

Предложения по обращению с некондиционными ОТВС РБМК-1000
Дорофеев А.Н., Канашов Б.А., Перепелкин С.О., Смирнов В.П. (ООО НПФ «Сосны»),
Давиденко Н.Н. (ОАО «Концерн Росэнергоатом»),
Калязин Н.Н., Ложников И.Н. (Ленинградская АЭС)

К настоящему времени разработана и внедрена технология перевода кондиционного ОЯТ РБМК на сухое хранение, но решение проблемы обращения с некондиционным ОЯТ РБМК до недавнего времени откладывалось. Опыт ввода в эксплуатацию отделения разделки ОТВС на Ленинградской АЭС показал, что доля некондиционного ОЯТ достигает 30 %, что потребовало ускорения разработки решений по удалению его с АЭС. Кроме того, остаются нерешенными проблемы удаления с энергоблоков и ХОЯТ негерметичных и сильно поврежденных ОТВС. В докладе приведено описание текущей ситуации и проблем обращения с некондиционным ОЯТ РБМК, представлены результаты выполненной работы по обоснованию переработки ОЯТ РБМК, а также предложена схема подготовки и вывоза некондиционных ОТВС с АЭС.

Введение

Отраслевой концепцией обращения с ОЯТ [1] предусмотрен вывоз ОТВС реакторов РБМК-1000 с площадок АЭС в централизованное сухое хранилище ХОТ-2 на ФГУП «ГХК». К настоящему времени введены в эксплуатацию пусковой комплекс сухого хранилища ХОТ-2 ГХК, отделение разделки и комплекс контейнерного хранения на Ленинградской АЭС. В 2012 году начата разделка ОТВС и вывоз ОЯТ РБМК-1000 с Ленинградской АЭС в сухое хранилище на ГХК. Завершаются монтажные работы в отделении разделки ОТВС на Курской АЭС, строится отделение разделки ОТВС на Смоленской АЭС. Вывоз ОЯТ РБМК-1000 с Курской АЭС предполагается начать в 2013 году, со Смоленской АЭС – в 2016 году. Для буферного пристанционного хранения ОЯТ РБМК-1000 в настоящее время используются металлобетонные контейнеры УКХ-109, а для перевозок на ГХК – транспортные упаковочные комплекты ТУК-109.

По разработанной к настоящему времени технологии перевода на сухое хранение [2], разделке и отправке в ХОТ-2 подлежат герметичные и условно герметичные ОТВС без существенных дефектов (далее – кондиционные ОТВС). Технология разделки и перевода на сухое хранение негерметичных ОТВС и ОТВС с механическими повреждениями конструктивных элементов (далее – некондиционные ОТВС) в настоящее время отсутствует. В соответствии с методикой контроля состояния ОТВС [3], к некондиционным относят негерметичные ОТВС, а также ОТВС, имеющие следующие повреждения:

- отсутствие более двух дистанционирующих решеток (ДР) подряд;
- отсутствие/разрушение ДР10 нижнего пучка твэлов (ПТ) или ДР11 верхнего ПТ;
- локальное увеличение диаметра более 87 мм;
- зазор между твэлами верхнего и нижнего ПТ менее 9 мм.

До пуска отделения разделки на Ленинградской АЭС ожидалось, что доля некондиционных ОТВС составит 3-5 %. В связи с этим перевод некондиционных ОТВС на сухое хранение планировался по специальной технологии, которая должна быть разработана и внедрена после решения проблемы заполнения бассейнов ХОЯТ (отложенное решение). По проекту отделения разделки отбраковка ОТВС перед разделкой была организована следующим образом. КГО твэлов ОТВС производят в бассейновой части ХОЯТ, обнаруженные негерметичные ОТВС оставляют в бассейне, а герметичные ОТВС передают в отделение разделки, где проводят их визуальный осмотр. При обнаружении дефекта, препятствующего разделке и размещению ПТ в ампулах, некондиционные ОТВС возвращают в бассейновую часть ХОЯТ.

1. Реализация пилотного проекта

Поскольку технология перевода некондиционных ОТВС на сухое хранение не была разработана, а мощности завода РТ-1 ПО «Маяк» недозагружены, было предложено отправлять некондиционные ОТВС на переработку. В рамках ФЦП ЯРБ [4] в 2010–2011 гг. было выполнено обоснование переработки некондиционного ОЯТ РБМК-1000, включая переработку опытной партии.

1.1. О целесообразности переработки некондиционных ОТВС

Топливо и конструкционные материалы ТВС РБМК-1000 и ТВС ВВЭР-440 аналогичны, поэтому проблем переработки ОЯТ РБМК не ожидалось. Но из-за того, что при проектной энерговыработке содержание ^{235}U в ОЯТ РБМК ниже, чем в ОЯТ ВВЭР-440, переработка ОЯТ РБМК считалась нецелесообразной. Однако за последние годы выгорание ОЯТ ВВЭР-440 возросло, и планируется дальнейшее его увеличение. Соответственно, содержание ^{235}U ОЯТ ВВЭР-440 снизилось и будет снижаться в дальнейшем. Поскольку часть некондиционных ОТВС были досрочно выгружены из реактора из-за разгерметизации и не достигли проектной энерговыработки, существовали предпосылки, что остаточная доля ^{235}U в ОЯТ будет достаточно высокой, и регенерированный уран из него после дообогащения будет целесообразно использовать для изготовления топлива.

Дообогащение регенерированного урана можно осуществить с привлечением внешних источников ^{235}U (разбавлением) или без привлечения внешних источников (разделением изотопов). При этом качество

регенерированного урана зависит не только от содержания ^{235}U , но и от содержания четных изотопов урана. Если наличие ^{232}U влияет, в основном, на условия обращения с регенерированным ураном, то наличие ^{236}U требует компенсации увеличением доли ^{235}U при дообогащении. Целесообразность вовлечения регенерированного урана в ЯТЦ может быть определена показателем качества, который определяется через потоки при разделении изотопов [5]. Показатель качества регенерированного урана зависит от содержания ^{235}U и ^{236}U , а, следовательно, от исходного обогащения и выгорания топлива. Использование регенерированного урана целесообразно, если показатель качества превышает значение, характерное для природного урана.

Для подтверждения целесообразности переработки ОЯТ РБМК были выполнены расчетные исследования его изотопного состава, проведены расчеты показателя качества и получены значения выгорания топлива, до которых регенерированный уран из него целесообразно вовлекать в ЯТЦ («граничное» выгорание) [6]. Статистика по некондиционным ОТВС с поврежденными конструктивными элементами отсутствует. Поэтому анализ целесообразности переработки был проведен для всех ОТВС Ленинградской АЭС в предположении, что распределение некондиционных и всего массива ОТВС по выгоранию совпадают, а ситуация на других АЭС идентична. На основе статистических данных по выгоранию топлива и полученных значений «граничного» выгорания в ОТВС РБМК были определены доли от всего числа ОТВС, которые можно переработать с вовлечением регенерированного урана в ЯТЦ. В зависимости от исходного обогащения эта доля колеблется в пределах 10-12%.

При этом средние значения выгорания топлива негерметичных ОТВС РБМК-1000 с разным исходным обогащением оказались меньше соответствующих значений «граничного» выгорания, поэтому регенерированный уран из негерметичных ОТВС может быть вовлечен в ЯТЦ без сортировки ОТВС по выгоранию.

1.2. О возможности перевозки негерметичных ОТВС

Нормативные документы, регламентирующие безопасность перевозки, не требуют помещать негерметичное ОЯТ в герметичные пеналы (ампулы), а ограничивают выход активности из ТУК в окружающую среду. Но для хранения негерметичного ОЯТ в БВ необходимо использовать специальные пеналы (ампулы), ограничивающие выход активности и топлива. Однако при использовании герметичных ампул для перевозки и хранения негерметичного ОЯТ возникает проблема накопления и достижения взрывоопасной концентрации радиолитического водорода, что, в свою очередь, ограничивает допустимый срок хранения ампулы с негерметичным ОЯТ.

Проблема накопления радиолитического водорода в герметичной ампуле с ОЯТ может быть решена осушкой или продувкой инертным газом. Однако техническая возможность осушки и продувки отдельных ампул с ОЯТ в отделении разделки ОТВС в настоящее время отсутствует. Включение осушки или продувки каждой ампулы в технологический процесс потребует размещения дополнительного оборудования, а также приведет к усложнению конструкции ампулы и увеличению времени и затрат на подготовку ОЯТ к перевозке. Поэтому было принято решение о герметизации ампул с ПТ негерметичных ОТВС без осушки или продувки инертным газом, но с существенным ограничением срока хранения и количества ОЯТ в ТУК. С учетом продолжительности разделки ОТВС, загрузки ОЯТ в ТУК, перевозки и запаса времени на хранение ОЯТ до переработки приемлемый срок хранения ампул с ПТ негерметичных ОТВС составляет примерно шесть месяцев.

Для обоснования безопасности временного хранения и транспортирования негерметичного ОЯТ РБМК-1000 были выполнены расчетные оценки скорости накопления водорода в результате радиолитического распада воды и пара внутри герметичных ампул. Расчеты показали, что с учетом наличия в ПТ одного негерметичного твэла срок безопасного временного хранения 30 ампул с ПТ в ТУК составит 8,6 месяцев. Дополнительно были выполнены экспериментальные оценки скорости накопления водорода в герметичной ампуле с негерметичными твэлами ОТВС РБМК-1000. Определенная при этом скорость накопления водорода оказалась значительно ниже расчетной.

Другая сложность поставки негерметичного ОЯТ на переработку заключается в разработке конструкции ампулы, которая должна удовлетворять взаимоисключающим требованиям. С одной стороны, конструкция ампулы должна обеспечивать ее прочность в нормальных и аварийных условиях при транспортировании и при обращении на АЭС и заводе РТ-1 ПО «Маяк». С другой стороны, должна быть обеспечена возможность измельчения ампулы вместе с ПТ на агрегате резки, поскольку при перевозке ПТ негерметичной ОТВС возможна просыпь топлива в ампулу, а также не исключена просыпь топлива в защитной камере при извлечении ПТ из ампулы. Эта проблема была решена использованием в конструкции ампул труб с толщиной стенки 2 мм, а также использованием вкладышей в ячейки чехла ТУК.

1.3. Реализация пилотного проекта

С целью проверки принятых технических решений и демонстрации возможности перевозки и переработки некондиционного ОЯТ РБМК-1000 была осуществлена поставка на ПО «Маяк» опытной партии негерметичных ОТВС (пилотный проект). Поскольку на заводе РТ-1 ПО «Маяк» отсутствовало оборудование для обращения с ТУК-109, а отделения разделки ОТВС на АЭС не были введены в эксплуатацию, поставка опытной партии ОЯТ была осуществлена со 2-го блока Ленинградской АЭС с использованием вагона-

контейнера ТК-11. Разделка ОТВС и загрузка ПТ в ампулы были выполнены в защитной камере на 2-м блоке Ленинградской АЭС.

Для опытной переработки были отобраны восемь негерметичных ОТВС. Количество ОТВС было определено, исходя из массы одной загрузки ОЯТ в аппарат-растворитель завода РТ-1.

Для перевозки опытной партии ПТ негерметичных ОТВС РБМК были разработаны и изготовлены невозвратные герметичные ампулы (рис. 1) и ТУК-11Р-2 (рис. 2) на основе контейнера ТУК-11 и чехла 12. Кроме того, было разработано и изготовлено оборудование для обращения с ампулами в защитной камере, загрузки ампул с ПТ в ТУК, обращения с компонентами ТУК и ампулами на заводе РТ-1 ПО «Маяк». При этом была обоснована безопасность выполнения работ на всех этапах обращения с ОЯТ. Перевозка и переработка опытной партии ОТВС была выполнена в конце 2011 года.

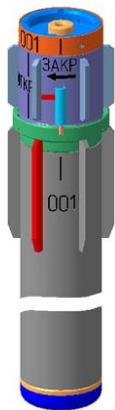


Рис. 1. Ампула для перевозки ПТ негерметичных ОТВС РБМК

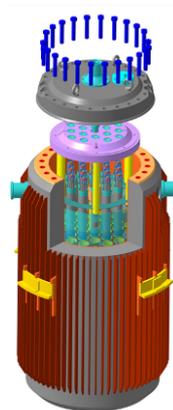


Рис. 2. ТУК-11Р-2 для перевозки ПТ негерметичных ОТВС РБМК

Следует отметить, что доза, полученная персоналом при загрузке ОЯТ в ТУК-11Р-2, оказалась значительно ниже дозы при загрузке ПТ ОТВС в ТУК-11Р-1 для отправки в ГНЦ НИИАР на исследования. Поэтому специалистами Ленинградской АЭС предложено использовать для поставки ПТ ОТВС в ГНЦ НИИАР схему и оборудование, разработанные для поставки ОЯТ на ПО «Маяк».

В свете успешного выполнения опытной перевозки и переработки ОЯТ РБМК в программе [7] запланирована переработка некондиционного ОЯТ РБМК-1000 в объеме до 50 т/год начиная с 2013 года. Указанная скорость поставки должна была обеспечить вывоз с АЭС некондиционного ОЯТ одновременно с кондиционным. Обеспечить ежегодную поставку требуемого количества ОЯТ на переработку можно с использованием ТУК-109, для чего необходимо оснастить ПО «Маяк» оборудованием для обращения с ним, а отделения разделки ОТВС – дополнительным оборудованием для обращения с некондиционными ОТВС.

2. О новых задачах и перспективах

Опыт эксплуатации отделения разделки ОТВС на Ленинградской АЭС в 2012 году показал, что доля некондиционных ОТВС составляет не 3-5 %, как ожидалось, а значительно больше. Так, например, доля некондиционных ОТВС с небольшими механическими повреждениями конструктивных элементов, тем не менее, препятствующими разделке и загрузке ПТ в ампулы ТУК-109, составила около 30 %. При достижении проектной производительности отделений разделки на трех АЭС с РБМК-1000 поток некондиционного ОЯТ, подлежащего переработке, превысит производительность завода РТ-1.

В программе [7] к 2030 году запланировано завершение переработки ОЯТ, включая некондиционные ОТВС РБМК, на ПО «Маяк». Однако с учетом продления срока эксплуатации до 45 лет последний реактор РБМК-1000 будет остановлен в 2035 году. За весь период эксплуатации реакторы РБМК-1000 наработают около 20 тыс. тонн ОЯТ. При ежегодной переработке 50 тонн на удаление всего некондиционного ОЯТ (около 6 тыс. тонн) потребуется около 120 лет. Таким образом, вывоз некондиционного ОЯТ на переработку на ПО «Маяк» в объеме 50 тонн в год не решит проблему удаления его с АЭС. Для решения этой проблемы требуются новые технологические решения.

Кроме проблем обращения с некондиционными ОТВС в ХОЯТ, существуют проблемы удаления негерметичных и аварийных (искривленных, разрушенных и т.д.) ОТВС с энергоблоков и ХОЯТ. На Курской и Смоленской АЭС негерметичные ОТВС не вывозятся в пристанционные ХОЯТ, а накапливаются в приреакторных БВ, что приводит к сокращению количества мест под выгружаемые из реактора ОТВС. В БВ энергоблоков хранятся также аварийные ОТВС, которые не могут быть загружены в ТК-8 и перевезены в ХОЯТ. При подготовке энергоблоков к выводу из эксплуатации потребуется удалить аварийные ОТВС из БВ. Обоснованный срок водного хранения негерметичных ОТВС составляет 60 лет [8]. Для первых негерметичных ОТВС он истечет в 2035 году. Поэтому к этому сроку нужно внедрить технологию перевода их на сухое хранение или вывоза на переработку.

Для определения необходимых технологий обращения с некондиционными ОТВС РБМК-1000 целесообразно принять следующие принципиальные решения:

- 1) Производительность отделения разделки должна быть увеличена.
- 2) У части герметичных некондиционных ОТВС должны быть компенсированы дефекты для вывоза в ХОТ-2 с использованием штатных ампул ТУК-109 (ТУК-109Т).
- 3) Герметичные некондиционные ОТВС, не подлежащие ремонту, должны быть разделаны и отправлены в ХОТ-2 с использованием ампул увеличенного диаметра.
- 4) Некондиционные ОТВС, пригодные для переработки с учетом показателя качества урана, должны быть разделаны, ПТ помещены в специальные ампулы и отправлены на переработку на ПО «Маяк».
- 5) Негерметичные ОТВС, которые уже доставлены и могут быть доставлены в ХОЯТ, должны быть разделаны в отделении разделки. На Ленинградской АЭС разделку негерметичных ОТВС можно осуществлять дополнительно в защитной камере второго энергоблока.
- 6) Аварийные и опытные ОТВС должны быть разделаны в БВ по специальной технологии.
- 7) С целью максимального использования существующей инфраструктуры АЭС применять ТК-8 для внутристанционной перевозки ОЯТ и ТУК-109 (ТУК-109Т) для вывоза ОЯТ с АЭС.

Для удаления некондиционных ОТВС РБМК-1000 с АЭС необходимо разработать и внедрить технологии:

- 1) компенсации дефектов и разделки герметичных некондиционных ОТВС для обеспечения возможности загрузки ПТ в штатные ампулы ТУК-109 (ТУК-109Т) и вывоза в ХОТ-2 ;
- 2) подготовки и вывоза герметичных некондиционных ОТВС из ХОЯТ в ХОТ-2 с использованием ампул увеличенного диаметра;
- 3) подготовки и вывоза герметичных некондиционных ОТВС из ХОЯТ на завод РТ-1 с использованием ампул увеличенного диаметра;
- 4) подготовки и вывоза негерметичных ОТВС из ХОЯТ на завод РТ-1;
- 5) подготовки и вывоза негерметичных ОТВС из ХОЯТ в ХОТ-2 (после 2030 года);
- 6) перевозки негерметичных ОТВС с энергоблоков в пристанционные ХОЯТ;
- 7) подготовки и вывоза аварийных и опытных ОТВС с энергоблоков на завод РТ-1;
- 8) подготовки и вывоза аварийных и опытных ОТВС с энергоблоков в ХОТ-2 (после 2030 года).

2.1. Ремонт и вывоз герметичных некондиционных ОТВС с использованием штатных ампул ТУК-109

Наличие дефектов конструктивных элементов ОТВС порождает ряд проблем при переводе на сухое хранение. Крупные задиры ДР приводят к увеличению поперечного размера ПТ, что препятствует загрузке в ампулы. Разрушение более двух подряд ДР, а также разрушение ДР10 и ДР11 приводит к нестабильности и увеличению поперечного размера ПТ, что также препятствует загрузке его в ампулу. Разрушение ДР10 не позволяет зафиксировать ОТВС при разделке на ПТ. ОТВС с зазором между твэлами верхнего и нижнего ПТ менее 9 мм невозможно разделать, не повредив твэлы.

Для обеспечения возможности загрузки ПТ в ампулы ТУК-109 (ТУК-109Т) и вывоза в ХОТ-2 необходимо разработать и внедрить технологии удаления задиры ДР и компенсации разрушения ДР. Кроме того, необходимо разработать и внедрить технологию разделки ОТВС с зазором между твэлами верхнего и нижнего ПТ менее 9 мм.

Для удаления задиры ДР можно рассмотреть несколько способов: шлифовка, рихтовка или использование кусачек (рис.3). Каждый из способов имеет свои достоинства и недостатки; для выбора оптимального варианта необходимо выполнить опытную проверку на макетах. При анализе возможности применения кусачек необходимо оценить величину удаляемого задиры и величину задиры, который останется. Для сошлифовки задиры ДР можно рассмотреть возможность оснащения существующего отрезного станка абразивным кругом и использования пневматической шлифовальной машинки. Рихтовка ДР может быть осуществлена с помощью пневматического «молотка». При реализации последнего способа необходимо оценить нагрузку на остальные части ДР и на твэлы.

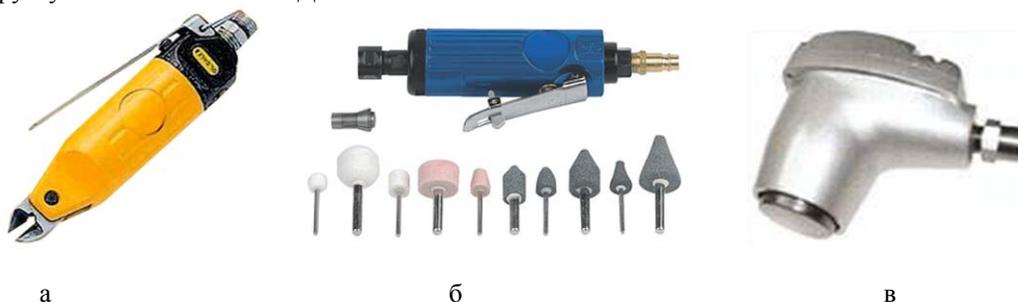


Рис.3. Пневматические инструменты для удаления задиры ДР: кусачки (а), шлифовальная машинка (б), «молоток» (в)

Для компенсации разрушения ДР можно устанавливать хомуты на разрушенные ДР или около места их расположения. В качестве хомутов могут быть использованы пружинные элементы в виде разрезных колец (рис.4). Как вариант, хомуты из стальной ленты могут быть установлены с помощью специального пневматического устройства, которое производит натяжение ленты, скрепление ее скобой и обрезку (рис.5, 6). При выборе типа хомутов и устройства для их установки необходимо выполнить опытную проверку и оценить поперечные размеры ПТ после установки хомутов.

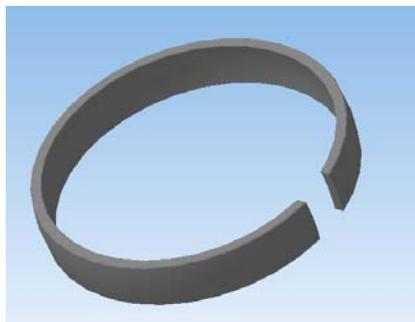


Рис. 4. Пружинное разрезное кольцо для установки на ОТВС



Рис. 5. Пневматическое устройство для установки хомутов на ОТВС



Рис. 6. Скрепление стальной ленты скобой

Разделка ОТВС с зазором между твэлами нижнего и верхнего ПТ менее 9 мм может быть выполнена по специальной технологии в следующей последовательности (рис.7):

- резка подвески над верхним хвостовиком;
- сьем верхнего хвостовика;
- резка несущего стержня над концевой решеткой верхнего ПТ;
- сьем верхнего ПТ с несущего стержня;
- резка несущего стержня над нижним ПТ;
- при необходимости, кантование нижнего ПТ.

Аналогичный способ был применен при разделке ОТВС с центральным закреплением твэлов на ПТ в защитной камере 2-го блока Ленинградской АЭС для отправки в НИИАР на исследования. Для реализации этой схемы потребуется захват несущего стержня и емкость ТРО для накопления и удаления фрагментов несущих стержней из защитной камеры отделения разделки.

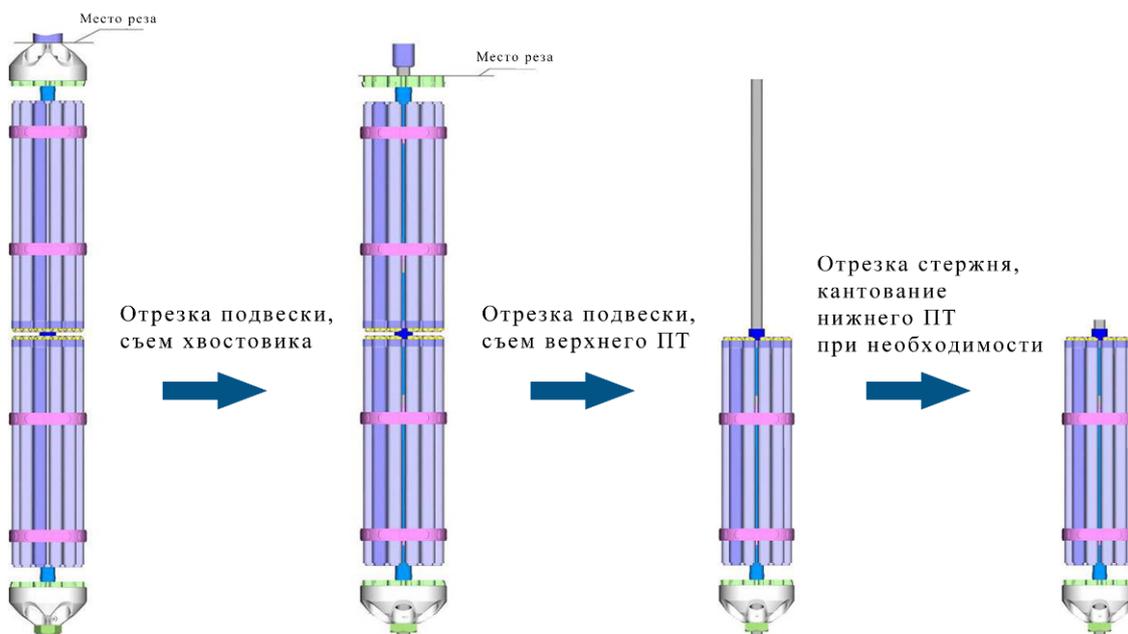


Рис. 7. Схема разделки ОТВС с зазором менее 9 мм между твэлами верхнего и нижнего ПТ

2.2. Подготовка и вывоз герметичных некондиционных ОТВС из пристанционных ХОЯТ с использованием ампул увеличенного диаметра

Для удаления из пристанционных ХОЯТ герметичных некондиционных ОТВС с повреждениями ДР, не подлежащих ремонту, а также в случае неудачного ремонта, необходимо разработать и внедрить технологию подготовки и вывоза их в ХОТ-2 и на завод РТ-1 ПО «Маяк» с использованием ампул увеличенного диаметра.

Поскольку хранение ОТВС в БВ ХОЯТ осуществляется в пеналах с внутренним диаметром 98 мм, увеличения диаметра ОТВС больше этой величины не ожидается. Пенал кантователя, в который помещается нижний ПТ при разделке ОТВС, также имеет внутренний диаметр 98 мм. Поэтому разделка герметичных некондиционных ОТВС с дефектами ДР может быть осуществлена аналогично разделке кондиционных ОТВС. В случае разрушения ДР на ОТВС должны быть установлены хомуты. Если диаметр ОТВС все же превысит внутренний диаметр пенала кантователя, то может быть применена технология разделки ОТВС без кантования нижнего ПТ.

Для вывоза ПТ герметичных некондиционных ОТВС целесообразно использовать негерметичные ампулы. Это позволит производить осушку ОЯТ в МБК с использованием имеющегося стенда, избежать проблем, связанных с накоплением радиолитического водорода, и организовать накопление и буферное хранение на АЭС перед отправкой. В свою очередь, возможность буферного хранения МБК с ОЯТ позволит устанавливать в защитной камере отделения разделки чехол с ампулами увеличенного диаметра вместо чехла для ТРО и производить разделку герметичных некондиционных ОТВС по мере их поступления. Вывоз герметичного некондиционного ОЯТ может быть организован аналогично вывозу кондиционного ОЯТ: порожние контейнеры привозят и оставляют на АЭС, а заполненные увозят. Для временного размещения ОЯТ потребуется поставка на каждую АЭС оборотных МБК с чехлами и ампулами увеличенного диаметра.

Вывоз ПТ герметичных некондиционных ОТВС, не подлежащих ремонту, в ампулах увеличенного диаметра в ХОТ-2 необходим вследствие того, что поставка некондиционного ОЯТ на завод РТ-1 ПО «Маяк» в объеме до 50 тонн в год позволит удалить с АЭС только 13 % выявляемых некондиционных ОТВС.

2.3. Подготовка и вывоз негерметичных ОТВС из ХОЯТ

Основная проблема разделки и вывоза негерметичных ОТВС заключается в возможности просыпи топлива в защитной камере при разделке и в МБК при перевозке. Поэтому для перевозки и временного хранения ПТ должны быть использованы невозвратные герметичные ампулы увеличенного диаметра. С целью снижения риска просыпи топлива разделка негерметичной ОТВС должна производиться без кантования нижнего ПТ, по схеме «снизу вверх». Для локализации возможной просыпи топлива в ампулах могут быть использованы воронка, устанавливаемая в горловину ампулы для нижнего ПТ (рис. 8), и чашка под твэлами верхнего ПТ (рис. 9). Размещение оборудования для локализации просыпи топлива в узле разделки ОТВС показано на рис. 10.

Для обеспечения безопасного обращения с негерметичными ОТВС потребуется существенная модернизация обеспечивающих систем отделений разделки, поэтому разделка и вывоз негерметичных ОТВС должны быть отложены до окончания разделки и вывоза герметичных ОТВС, то есть на период после 2030 года. Поскольку после 2030 года переработка ОЯТ на ПО «Маяк» не планируется, потребуется готовить негерметичные ОТВС к длительному сухому хранению и вывозить в ХОТ-2 на ГХК. Поэтому наряду с внедрением мер по локализации и сбору просыпей ОЯТ при модернизации отделения разделки потребуется внедрить технологию осушки ампул ПТ негерметичных ОТВС.

При условии повышения производительности модернизация отделений разделки с целью обеспечения разделки негерметичных ОТВС может быть выполнена в середине 2020-х годов после заполнения контейнерных хранилищ на АЭС. За время вывоза ОЯТ из контейнерных хранилищ можно выполнить модернизацию отделений разделки и до 2030 года вывезти часть негерметичных ОТВС на переработку на завод РТ-1.

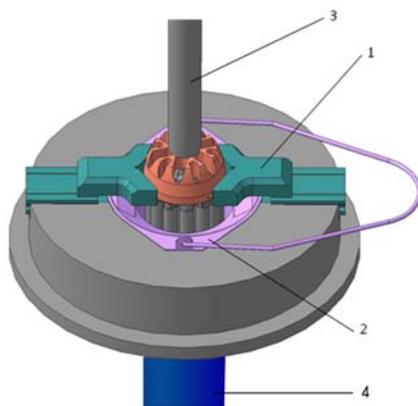


Рис. 8. Воронка в зажимном устройстве: 1 – кулачок; 2 – воронка; 3 – подвеска ОТВС; 4 – ампула

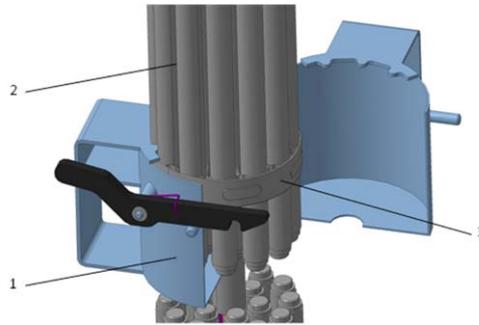


Рис. 9. Установка чашки на ДР верхнего ПТ: 1 – чашка; 2 – верхний пучок твэлов; 3 – ДР 11

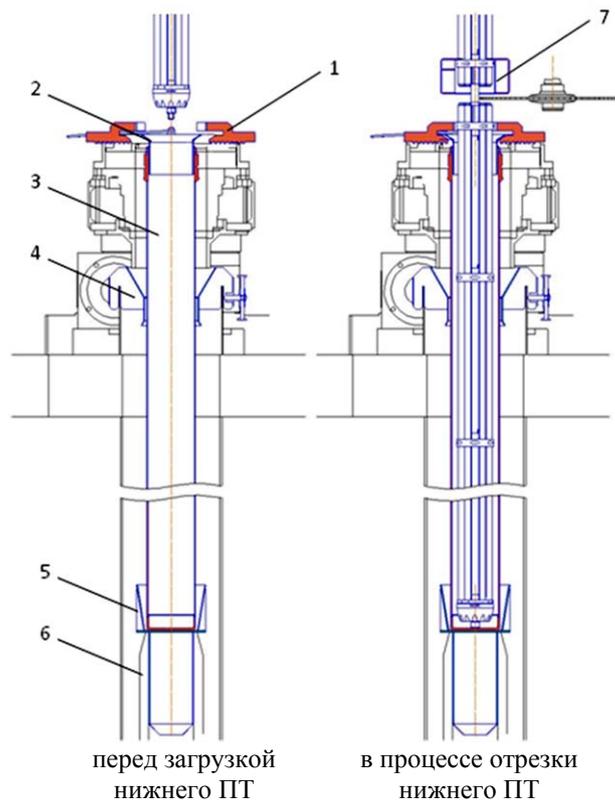


Рис. 10. Положение оборудования для локализации просыпи топлива в узле разделки ОТВС: 1 – кулачок; 2 – воронка; 3 – ампула; 4 – центратор верхний; 5 – центратор нижний; 6 – пенал кантователя; 7 – чашка

2.4. Перевозка негерметичных ОТВС с энергоблоков в ХОЯТ

На Ленинградской АЭС негерметичные ОТВС перевозят в ХОЯТ в ТК-8 со специальным чехлом и пеналами. После доставки ТК-8 в ХОЯТ пеналы с негерметичными ОТВС заполняют водой и размещают на хранение в БВ. Технология перевозки негерметичных ОТВС с энергоблоков в пристанционные ХОЯТ на Курской и Смоленской АЭС может быть усовершенствована по сравнению с применяемой на Ленинградской АЭС. При этом технологические и конструкторские решения должны быть направлены на решение следующих проблем:

- 1) локализация возможной просыпи топлива в специальном пенале при загрузке ОТВС в ТК-8, перевозке, выгрузке из ТК-8, хранении ОТВС в БВ ХОЯТ;
- 2) предотвращение протечки «грязной» воды из негерметичной ОТВС в контейнер ТК-8 и из контейнера ТК-8 в окружающую среду при перевозке;
- 3) предотвращение утечки «грязной» воды из пенала с негерметичной ОТВС в воду БВ ХОЯТ при хранении.

Указанные проблемы могут быть решены применением герметичного пенала для перевозки ОТВС и воронки, устанавливаемой в горловину пенала под «хобот» транспортного устройства (ТРУ) для локализации в пенале возможной просыпи ОЯТ при загрузке ОТВС.

2.5. Подготовка и вывоз аварийных и опытных ОТВС с энергоблоков

Проблема удаления аварийных ОТВС из БВ энергоблоков заключается в том, что из-за повреждений они не могут быть загружены в чехол ТК-8 с помощью ТрУ, перевезены в ХОЯТ и разделаны в отделении разделки. Для разделки опытных ОТВС с семиметровыми твэлами потребуется резать их «по топливу», что не предусмотрено в проекте отделения разделки.

Из-за малого количества аварийных и опытных ОТВС создавать вне АЭС специальный участок для их приема и подготовки к переработке, а также новый длинномерный ТУК для их перевозки не целесообразно. Поэтому разделка ОТВС на ПТ / фрагменты и подготовка к перевозке должны быть выполнены на энергоблоках. Поскольку резка опытных ОТВС «по топливу» неизбежна, необходимо предусмотреть меры по локализации и сбору просыпи топлива при разделке. Для удаления аварийных и опытных ОТВС с энергоблоков должна быть максимально использована существующая на АЭС инфраструктура и оборудование. Из-за разнообразия повреждений высокая скорость разделки и подготовки к перевозке аварийных ОТВС вряд ли сможет быть обеспечена, поэтому потребуется буферное хранение, а, следовательно, и осушка ОЯТ.

Для удаления аварийных и опытных ОТВС с АЭС может быть предложена следующая ТТС:

- извлечение ОТВС из пеналя (разделка пеналя при необходимости) в БВ энергоблока;
- разделка / фрагментация ОТВС на лотке в БВ энергоблока с помощью длинномерного инструмента с локализацией и сбором просыпей ОЯТ;
- упаковка ПТ / фрагментов в герметичные осушаемые ампулы диаметром до 200 мм на лотке в БВ энергоблока;
- дренаж и осушка ампул с ОЯТ на энергоблоке;
- временное технологическое (буферное) хранение ампул с ОЯТ в приреакторном БВ;
- загрузка ампул с ОЯТ в чехол ТК-8 со специальным чехлом с помощью перегрузочного контейнера и загрузочного устройства с поворотной плитой;
- перевозка ампул с ОЯТ в ХОЯТ;
- размещение и временное технологическое (буферное) хранение ампул с ОЯТ в БВ ХОЯТ;
- передача ампул с ОЯТ в отделение разделки ОТВС и загрузка в МБК ТУК-109 со специальным чехлом;
- временное технологическое (буферное) хранение ампул с ОЯТ в МБК ТУК-109;
- отправка ТУК с ОЯТ с АЭС.

Технология разделки аварийных и опытных ОТВС на лотке в БВ энергоблоков была разработана NUKEM Technologies для Игналинской АЭС. Для размещения ПТ и фрагментов ОТВС Игналинской АЭС с разными повреждениями и кривизной были разработаны пеналя с круглой и прямоугольной формой сечения. Для обеспечения возможности переработки на ПО «Маяк» ПТ и фрагменты поврежденных и опытных ОТВС РБМК российских АЭС потребуется помещать в ампулы диаметром не более 200 мм.

Предложенную схему можно применить на всех энергоблоках с РБМК-1000. Учитывая сложность подводной разделки ОТВС и необходимость выделения места для размещения оборудования, к подготовке и вывозу аварийных и опытных ОТВС с энергоблока можно будет приступить после его окончательного останова и удаления всех неповрежденных ОТВС из БВ. При разработке оборудования для разделки аварийных и опытных ОТВС целесообразно предусмотреть возможность передачи его с блока на блок. Аварийные и опытные ОТВС, подготовленные к вывозу до 2030 года, должны быть отправлены на переработку на завод РТ-1 ПО «Маяк». После 2030 года аварийные и опытные ОТВС потребуется отправлять в ХОТ-2 на ГХК.

Заключение

В рамках ФЦП выполнено обоснование целесообразности переработки некондиционного ОЯТ РБМК и разработаны технологические решения для перевозки ПТ негерметичных ОТВС на переработку (использование герметичных невозвратных ампул, исключение осушки ОЯТ при ограничении срока хранения ампул с ОЯТ и их количества в ТУК). Реализация пилотного проекта подтвердила возможность перевозки и переработки некондиционного ОЯТ РБМК.

Большая доля некондиционных ОТВС в ХОЯТ Ленинградской АЭС обусловила необходимость скорейшей разработки и внедрения специальных технологий подготовки и вывоза их на сухое хранение и переработку, в том числе, технологий устранения и компенсации повреждений конструктивных элементов ОТВС.

В связи с планируемым завершением приема и переработки ОЯТ на ПО «Маяк» к 2030 году потребуется разработка технологии перевода на сухое хранение и вывоза в ХОТ-2 для всех типов некондиционных ОТВС.

Для обеспечения работы энергоблоков Курской и Смоленской АЭС необходимо разработать и внедрить технологию безопасной перевозки негерметичных ОТВС в пристанционные ХОЯТ.

В рамках подготовки энергоблоков к выводу из эксплуатации целесообразно начать разработку технологии подводной разделки и вывоза на переработку и сухое хранение аварийных и опытных ОТВС.

Реализация предложенной схемы позволит вывезти все некондиционные ОТВС РБМК-1000 на сухое хранение в ХОТ-2 ГХК и на переработку на ПО «Маяк».

Список источников

[1] Концепция по обращению с отработавшим ядерным топливом Госкорпорации «Росатом». Утв. Приказом Госкорпорации «Росатом» от 29 декабря 2008 г. № 721.

[2] В.И. Калинин, В.Г. Крицкий, Н.В. Размашкин, и др. Технологический процесс перевода ОЯТ РБМК-1000 с «мокрого» на «сухое» хранение. / ОАО «Головной институт «ВНИПИЭТ». – С.-Петербург, 2010.

[3] Методика контроля состояния отработавших тепловыделяющих сборок РБМК-1000 при постановке на сухое хранение МТ 1.2.1.02.999.0002-2010. Утв. ОАО «Концерн Росэнергоатом» 10 февраля 2010 г.

[4] Федеральная целевая программа «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года». Утв. постановлением Правительства РФ от 13 июля 2007 г. № 444.

[5] Волк В.И., Хаперская А.В. Возврат урана из отработавшего топлива РБМК в ядерный топливный цикл. // Атомная энергия, т. 109, вып. 1, июль 2010.

[6] Бурлаков Е.В., Волк В.И., Дорофеев А.Н. и др. О перспективах и целесообразности переработки ОЯТ РБМК. // Сборник докладов VI международного ядерного форума «Безопасность ядерных технологий: правовое и кадровое обеспечение инновационного развития атомной отрасли», С.-Петербург, 26-30 сентября 2011 г. – С.45-54.

[7] Программа создания инфраструктуры и обращения с ОЯТ на 2011-2020 годы и на период до 2030 года. Утв. Госкорпорацией «Росатом» 29 ноября 2011 г.

[8] Комплексный анализ состояния ОТВС в ХОЯТ для продления срока эксплуатации зд.428 и перевода ОТВС на «сухое» хранение: Отчет. / ОАО «ГИ «ВНИПИЭТ» – Инв.№ 11-08427.