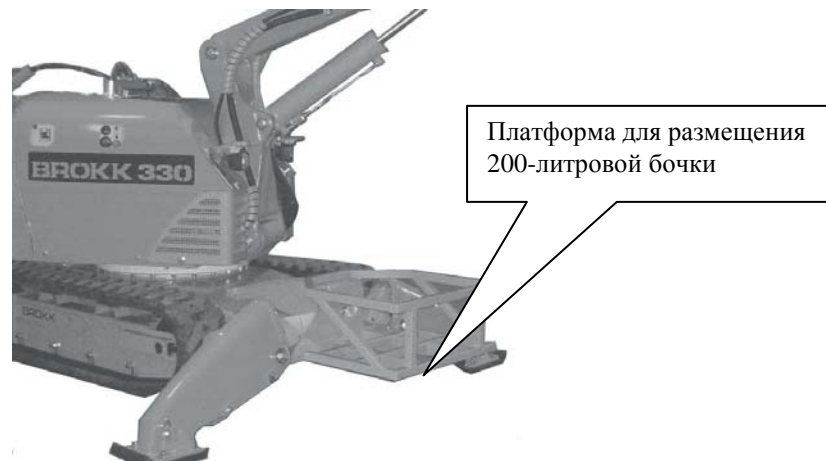


Рис. 8. Дистанционно управляемое устройство (робот ROV) BHS-AF1005.

Ниже приведена последовательность размещения 200-литровой бочки внутри отсека с помощью ДУУ и системы видеонаблюдения:

ДУУ BHS-AF1005 с захватом бочки BHS-AE1004 размещают возле открытого контейнера (КТЗВ-0,2);

с помощью захвата извлекают 200-литровую бочку и помещают ее на платформу для бочек на движущейся части ДУУ.;

подводят ДУУ к открытому проему и опускают бочку в отсек хранения. (правильность установки бочки проверяют, используя камеры видеонаблюдения);

отсоединяют 200-литровую бочку и поднимают захват бочки из отсека;

подводят ДУУ к участку приема, чтобы выполнить выше описанную последовательность действий для следующей бочки.

После окончания загрузки бочек в отсек плиты перекрытия дистанционно устанавливаются на прежнее место.

В ХЖТО ВАО должны находиться до тех пор, пока не будет разработана национальная концепция обращения с НСА-ДСО и ВАО и не будут сооружены соответствующие установки по их переработке либо построено хранилище в стабильных геологических формациях, куда они могут быть помещены на окончательное захоронение.

Выводы

В настоящее время могут быть изложены только общие подходы по схемам обращения с ВАО. Детальная проработка деятельности по обращению с ВАО должна быть выполнена на этапе рабочего проектирования проектов снятия ЧАЭС с эксплуатации, строительства НБК, а также других объектов для обращения с радиоактивными отходами (РАО) на площадке ЧАЭС.

Следует отметить, что заметный объем РАО объекта «Укрытие» может быть образован при выполнении работ по демонтажу нестабильных конструкций. Однако они могут начаться только после завершения строительства НБК, т.е. не ранее 2012 г.

Объем ВАО, которые могут образоваться при демонтаже нестабильных конструкций, в настоящее время не известен. Могут быть определенные проблемы с их идентификацией в условиях сильного гамма-фона от загрязненных конструкций и оборудования, а также с извлечением небольших высокоактивных фрагментов из завалов и строительного мусора. Работы предполагается проводить при помощи дистанционно управляемых механизмов, но технология еще не отработана.

В процессе осуществления деятельности по демонтажу нестабильных конструкций и разборки завалов будут образовываться следующие виды ТРО:

радиоактивно загрязненные металлоконструкции (РЗМК);

смешанные отходы (строительный мусор, фрагменты колонн, плит и др.).

Исходя из перечня демонтируемых конструкций, общее количество образующихся РАО составит: РЗМК – порядка 2200 т; смешанных отходов – свыше 8500 т.

Однако на сегодняшний день, отсутствует информация о том, какое количество из этих отходов может быть отнесено к ВАО. Планируется до начала разработки проекта демонтажа нестабильных конструкций объекта «Укрытие» выполнить соответствующие исследования, в том числе по оценке потенциальных объемов ВАО.

Предполагается, что внутри НБК будет производиться только первичная обработка РАО в объеме, необходимом для их последующего транспортирования за пределы НБК и передачи на объекты интегрированной системы обращения ЧАЭС.

В существующих в настоящее время концептуальных проработках рассматривается следующая схема обращения с ВАО:

для выявления высокоактивных фрагментов в зонах демонтажа металлоконструкций и разборки завалов будет осуществляться постоянный радиационный контроль (с помощью гамма-камеры или гамма-визора);

в случае обнаружения ВАО будет производиться их извлечение и загрузка в первичный контейнер с использованием специального манипулятора и последующее транспортирование на участок первичной обработки, располагаемый внутри НБК;

на участке первичной обработки первичный контейнер с ВАО будет загружаться в защитный транспортный контейнер, после чего ВАО будет передаваться на временное хранение за пределы НБК;

кроме того, на участке первичной обработки будет выполняться дополнительный технологический радиационный контроль с целью выявления высокоактивных фрагментов, не обнаруженных в зоне демонтажа, их извлечение и помещение в контейнер для ВАО.

Наибольшие проблемы будут при обращении с ВАО на этапе извлечения ТСМ из объекта «Укрытие». Это связано с их большими объемами, разнообразными свойствами, затрудненным доступом (ко многим скоплениям ТСМ доступа нет и их характеристики и объемы не определены), с отсутствием отработанных технологий, которые непосредственно можно было бы применять для извлечения. Даже принципиально не решены вопросы обращения с графитом, сильно загрязненным трансурановыми элементами, а также с лавообразными ТСМ. На ЧАЭС отсутствуют установки для определения содержания ядерно-опасных материалов в упаковках. Запланированные первоначально в рамках международного проекта ПОМ работы по отработке технологий не выполнены. В настоящее время такие работы не финансируются. Учитывая, что создание технологий и соответствующей инфраструктуры для обращения с ТСМ, включая создание геологического хранилища, может занять много лет, а также большую продолжительность (не один десяток лет) самой деятельности по извлечению ТСМ, существует риск того, что к моменту завершения жизненного цикла НБК ТСМ не будут извлечены. Поэтому требуется серьезная поддержка западных стран в решении данной проблемы.

Авторы статьи выражают благодарность персоналу цеха по переработке твердых радиоактивных отходов (ЦПТРО) ЧАЭС за предоставленные документы, фото- и видеоматериалы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Положение* по обращению с твердыми радиоактивными отходами на ЧАЭС. 29П-С.
2. *Комплексное инженерно-радиационное обследование* (КИРО) энергоблоков ЧАЭС.
3. *Промышленный комплекс* по переработке твердых радиоактивных отходов ЧАЭС. Предварительный отчет по анализу безопасности УИТО и ЗПТРО. Описание УИТО и ЗПТРО. DNR-101638-02.
4. *Промышленный комплекс* по переработке твердых радиоактивных отходов ЧАЭС. Отчет по анализу безопасности СОПХТРО. Проектирование и строительство хранилища. DNR-111945-00.
5. *Инструкция* по безопасному проведению работ с высокоактивными отходами во временном хранилище твердых высокоактивных отходов. 9Э-ЦПТРО.
6. *Инструкция* по эксплуатации установки, закрытия/открытия крышки первичного контейнера. УЗК.00.00.000.РЭ. 19Э-ЦПТРО.
7. *Инструкция* по эксплуатации самоходного дистанционно управляемого комплекса для обращения с РАО. 21Э-ЦПТРО
8. *Инструкция* по эксплуатации весового терминала Кода II. 25Э-ЦПТРО.

Поступила в редакцию 11.06.08