

УДК 621.039.74

**СИСТЕМА ОБРАЩЕНИЯ С ОТРАБОТАННЫМ ЯДЕРНЫМ ТОПЛИВОМ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО РЕАКТОРА ИЯИ НАН УКРАИНЫ**

¹В.И. Слисенко, ¹В.Н. Макаровский, ¹Н.И. Мазина, ¹А.Г. Дьяков, ²О.Б. Андронов
(¹Институт ядерных исследований НАНУ;
²Институт проблем безопасности АЭС НАНУ)

Цель работы – создание оптимальной, технически простой и надежной системы обращения с ОЯТ исследовательского ядерного реактора ВВР-М с учетом наработанной статистики и опыта многолетней эксплуатации реактора. Условие выполнения работы – привести существующую систему обращения с ОЯТ в соответствие с современными нормативными требованиями на основе принципа “ALARA” и с учетом специфики объекта применения.

Реконструкция системы обращения с отработанным ядерным топливом (ОЯТ) на исследовательском реакторе предусматривает расширение действующего хранилища (ХОЯТ) путем создания дополнительного блока хранения, способного принять 1104 шт. (в пересчете на одиночные) отработанных тепловыделяющих сборок (ОТВС). Двухблочная система хранения обеспечивает расширение технических возможностей хранилища и повышение безопасности хранения. Блоки квалифицируются, как бассейны выдержки БВ-1 (существующие ХОЯТ) и строящийся БВ-2, соответственно. Для их обслуживания используются общие технические средства.

БВ-2 сооружается на базе имеющихся конструкций в смежном помещении реактора, строительство которого было прервано в 1987 году. По БВ-2 выполнены следующие работы: сооружен бетонный блок биологической защиты; установлена внутренняя облицовка ямы хранилища; построена рабочая площадка и расширена зона обслуживания грузоподъемных механизмов; смонтированы основные элементы внешней трубопроводной обвязки (связи с инженерными коммуникациями реактора); установлены герметичные разделительные ворота со стороны реакторного зала. БВ-2 предназначен для хранения отработанного ядерного топлива, носителем которого являются одиночные и тройные тепловыделяющие сборки (ТВС) типа (ВВР-М2 и ВВР-М5, ВВР-М7), отличающиеся содержанием ядерных делящихся материалов. ОТВС будут поступать и храниться в БВ-2 не ранее, чем через 30 дней после их выгрузки в БВ-1 из активной зоны реактора, работающего до этого на номинальной мощности.

Размещение БВ-2 в смежном с реакторным залом помещении обеспечивает локализацию перегрузки ОЯТ из БВ-1 в БВ-2 и изоляцию рабочей зоны при выполнении этих операций. Для БВ-2 используются действующие на реакторе системы: электрообеспечения; спецвентиляции; спецканализации; подпитки бассейна водой; система радиационного контроля; водоочистки (действующий передвижной блок); инструменты и приспособления; грузоподъемные механизмы; система пожарной сигнализации (монтируются дополнительные датчики, подключаемые к действующей системе); система физической защиты (монтируются и подключаются к действующей системе

датчики охранной сигнализации); система контроля и учета ОЯТ (ядерное топливо находится на гарантиях МАГАТЭ).

Общие системы не оказывают негативного влияния БВ-2 на реактор и наоборот:

- потребители электроэнергии БВ-2 подключаются к действующей системе реактора, имеющей запас по мощности более 40%;
- режим работы действующих грузоподъемных механизмов с созданием БВ-2 практически не нарушается;
- спецвентиляция пространства над баком с водой БВ-2 подключается к спецвентсистеме реактора без взаимовлияния;
- спецканализация подключена к действующей на реакторе (фактически сливы жидких радиоактивных отходов из БВ-2 могут происходить при дополнении водой бассейна в случае ошибки персонала или при протечках бака, что маловероятно);
- подпитка водой осуществляется с баков запаса дистиллята отдельной линией;
- приборы контроля уровня воды в бассейне, система радиационного контроля, измерители температуры воды, датчики пожарной сигнализации и системы физической защиты устанавливаются дополнительно для БВ-2 и не влияют на действующее оборудование подобных систем реактора.

Помещение реактора, в котором размещается БВ-2, увеличивается для обеспечения нормальных условий загрузки ОЯТ в транспортно-упаковочные контейнеры (ТУК) с целью вывоза отработанных ТВС за пределы института. ОЯТ хранится в БВ-2 до его отправки на переработку в Российскую Федерацию.

Вывоз ОЯТ за пределы объекта будет осуществляться только из БВ-2 с помощью специального бокса перегрузки (БП). Отправка ОЯТ осуществляется эксплуатирующей организацией (оператором) по созданной специальной разовой программе после заключения контракта на вывоз с предприятиями России. При разработке рабочей документации необходимо предусмотреть конструктивные меры обеспечения удобства оперативного обслуживания систем, а также возможность очистки воды, контроля протечек рабочего бака, контроля коррозионных процессов, ультразвукового контроля корпусных элементов.

Для обеспечения безопасности БВ-2 оснащается следующим оборудованием:

- каналы контроля уровня воды, шт. – 2;
- канал для постановки образцов-свидетелей коррозии, шт. – 1;
- каналы контроля системы аварийной сигнализации (САС), шт. – 2;
- канал оперативного контроля качества воды в бассейне (совмещен с патрубком перелива), шт. – 1;
- переливная труба, шт. – 1;
- канал автономной водоочистки, шт. – 1;
- труба спецвытяжки, шт. – 1;
- каналы подключения мобильной внешней системы водоочистки, осушения и отбора проб, шт. – 2;
- независимые каналы контроля протечек рабочего бака, шт. – 2.

Контролируемые параметры:

- | | | |
|---|---|--------------|
| – уровень воды в бассейне, мм | – | 3600; |
| – температура воды в бассейне, °С | – | не более 50; |
| – разрежение в пространстве над водой бассейна, мм в. ст. | – | не менее 10; |
| – разрежение в помещении обслуживания, мм | – | не менее 5; |
| – температура в помещении, °С | – | +20; |
| – контроль коррозии по образцам свидетелям; | | |
| – контроль протечек рабочего бака хранилища. | | |

Для вывоза ОЯТ будут использоваться специальные контейнеры VPVR/М. Контейнер разработан и изготовлен фирмой “Шкода” [1] и имеет узкоцелевое назначение – прием и транспортировка ОТВС типа ВВР-М и ИВВ (первые – шестигранного профиля, вторые – квадратного). Вместимость контейнера VPVR/М по количеству ОЯТ в 7÷9 раз, а рабочая масса в 1,5 раза выше по сравнению с контейнером ТУК-19. В контейнер VPVR/М одновременно помещаются 108 шт. одиночных ОТВС. Важной отличительной особенностью изделия является загрузка ОЯТ снизу (ТУК-19 загружается сверху), что исключает необходимость применения перегрузочного бокса, а сам контейнер в рабочей позиции располагается на крышке БВ-2.

Конструкция контейнера представлена на рис. 1. Корпус изделия (7) представляет собой толстостенный стальной цилиндр, заovalенный по торцевым переходам. С торцов внутренняя рабочая полость закрыта защитными пробками (2) и (8) и герметизирующими крышками (1) и (9). На торцевой части изделия устанавливаются противоударные насадки (амортизаторы) (3) и (10), обеспечивающие безопасность транспортировки. В рабочем положении амортизаторы снимаются. На корпусе имеются две пары грузовых зацепов (6), расположенных симметрично относительно диаметральной плоскости, проходящей через центр тяжести. Они предназначены для захвата штангами транспортной траверсы при перемещении груза. Наличие двух пар зацепов позволяет опрокидывать контейнер с фиксацией его позиции под любым углом. Такая операция необходима при обслуживании контейнера и выполняется специальным устройством, входящим в штатный комплект транспортного оборудования. Пробка (8) одновременно является днищем рабочей корзины (5), которая в транспортном положении находится внутри контейнера и закреплена на подвеске (4). Корзина опускается и поднимается с помощью двух штанг (прецизионных), крепящихся нижним концом в позиции (11), а верхним – к собственной траверсе подъема и опускания корзины.

Сервисное обслуживание предполагает ряд стартовых и финишных операций. Стартовые операции направлены на подготовку контейнера к работе. Они включают демонтаж амортизаторов, нижней крышки, установку изделия в рабочую позицию, подсоединение технических средств перемещения корзины. Финишные операции имеют целью подготовку загруженного контейнера к транспортировке, а именно: осушение и герметизация рабочего объема; заполнение внутреннего объема инертным газом (гелием); установка амортизаторов. Установка осушения и заполнения гелием входит в состав штатных технических средств обслуживания изделия.

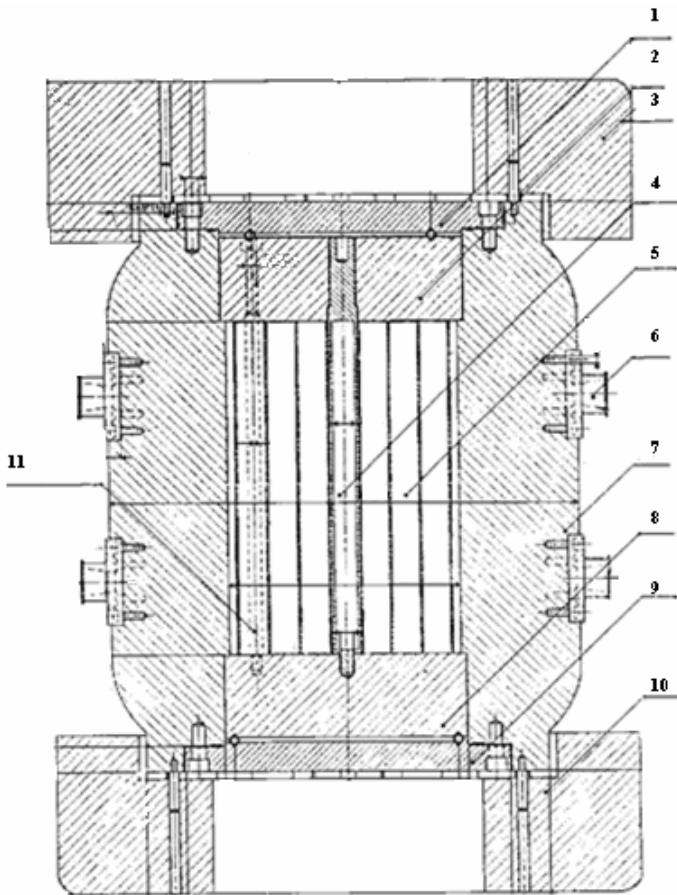


Рис.1. Транспортный контейнер PVR/M (SKODA) для приема и перевозки ОЯТ

Конструктивная схема БВ-2 изображена на рис. 2. Контейнер VPVR/M (1) устанавливается в гнездо погрузочного люка в защитной крышке БВ-2 (2). При этом аппликата транспортно-упаковочного контейнера совпадает с осью штробы рабочей камеры (РК) бака-хранилища. С помощью опускного устройства, подвешенного на траверсе (3), корзина (4) лифтовым способом опускается на донную подставку штробы, которая фиксирует корзину в строго вертикальном положении. Передача ОТВС из секций хранения (5) в корзину (4) осуществляется через окно в отсечной перегородке. Для данной операции используется штатный инструмент и переносные технические средства обращения с ОЯТ реактора. Для работы используется ближайший открытый люк, через который заводится рабочий инструмент и средства визуального наблюдения. Может использоваться и второй люк (6) для подачи дополнительной подсветки, оперативной внутренней перестановки сборок. По завершении заполнения корзины сформированная упаковка поднимается и втягивается в ТУК, где производится ее жесткая фиксация. Снимается лифтовая подвеска. Далее выполняются финишные операции по подготовке контейнера к транспортировке.

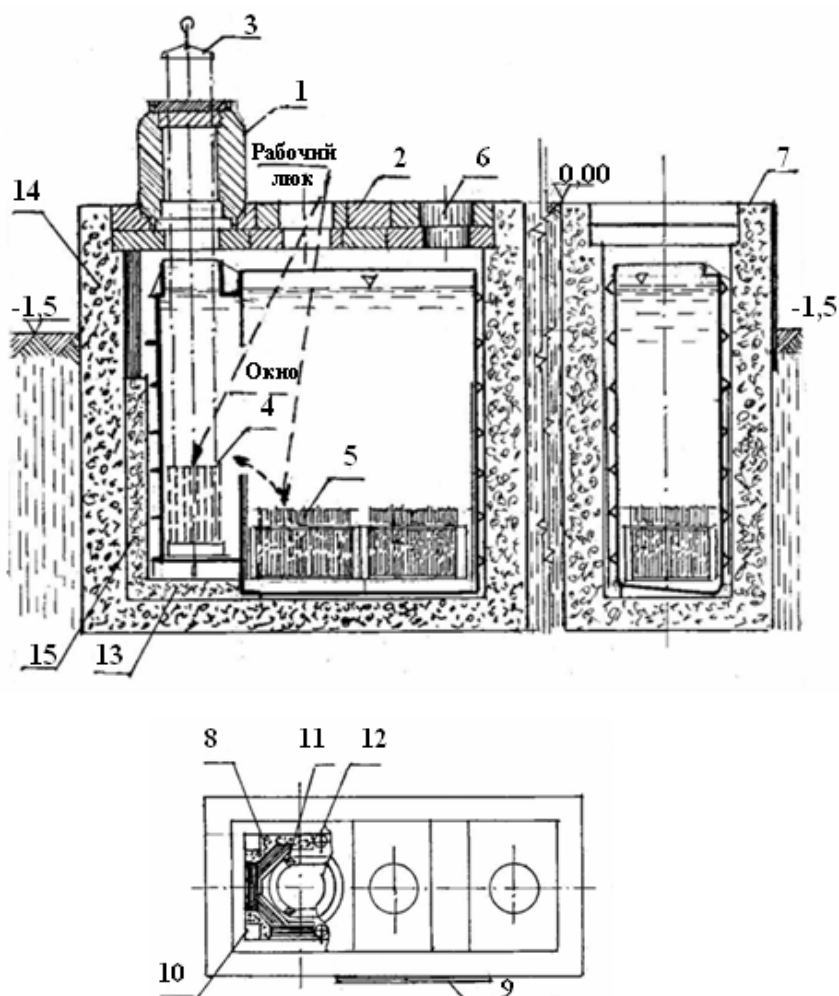


Рис.2. Схема БВ-2

Во внутренней полости бетонной коробки (7) кроме бака размещается дополнительная внутренняя биологическая защита (8), в пакет которой входят сервисные каналы (10) прямоугольного сечения (2 шт.) и мониторные каналы (11) и (12) разного номинала (по 2 шт.). В верхнее гнездо бетонного ограждения устанавливается стальная крышка (2), длина которой перекрывает всю длину каньона. На наружную часть стенки бетонного ограждения на участке размещения технических средств технологического обслуживания комплекса БВ-2 установлена дополнительная внешняя биологическая защита в виде набора стальных листов (9). Бак-хранилище установлен на двухуровневых упорах, один уровень соответствует уровню дна (4 опоры). Второй уровень выше на толщину бетонной подложки, на которую опирается РК (13) своей опорной конструкцией.

Размещение оборудования не требует изменений конструкции бетонного блока и каньона. Производится лишь перекомпоновка элементов комплекса БВ-2

с учетом частичного изменения их конструкций. Боковая биологическая защита усилена внутренними (8) и наружными элементами (9). Внутренняя дополнительная защита состоит из набора стальных листов (14), опирающегося на бетонное основание (15). Вся конструкция жестко крепится к внутренним поверхностям стенок и днища каньона. Верхняя торцевая часть дополнительной внутренней биологической защите (ДБЗВ) находится в плоскости опорной площадки гнезда защитной крышки БВ-2, что обеспечивает дополнительную площадь опоры для наиболее нагруженного элемента крышки. В комплект элементов ДБЗВ входят две группы вертикальных каналов по 2 шт. каждая. Это каналы прямоугольного сечения (10) и каналы круглого сечения (12), доходящие до днища каньона. Прямоугольные каналы предназначены для вспомогательных целей и могут использоваться для временного хранения и дезактивации специнструмента, сбора твердых радиоактивных отходов, образующихся в процессе выполнения радиационно-опасных работ различного назначения, а также для других функций, не регламентируемых проектом. Два круглых канала (трубы) способны выполнять мониторинговые и технологические функции. В процессе загрузки корзины ОТВС осуществляется оперативный мониторинг уровня гамма-излучения с помощью помещенных в каналы независимых детекторов. В режиме выдержки ОЯТ каналы (12) используются для технологического контроля. В них размещаются независимые датчики контроля протечек бака-хранилища. Они же, в случае необходимости, могут быть использованы для введения рукава системы осушения.

Наружная дополнительная биологическая защита (ДБЗН) локально расположена на внешней поверхности стенки бетонного ограждения на рабочем участке обслуживания БВ-2, где установлены соответствующие технические средства и трубопроводная обвязка (9). Цель установки ДБЗВ и ДБЗН – обеспечение надежной защиты от гамма-излучений зон обслуживания при подаче загруженной ОЯТ корзины в контейнер. Введение дополнительных барьеров потребовалось в связи с тем, что емкость корзины по ОЯТ во втором варианте перегрузочной технологии в 7-9 раз выше начального варианта. Это, в свою очередь, приводит к более высокому значению мощности эквивалентной дозы источника, что необходимо учитывать в процессе реализации подъема корзины (наиболее напряженным является момент выхода корзины из воды и вытягивания ее в ТУК).

Бак хранилища (рис. 3) состоит из двух основных сборок – собственно бака и штробы рабочей камеры, сопряженной с одной из коротких торцевых стенок прямоугольной емкости. Конструкция емкости-хранилища и ее внутренней и наружной оснастки, а также внутренних сборок обоих вариантов полностью идентична. Штроба рабочей камеры (1) представляет собой выносной отсек с развитым наружным оребрением (вертикальным и горизонтальным). Горизонтальные пластинчатые ребра стыкуются с угловыми наружными ребрами бака.

Количество наружных горизонтальных ребер штробы (7) и бака (5) одинаково. Система опор бака (4) сохранена первоначальной. Штроба имеет свою опору (6), которая на 200 мм выше опор бака. Рабочая камера имеет горловину (люк), через которую в нее подается корзина ТУК. Корзина опускается на дно РК, где устанавливается на специальную опорную подножку. Бак обслуживается посредством обвязки, размещенной на крышке с площадкой

(3). Установка внутренних сборок емкости-хранилища производится через открытый проем (2), который обеспечивает также работы по загрузке ОЯТ, перестановкам ТВС, передачи ОТВС в транспортную корзину.

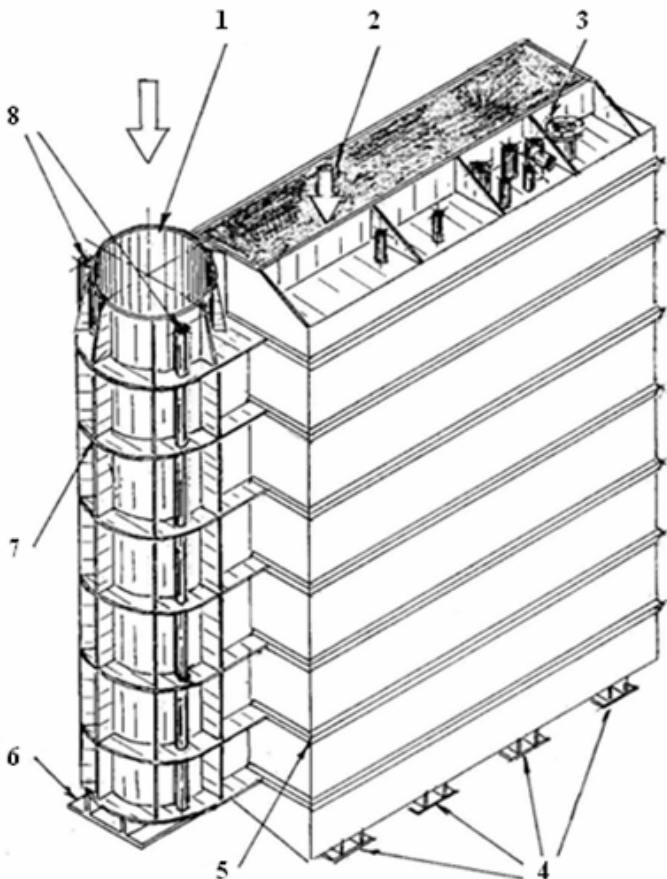


Рис.3. Схема бака хранилища

Прочностные качества изделия по отношению к исходному варианту не ухудшаются благодаря достаточной толщине конструкционного материала и развитой системе обрешетки. В наружную оснастку штробы включены два канала (8) радиационного оперативного контроля при выгрузке ОЯТ. Под оснасткой понимается комплект оборудования и технических средств, обеспечивающих нормальное функционирование БВ-2 и обращения с ОЯТ. Сюда входят системы всех видов контроля, средства передачи ОТВС, а также исследовательское оборудование. Системы контроля в новом варианте полностью остаются неизменными как по составу, так и по местам привязки. В целях расширения возможностей оперативного внутреннего контроля радиационной обстановки дополнительно предусматриваются каналы (8). Указанные каналы наиболее приближены к зоне, в которой перемещаются

источники ионизирующего излучения при выполнении операции подъема коробки.

Перечень основного оборудования, необходимого для проведения манипуляций загрузки контейнеров для транспортирования ОЯТ:

- автокран грузоподъемностью ≥ 30 т;
- мостовой кран грузоподъемностью 15 т;
- электротележка для транспортировки контейнера;
- устройство для осушения ОТВС в контейнере;
- устройство для вакуумирования и заполнения гелием емкости контейнера, в котором находится ОЯТ;
- перегрузочная рама;
- стропы и специальные траверсы для проведения манипуляций с контейнером;
- штанги и другое оборудование для перемещения ОТВС дистанционно под водой в бассейне БВ-2 и погрузки их в корзину контейнера VPVR/М;
- видеокамера (с электроосвещением) и видеомониторы для проведения работы с сборками;
- специальный инструментарий для проведения работ с механизмами, гайками, болтами контейнера VPVR/М, динамометрический ключ, торцевой гаечный ключ.

Автокран – стандартный кран, который имеет грузоподъемность 30 т необходимый для снятия контейнера ISO с автотрейлера и подачи контейнеров VPVR/М на электротележку. Мостовой кран – стационарный кран грузоподъемность 15 т, необходимый для подачи контейнера VPVR/М на перегрузочную раму, проведения подготовительных операций для загрузки ОЯТ, подачи готового до приема ТВС контейнера на соответственный люк БВ-2, подачи корзины в бассейн и загрузки ОЯТ и подъема ее с бассейна в контейнер, подачи контейнера на перегрузочную раму, проведения подготовительных операций для транспортировки контейнера с ОЯТ. Электротележка – специально спроектированная и изготовленная тележка для транспортировки контейнера VPVR/М из зоны действия автокрана (на улице) в зону действия мостового крана и наоборот после загрузки контейнера ОЯТ, а также для транспортировки внутриобъектного контейнера от БВ-1 к БВ-2. Перегрузочная рама – необходима для проведения подготовительных работ с контейнером для загрузки ОЯТ и для подготовки контейнера для безопасной транспортировки ОЯТ в Россию.

Выбор конструкции БВ-2 основан на результатах анализа эксплуатационной статистики БВ-1 и накопленном многолетнем опыте персонала по обращению с отработанным ядерным топливом. В эксплуатирующем подразделении существуют хорошо отработанные организационные и технические приемы безопасного выполнения сложных операций с ядерным топливом (аварийных ситуаций и переоблучения личного состав за годы работы реактора не отмечалось).

Организация долговременного хранения ОЯТ предусматривает создание условий его безопасного содержания, которые обеспечиваются техническими мерами и нормальным функционированием систем оперативного и длительного эксплуатационного контроля.

Надежность информации о режиме хранения достигается дублированием средств измерения главных характеристик безопасности:

- самоподдерживающаяся цепная реакция (СЦР) – двухканальная САС;
- уровень – ультразвуковой канал, канал прямых показаний;
- протечки бака – двухканальная система контроля;
- контроль температуры – не менее чем в двух точках;
- контроль разрежения – электрическим и механическим способами.

Важной задачей обеспечения надежности системы хранения является предотвращение коррозионных разрушений несущих конструкций, что достигается поддержанием нормального водного режима. Контроль среды проводится как периодически (радиохимический анализ проб в лаборатории реактора), так и постоянно с помощью измерения проводимости воды. Увеличение проводимости воды (плотности электролита) является основной причиной электрохимической коррозии при наличии разнородных по активности материалов.

Контроль коррозионных процессов по образцам-свидетелям производится по специальной методике. Время выдержки образцов-свидетелей в БВ-2 определяется практически по показателям качества воды, условиями размещения и на основании опыта проведения на реакторе аналогичных исследований. Вода при длительном хранении может загрязняться продуктами коррозии, вентиляционными продуктами, а также биоорганизмами, способными выдержать реальные дозовые нагрузки. Для периодической очистки воды на реакторе существует мобильная сорбционная установка, которая при обслуживании БВ-2 подключается к свободным патрубкам гидросистемы заполнения и осушения хранилища.

Модернизированная система обращения с ОЯТ должна обеспечить:

- прием ОЯТ из БВ-1 и размещение ТВС по заданной рабочей программой схеме;
- долговременное (до вывозки на переработку) безопасное хранение ОЯТ;
- осуществление оперативного и постоянного контроля параметров безопасности;
- выдачу ОЯТ в транспортные средства грузоперевозчика и организацию отправки за пределы института;
- проведение исследований и экспериментально-прикладных работ с использованием ОЯТ как гамма-источника.

Основные критерии выбора конструкции БВ-2 и его характеристик;

- разумная достаточность при определении конструктивных параметров и взаимосвязанных параметров безопасности в соответствии с принципом “ALARA”;
- соблюдение положений нормативных документов в области обращения с отработанным ядерным топливом и создания систем его хранения;
- характеристика зоны и площадки размещения исследовательского реактора (сейсмика, метеорология, наличие внешних техногенных факторов негативного воздействия);
- БВ-2 должен иметь общую зону радиационной безопасности с главным залом реактора, с общим строительным ограждением и обслуживаться едиными системами спец. вентиляции и спец. канализации, а также располагаться в зоне физической защиты ВВР-М;

- помещение БВ-2 должно надежно и простыми способами изолироваться в момент проведения радиационноопасных работ, вентиляционный режим при этом обеспечивает соблюдение принципа: разрежение в БВ-2 больше, чем в помещении, а в помещении больше, чем за его пределами;
- локальные элементы и устройства физической защиты должны гарантированно исключить несанкционированный доступ в помещение БВ-2;
- при создании хранилища следует максимально использовать конструкции и фрагменты незавершенного БВ-2;
- БВ-2 должен быть адаптирован к транспортным средствам, средствам перемещения грузов и грузоподъемных механизмов реактора;
- связь с инженерными сетями и коммуникациями ВВР-М должна быть кратчайшей.

Надежность БВ-2 обеспечивается: применением надежного стандартного оборудования; дублированием основных систем контроля; достаточным ресурсом оборудования; простотой конструкции.

Безопасность БВ-2 достигается: размещением изделия; достаточностью биологической защиты; минимизацией и простотой операций по обслуживанию и эксплуатации; организационными мерами; изоляцией зоны производства радиационно-опасных работ.

Проектом предусматривается использование БВ-2 как источника ионизирующего излучения для проведения исследовательских работ, таких, например, как стерилизация медицинских инструментов, определение влияния гамма-излучения на материалы, в том числе полупроводниковые приборы, другие материалы, не имеющие в своих составах делящихся изотопов.

Мониторинг окружающей среды осуществляется в тех же местах и с такой же периодичностью, что и при работе реактора и производится персоналом Центра экологических проблем атомной энергетики ИЯИ НАНУ. Предусматривается следующий радиационный контроль: измерение МЭД гамма излучения; плотности потока нейтронов в помещениях БВ-2; объемной активности радионуклидов в воздухе; загрязненности поверхностей помещений и оборудования, спецодежды и тела персонала; индивидуальных доз персонала.

Включение в реакторный комплекс БВ-2 как дополнительного источника ионизирующего излучения не приведет к превышению контрольного уровня годового лимита дозы индивидуального облучения, который установлен 18 мЗв. Годовая дозовая нагрузка, приходящаяся на эксплуатацию и техническое обслуживание БВ-2, включая вывоз ОЯТ, не превысит 1,8 мЗв (т.е. 10 % годового лимита).

Введение в эксплуатацию БВ-2 обеспечит нормальную работу реактора в течение $(10 \div 15)$ лет без вывоза ОЯТ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Skoda VPVR/M cask for transport and storage of nuclear spent fuel from research reactors. – Czech Republic. – 2005. – 9 p.