

Опыт обращения с поврежденным отработавшим ядерным топливом

С 19 по 22 марта в венской штаб-квартире МАГАТЭ прошло Международное совещание экспертов, посвященное оценке аварии на японской АЭС «Фукусима-1». Материалы к этому совещанию проходили строгий предварительный отбор. От России выступили три докладчика, в числе которых был директор Димитровградского филиала ООО НПФ «Сосны» Сергей Владимирович Комаров.

Experience in dealing with damaged spent nuclear fuel

From 19 to 22 March in Vienna headquarters of the IAEA the International Expert Meeting on Evaluation of Japanese nuclear power plant accident at Fukushima-1 passed. The materials for this meeting were selected strictly. There were three speakers from Russia, including the director of Dimitrovgrad Branch of Sosny R&D Company Sergey Komarov.

Л. Секе, начальник отдела АЭС «Пакш», Венгрия
В.П. Смирнов, научный руководитель ООО НПФ «Сосны», д. т. н., профессор
С.В. Комаров, директор Димитровградского филиала ООО НПФ «Сосны»
С.В. Амосов, ведущий инженер-технолог ООО НПФ «Сосны»
Е.А. Звир, заместитель начальника отдела НИР ООО НПФ «Сосны», к. т. н.

L. Seke, Head of department of Paks NPP, Hungary
V.P. Smirnov, scientific director of Sosny R&D Company, Doctor of Science, Professor
S.V. Komarov, director of Dimitrovgrad Branch of Sosny R&D Company Company
S.V. Amosov, a leading engineer of Sosny R&D Company
E.A. Zvir, Deputy Head of Research work department of Sosny R&D Company, Ph.D.

В реакторах ВВЭР-440, находящихся в Словакии, Чехии, Венгрии и Финляндии, поставляемых ОАО «ТВЭЛ», топливо работает надежно. Средний уровень разгерметизации твэлов за последние 5 лет составил $7,0 \cdot 10^{-7}$, что является одним из лучших показателей в мировой атомной энергетике.

В 2002 г. из-за наличия отложений в топливных кассетах реакторы блоков № 1–3 АЭС «Пакш» были переведены на эксплуатацию с пониженной мощностью.

Учитывая, что большинство РК и ТВС АРК, эксплуатирующихся на данных блоках, не выработали свой ресурс, АЭС «Пакш» было принято решение о проведении отмычки кассет с отложениями в период останова блоков на ППР для последующего возвращения их в активную зону реакторов.



Для отмычки кассет с отложениями на АЭС «Пакш» была использована западная технология, основным элементом которой является бак отмычки, который был размещен в колодце № 1 блока № 2 АЭС «Пакш». Отмычка ОТВС, размещаемых в баке, осуществлялась специальным раствором.

В апреле 2003 г. при промывке шестой партии, состоящей из 30 ОТВС, из-за нарушения в охлаждении после окончания операции химической отмычки произошел инцидент. При попытке снять крышку бака были зафиксированы значительные выбросы в спецвентиляцию, произошло увеличение мощности дозы вблизи колодца и увеличение объемной активности в воде бассейна выдержки. Обстановка с

ядерной безопасностью также была неясной. По воздействию на окружающую среду событие на АЭС могло быть отнесено по международной шкале ядерных событий к уровню 2. Однако после снятия крышки на основе анализа состояния ОТВС эксперты вынуждены были отнести данное событие к уровню 3 – «инциденты». Эксплуатация блока была приостановлена.

17 апреля 2003 г. руководство АЭС «Пакш» обратилось в ОАО «ТВЭЛ» с просьбой о помощи в ликвидации последствий данного инцидента. Для разработки предложений по ликвидации данного инцидента в России под руководством ОАО «ТВЭЛ» была создана рабочая группа, включающая ведущие предприятия отрасли: ОКБ «Гидро-

пресс», «ГИ «ВНИПИЭТ», РНЦ «Курчатовский институт, ОАО «ГНЦ – НИИАР», Озерский завод нестандартного оборудования, ОАО «МСЗ», ООО НПФ «Сосны» и ФГУП «ПО «Маяк» (как потенциальный грузополучатель отработавшего ядерного топлива).

Исследования, проведенные на ранней стадии проекта, показали, что практически все ОТВС в той или иной степени были разрушены. Однако в отличие от АЭС ТМ1-2 расплавления топлива в баке не было. Наибольшему разрушению подверглись ОТВС, расположенные в центральной части бака. Это пространство представляло собой нагромождение фрагментов твэлов и топливных таблеток, выпавших из оболочек. Нижние части ОТВС не претерпели видимых разрушений.

Российские предложения по ликвидации последствий разрушения ОТВС были приняты венгерской стороной, и в сентябре 2003 г. были начаты работы по разработке оборудования и технологии извлечения поврежденного топлива из бака очистки.

Задача заключалась в том, чтобы, соблюдая все требования безопасности, извлечь разрушенные фрагменты ОТВС из бака и перегрузить их в специальные пеналы, пригодные для хранения под водой на АЭС «Пакш» и обеспечивающие принципиальную возможность их транспортировки на переработку или сухое хранение. Для этого необходимо было силами российских и венгерских организаций выполнить большой объем конструкторских и технологических работ.

Эскизный и рабочий проекты рабочей площадки, оборудования, инструментов и пеналов для ОЯТ разрабатывались в ООО НПФ «Сосны». Разработанный комплект разнообразного инструмента для обращения с различными типами фрагментов ОТВС составил более 100 наименований. Был также создан комплекс вспомогательного оборудования, включающий системы видеонаблюдения и системы непрерывного радиационного контроля обстановки на рабочей площадке.

Наиболее сложным элементом оборудования являлась рабочая площадка. Технический проект рабочей площадки разрабатывался в ОКБ «Гидропресс», а сама рабочая площадка и крупногабаритное оборудование были изготовлены и испытаны на Урале – на Озерском заводе нестандартного оборудования.

С целью отладки технологии и обучения персонала макет рабочей площадки необходимое оборудование и инструмент были изготовлены, смонтированы и испытаны в ОАО «ГНЦ НИИАР».

Наиболее сложным и ответственным элементом технологии перетаривания ОЯТ оказались пеналы. Первоначально предполагалось разработать герметичный пенал, предотвращающий выход продуктов деления в воду бассейна в течение всего периода хранения. Однако изучение опыта по обращению с разрушенным топливом реактора ТМ1-2 и проведенные расчеты скорости образования радиолитического водорода показали, что такой пенал создать невозможно. Использование катализаторов для окисления радиолитического водорода и снижения его объемной концентрации внутри пеналов также оказалось неприемлемым. В качестве компромиссного решения были разработаны негерметичные водонаполненные пеналы, внутренняя полость которых соединялась с водой бассейна выдержки с помощью специального устройства – компенсатора. Компенсатор обеспечивал отвод из пенала газообразных продуктов, образующихся при радиолитическом водороде, и предотвращал выход растворенных в воде пенала радионуклидов в воду БВ в течение расчетного срока хранения. С его помощью также можно было обеспечить подпитку пенала водой БВ для компенсации потерь воды на радиолитиз. При этом компенсатор устанавливался на крышку пенала после его размещения в бассейне выдержки. Пеналы для ОЯТ изготовили и испытали в г. Электросталь на ОАО «МСЗ».

Обучение персонала проводилось на макете рабочей площадки в ОАО «ГНЦ НИИАР» и на реальной площадке, установленной на АЭС «Пакш». Весь процесс монтажа рабочей площадки в баке отмычки блока № 2 и отладки оборудования проходил при непосредственном участии и под техническим руководством российских специалистов.

После получения разрешения надзорных органов Венгрии в октябре 2006 г. были начаты практические работы по разборке содержимого бака очистки. На станцию были командированы специально подготовленные сотрудники российских предприятий. Операторы, находясь на рабочей площадке, установленной в колодце, проводили работы по дистанционному удалению фрагментов ОТВС с использованием длинномерных инструментов. С помощью телекамер, установленных в зоне работ, производилось непрерывное наблюдение за ходом выполнения работ и видеозапись событий. Для обеспечения ядерной безопасности при выполнении всех операций с топливом в бассейне осуществлялся непрерывный контроль нейтронного потока и оценка подкритичности.

Топливные фрагменты ОТВС, отдельные куски твэлов, а также ОЯТ в балкформе помещались в пеналы. Головки и хвостовики отделялись от топливной части и помещались в емкость для твердых радиоактивных отходов. В процессе работ велся строгий учет ОЯТ путем его взвешивания перед загрузкой в пеналы.

Основные этапы выполнения работ заключались в следующем:

- в первую очередь была проведена очистка верхней плиты бака от фрагментов ОТВС и твэлов, которые перегружались пеналы. Головки ОТВС отделялись от топливной части и размещались в емкостях для ТРО;
- затем была проведена очистка центральной части бака от ОЯТ, представляющего собой «завал» из фрагментов твэлов, с помощью устройства типа «грейфер» и манипуляторов;
- далее последовательно удалялись фрагменты верхней плиты и располо-



женные под ними фрагменты ОТВС. На этом этапе был обеспечен доступ к нижним частям ОТВС, которые удалялись с помощью силового захвата и устанавливались в устройство резки, где производилось отделение хвостовика от топливной части;

- удаление ОЯТ в балк-форме и фрагментов ОТВС с нижней плиты бака очистки выполнялось так же, как и с верхней плиты;
- после освобождения необходимого пространства производилось высверливание и удаление центральной части нижней плиты;
- после удаления из-под нижней плиты ОЯТ в балк-форме были удалены все оставшиеся фрагменты ОТВС и продолжено удаление ОЯТ в балк-форме;
- в итоге на дне бака оставалось незначительное количество ОЯТ, которое было позднее также удалено с помощью системы «водосос».

Большую сложность вызывало наличие в баке массивной дистанционирующей плиты, в которой плотно сидели распухшие после теплового удара ОТВС. Эту плиту в конечном счете раз-

резали на несколько фрагментов и удалили. Для окончательной зачистки бака возникла необходимость вскрыть нижнюю массивную плиту, что было сделано с помощью корончатого сверления специально разработанной пневматической сверлильной машиной.

резали на несколько фрагментов и удалили. Для окончательной зачистки бака возникла необходимость вскрыть нижнюю массивную плиту, что было сделано с помощью корончатого сверления специально разработанной пневматической сверлильной машиной.

Практические работы по ликвидации последствий инцидента в колодце № 1 блока № 2 АЭС «Пакш» были завершены в марте 2007 г.

В процессе выполнения практических работ контроль радиационной безопасности персонала осуществлялся в полном соответствии с нормами и правилами, действующими в России и Венгрии. Максимальная индивидуальная доза за весь период работ не превысила 10% годового предела дозы, а средняя – не более 5%.

Работа была выполнена в запланированные сроки, в полном объеме и на высоком научно-техническом уровне. В результате работы из бака было удалено более 5 тонн ОЯТ. Блок № 2 АЭС «Пакш» в конце декабря 2006 г. был выведен на минимальный контролируемый уровень, а с начала января 2007 г. был запущен на номинальную мощность.

В настоящее время дефектное ОЯТ 30 разрушенных ТВС, загруженное в вентилируемые пеналы, размещено на временное хранение в бассейне АЭС «Пакш». Оптимальным, с учетом состояния топлива, является решение о переработке ОЯТ в России.

При транспортировании влажного дефектного ОЯТ в герметичных пеналах радиолит оставшейся в пенале воды приводит к повышению давления

из пеналов и осушки ОЯТ. Отработка проводилась на уменьшенных по высоте макетах пеналов, загруженных облученным топливом ВВЭР-440, и на полномасштабных пеналах, загруженных имитаторами ОЯТ.

Для определения количества остаточной влаги в пенале, которое гарантировало бы безопасность на всех этапах обращения, проведены экспериментальные исследования, моделирующие хранение разрушенного ОЯТ в герметичном пенале после различных способов удаления воды. В экспериментах использовалось топливо из отработавших ТВС ВВЭР-440. В экспериментах получены скорости выхода водорода, кислорода и газообразных продуктов деления в свободный объем пенала в зависимости от количества оставшейся воды и температуры окружающей среды. Данные результаты являются консервативными по отношению к топливу АЭС «Пакш», загруженному в пеналы.

С учетом оценок временных затрат и дозовых нагрузок на персонал, а также количества образующихся РАО оптимальным способом признана термовакуумная сушка без предварительного слива воды из пеналов.

В результате разработана принципиальная технология подготовки пеналов к перевозке на переработку во ФГУП «ПО «Маяк», согласно которой для обеспечения безопасных условий транспортирования пеналы с ОЯТ должны быть осушены, заполнены инертным газом и герметизированы.

В настоящее время работы по подготовке ОЯТ к вывозу с АЭС «Пакш» в Российскую Федерацию с участием российских и венгерских специалистов продолжаются.

Опыт обращения с разрушенным ОЯТ АЭС «Пакш» позволяет отметить следующие основные особенности:

- технология извлечения поврежденного ОЯТ из бассейна требует разработки уникальных дистанционных инструментов в каждом конкретном случае;
- наиболее важными являются вопросы обеспечения безопасности при выполнении работ;
- одним из наиболее важных вопросов обеспечения безопасности при хранении и перевозке поврежденного ОЯТ является обеспечение пожаро- и взрывобезопасности;
- для корректного обоснования пожаро- и взрывобезопасности обращения с поврежденным ОЯТ требуются экспериментальные данные.

Накопленный опыт может быть использован при ликвидации последствий аварии на АЭС «Фукусима».

