

ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ И ИЗВЛЕЧЕНИЕ ШЛАМОВ И ОСАДКОВ

J. Rezbarik, AllDeco, Slovak Republic

1. ВВЕДЕНИЕ

1.1 Описание АЭС А-1

Основные характеристики

АЭС А-1 с гетерогенным реактором на тепловых нейтронах была спроектирована для электрической мощности 143 МВт(эл). Топливом являлся природный металлический уран, замедлителем была тяжелая вода, и охладителем служил углекислый газ.

Первый контур состоял из шести петель, каждая из них из одного парогенератора, турбокомпрессора и двух параллельных линий – холодной и горячей. Три охлаждающих контура, каждый из них состоял из двух теплообменников и одного тяжеловодного насоса, обеспечивали охлаждение замедлителя.

Отдельную часть электростанции представляли установки для сбора топливных сборок, а также установки для транспортной технологии, обеспечивающие обращение со свежим и отработанным топливом, а также все операции, включая охлаждение и хранение отработанного топлива.

Три турбогенератора, мощностью 50 МВт каждый, представляли основное оборудование второго контура.

Краткая история

Строительство АЭС началось в 1958 г., и реактор первый раз достиг критичности в 1972 г. А-1 была сконструирована как экспериментальная демонстрационная установка, и все основные компоненты являлись прототипами. Несмотря на это, АЭС была подключена к энергетической системе страны с заданными требованиями на производство электрической энергии. АЭС эксплуатировалась с несколькими перерывами в течение 5 лет. В течение эксплуатации реактора произошли две серьезные аварии; после второй из них, в 1977 г. (INES степень 4), реактор был остановлен.

Обе аварии привели к повреждению нескольких топливных сборок со значительным локальным повреждением оболочек топливных элементов. Вследствие этого, внутренняя поверхность первого контура (прежде всего парогенераторов) была в заметной мере загрязнена продуктами деления и долгоживущими альфа-нуклидами.

При второй аварии был загрязнен также тяжеловодный контур – поверхность испарительной установки системы очистки замедлителя представляет участок с самым высоким загрязнением. Протечки замедлителя и охладителя, содержащие продукты деления, через неплотные, корродированные парогенераторы привели к небольшому загрязнению второго контура.

Повторный запуск АЭС после аварии требовал принципиальный ремонт внутренних частей реактора, замену парогенераторов и некоторых других поврежденных или неправильно работающих установок и систем. Техно-экономическая оценка подтвердила неэффективность такого ремонта и модернизации АЭС А-1, и поэтому с 1979 г. было начато ее снятие из эксплуатации.

Современная обстановка

В 1992 г. правительство Словакии приняло концепцию и рабочий план по снятию АЭС А-1 с эксплуатации, однако, лицензия для первого этапа работ была выдана только в 1999 г. Работы по проекту снятия с эксплуатации идут, и их окончание ожидается в 2049 г. Первый этап работ должен быть выполнен в 2007 г. и его целью является достижение радиационно-безопасного состояния, когда топливо вывезено с АЭС и риск неконтролируемой утечки радиоактивности в окружающую среду исключен. Дезактивация установок первого контура, вспомогательных систем и других сильно загрязненных объектов АЭС имеют на этом этапе высший приоритет.

Учитывая очень высокие мощности доз от оборудования, а также поверхностное загрязнение установок с высоким содержанием альфа-нуклидов, дезактивация и снятие из эксплуатации АЭС А-1 представляет собой сложную, долговременную и дорогую процедуру.

1.2 Общая стратегия проведения дезактивационных работ

Дезактивация в процессе снятия АЭС с эксплуатации включает, как правило, необычные и нестандартные работы.

Первый этап при дезактивации всех объектов представляет собой тщательный контроль радиационной обстановки и изучение типа и характеристик присутствующих радиоактивных отходов. Измерение дозовых нагрузок в помещениях с технологическим оборудованием, которое предназначено для снятия с эксплуатации, производится по горизонтальным участкам размером 0,5 x 0,5 м на различной высоте. Был разработан метод моделирования радиационных полей с использованием величин дозовых нагрузок. Необходимо идентифицировать и провести локализацию главных источников излучения. При мониторинге полей с высоким уровнем доз излучения применяются дистанционно управляемые механические манипуляторы и электрические тележки с телеметрическим способом передачи данных, оборудованные инструментами для определения доз.

Радиационный контроль включает также измерение нефиксированного поверхностного загрязнения, отбор и анализ проб шламов и осадков.

Осмотр внутренних и внешних поверхностей, а также контроль оборудования с использованием телекамеры играют важную роль и часто применяются. Полученная информация сравнивается с проектными данными и чертежами и с использованием всех этих данных готовится трехмерная визуализация соответствующих помещений и оборудования. Значительное увеличение безопасности и эффективности демонтажа достигается при применении трехмерной визуализации помещений, использовании расчета скоростей резки материала и точном планировании резки материала для каждой рабочей смены и каждой группы.

План рабочих процедур тщательно анализируется с использованием фактических данных об обстановке в рабочих помещениях. Исходя из цели и критериев по проведению работ, подбирается наиболее эффективная процедура. Рабочий план состоит из нескольких этапов, подэтапов и конкретных действий в зависимости от сложности общей процедуры. Коллективные дозы излучения а также максимальные индивидуальные дозовые эквиваленты рассчитываются на основе модели распределения мощностей доз в рабочем помещении с использованием программы ALPLANNER.

Применение принципа ALARA и оптимизация радиационной защиты влияют на организацию работ. Большая часть работ осуществляется в подготовительном этапе. Неактивные испытания принципиальных операций на полномасштабных моделях, применяемые на подготовительном этапе, выгодны экономически а также с точки зрения подготовки персонала и его радиационной защиты. Такой же принцип неактивных тестов и подготовки персонала применяется и в подготовке вспомогательных операций, как например, транспорт высокоактивных отходов.

При планировании работ уделяется внимание также минимизации образования вторичных отходов. Подбор подходящего метода дезактивации, при котором образуется минимальное количество радиоактивных отходов, представляет высокий приоритет вместе с временем необходимым для разработки метода дезактивации, конструкции оборудования и подготовки персонала.

Работы по дезактивации начинаются после согласования рабочей программы. Данные, важные с точки зрения радиационной безопасности и ALARA, регулярно собираются, анализируются и регистрируются в течение работ. Основные данные, а также полученный опыт включаются в заключительный отчет по проведенным работам.

2. ПРИМЕРЫ ПРОВЕДЕННЫХ РАБОТ И НАКОПЛЕННЫЙ ОПЫТ

2.1 Дезактивация горячей камеры АЭС А-1

Во время эксплуатации АЭС А-1 для выполнения некоторых дистанционных работ с высокоактивными предметами (демонтаж топливных сборок, отбор проб из топливных элементов, манипуляция с пенами, содержащими радиоизотопы) применялась горячая камера. При такого рода работах возникают мелкоразмерные радиоактивные отходы и последующее загрязнение строительных материалов камеры а также всего технологического оборудования в камере.

Радиационным контролем были определены дозовые нагрузки в масштабе $5 - 200$ мГр/ч и поверхностное загрязнение до 10 МБк/см² (на полу). Соотношение ¹³⁷Cs и трансурановых элементов (Am, Pu) было определено в масштабе от $100 : 1$ до $2 : 1$ для нефиксированного загрязнения.

Дезактивация горячей камеры проводится в первой половине 2004 г. Сложная радиационная обстановка в камере не позволяет прямой доступ персонала во внутреннее пространство камеры. Поэтому для дезактивации камеры необходимо применять дистанционно управляемые манипуляторы. Конструкция манипулятора позволяет его установку через отверстие в защитной доске, составляющей пол реакторного зала. Стрела манипулятора достигает все места дезактивируемой поверхности. При дезактивации используется обрызгивание водой под давлением в комбинации с дезактивационным гелем. Дезактивационные сопла прикреплены к концу стрелы манипулятора. Составной частью дистанционно управляемого манипулятора является также контрольная система с телекамерой, позволяющая оператору управлять манипулятором с пульта управления и осуществить таким образом все требуемые операции.

Подобранные рабочие процедуры обеспечивают минимизацию внешних и внутренних доз для персонала. Перед началом дезактивации была проведена подготовительная фаза, состоящая в испытании и оптимизации дезактивационного оборудования и процесса на модельном стенде в масштабе 1:1 (Рис. 1). Стенд был также использован для подготовки отдельных шагов при практическом обучении персонала.



Рис. 1. Манипулятор для дезактивации горячей камеры на стенде

2.2 Дезактивация баков на АЭС А-1

В баках, содержащих жидкие радиоактивные отходы, постепенно образуется нерастворимый шлам, который осаждается на дне баков. За счет некоторых свойств шлама (как напр. тиксотропность, липкость, высокая скорость осаждения), относительно большая доля шламов остается в баках даже в случае, когда дренажная труба помещена на дне бака. При этом большинство радиоактивных веществ накапливается в шламе.

Операции с радиоактивными шламами представляют серьезную проблему в связи с их:

- высокой удельной активностью (от 10^8 до 10^9 Бк/кг по гамма излучению. Как правило, альфа-активность - на два три порядка и бета активность - на один два порядка меньше, в зависимости от источника шламов);
- неподходящие свойства с точки зрения манипуляции, как напр. тиксотропность, липкость, неомогенность, высокая скорость осаждения, содержание 20 – 50 % масс. твердой фазы.

Вынимание шламов из баков принадлежит к более сложным операциям. В основном используются два подхода:

- перемешать или суспендировать отходы в жидкости так, что откачку из бака можно осуществить при помощи насоса (если бак небольшой и без ловушек);
- вынимать отходы с использованием транспортной установки, размещенной на поверхности отходов.

Несколько баков для сбора и манипуляции отходов было дезактивировано на АЭС А-1 (баки для сбора и манипуляции отходов из углеродистой стали, специальная система дренажа из нержавеющей стали, баки для нейтрализации, осаждения, и тд.). Как правило, баки представляют собой горизонтальные цилиндрические сосуды диаметром 1200 – 1500 мм, длиной 2300 – 4500 мм и внутренним объемом 2,6 – 6 м³.

Осуществление дезактивации этих объектов осложняли высокие радиационные поля в близости баков. Контактные дозовые нагрузки достигали величин порядка 150 мГр/ч.

Таким образом, первым шагом было создание защитной стенки около объектов, состоящей из модулей заполненных металлическими гранулами.

Для удаления шламов из баков был применен эжекторный насос. Всасывающее давление в эжекторе достигалось водой под высоким давлением. Всасывающая ветка расположена на дне бака, и выхлопная часть прикреплена к сборной бочке. Всасывающая ветка эжектора перемещается около дна бака при помощи простого манипулятора и шлам непрерывно откачивается в 60 л бочки, размещенные вне помещения баков. Затем шлам подготавливается к отверждению в SIAL матрице прямо в бочках.

Поверхностное загрязнение и осадки на внутренних поверхностях накопительных баков снимаются обрызгиванием водой под высоким давлением или методом химической дезактивации с использованием простой установки с циркулирующим дезактивационным раствором. С целью минимизации образования вторичных отходов, накопительный бак не полностью заполняется дезактивационным раствором. Для этого стенки бака обрызгиваются минимальным количеством раствора, который собирается на дне бака, откачивается при помощи насоса и повторно используется для дезактивации. Обрызгивание поверхности осуществляется при помощи сопел, фиксированных в различных направлениях к головке, вращающейся за счет реактивной силы, возникающей при проточке жидкости через сопла (Рис. 2).



Рис. 2. Внутренние поверхности баков до и после дезактивации

2.3 Дезактивация помещений на АЭС А-1

В связи с утечками высокоактивных сред из технологических установок наблюдается значительное радиоактивное загрязнение стен и внешних поверхностей технологического оборудования. Например, при подготовке неподвижных топливных сборок к транспортировке на перерабатывающий завод, произошла утечка около 100 л высокоактивной охлаждающей среды (хромпик) на пол реакторного зала и затем в помещения, находящиеся под реакторным залом, что привело к обширному загрязнению строительных конструкций, оборудования и предметов, находящихся в этих местах. Радиационная обстановка в помещениях (40 – 400 мГр/ч) не позволяла доступ персонала в эти помещения. Поэтому входной контроль, выгрузка материала и дезактивация поверхностей проводились при помощи дистанционно управляемых манипуляторов, контролируемых телекамерами.

Из-за отсутствия системы переработки вторичных отходов на АЭС А-1 впоследствии в некоторых помещениях размещались различные предметы и части установок, которые были при выше описанном происшествии также в высокой степени загрязнены.

Для выгрузки материалов, размещенных в комнате No. 459, до их дезактивации использовалась дистанционно управляемая установка с присоединенным манипулятором. Детали постепенно выгружались из комнаты и размещались в транспортный контейнер. Центр контроля загрязнения был размещен в месте с низким фоном, откуда операторы также контролировали и управляли передвижную установку и манипулятор с использованием дистанционного управления и телекамеры с беспроводной передачей сигнала. Выгрузка примерно 120 штук деталей была осуществлена в течение 20 рабочих смен (каждая по 4 часа чистого рабочего времени). Доза персонала была минимальной.

После выгрузки материала, пол, как правило, остается наиболее загрязненной частью помещения. Другая дистанционно управляемая установка DOV-Deco со сменными дезактивационными головками была применена для дезактивации пола (Рис. 3).

DOV-Deco оснащена тележкой с четырьмя колесами, позволяющими движение вперед, назад, направо и налево. Тележка соединена с пультом управления кабелем. Тележка также оснащена телекамерой, сигнал которой передается на экран на пульте управления.

Для дезактивации больших горизонтальных площадок, покрытых водостойкой краской, установка оснащена оборудованием, выполняющим две задачи – эффективную дезактивацию водой под высоким давлением и одновременно контролируруемую откачку использованной воды и контаминанта вакуумным насосом. Система воды высокого давления использует эжекторные сопла с расходом до 16 л/мин и давлением до 250 атм. Сбросная вода с контаминантом отсасывается вакуумной системой и собирается в сборной бочке, подключенной к вакуумной системе. Насос и уплотнения насоса обеспечивают работу системы без утечек среды.

В случае бетонного пола, где радиоактивное загрязнение проникло в поры бетона, дезактивация проводится с использованием установки DOV-Deco со шлифовальной головкой и отсосом. Отшлифованный загрязненный бетон отсасывается вакуумной системой и собирается в сборной бочке с циклоном, интегрированным с системой отсоса и оснащенный НЕРА фильтром.

После повторной дезактивации пола установкой DOV-Deco, остаточное загрязнение падает до уровня 3 Бк/см² из начальных величин 10⁶ Бк/см².

2.4 Контроль и отбор проб из больших баков АЭС Дукованы

В 2003 г. была подготовлена и осуществлена программа осмотров при помощи телекамеры, радиационного контроля, а также отбора проб из четырех крупных баков TW на АЭС Дукованы. В цилиндрических баках (диаметр 9 м, высота 7 м) до уровня 2-3 м находится суспензия состоящая из шламов, ионообменных смол и других веществ.

Пробы отбирались через круглое отверстие (диаметр 600 мм) в верхней части баков с 8 – 10 позиций в каждом баке. При помощи дистанционно управляемой установки в каждой позиции отбирались как минимум три пробы по высоте осадка. Слои шламов и ионо-обменников отличались, материал был после 15 лет выдержки густой или даже твердый.

Для выбора и проверки технологии переработки (отверждения) этих отходов применялись результаты альфа-, бета- и гамма-анализов, оптической микроскопии и лазерного спектрального анализа по содержанию элементов.

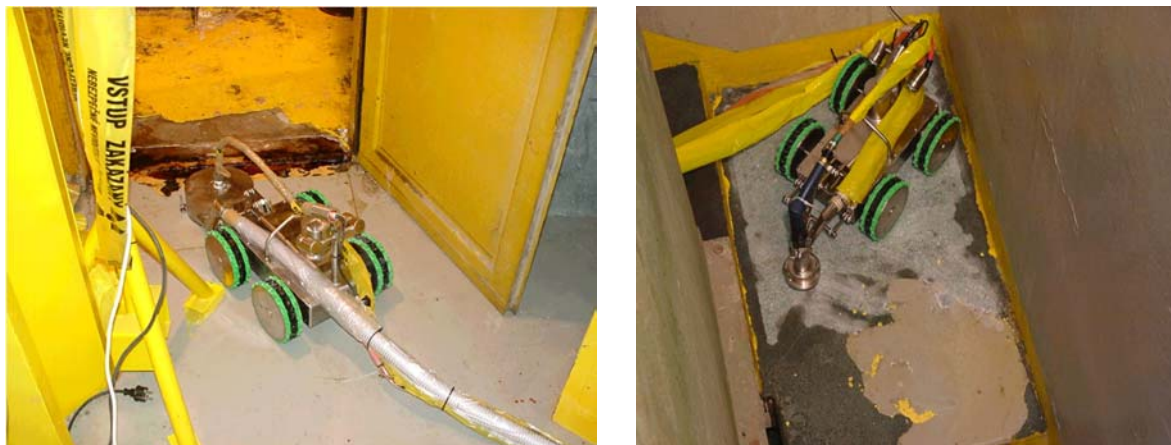


Рис. 3. Дистанционно управляемая установка DOV-Deco с обменными дезактивационными головками

2.5 Чистка днища корпуса реактора ВВЭР-440

В течение эксплуатации реактора на дне корпуса реактора образуются осадки, состоящие из твердых частиц или шламов, содержащих продукты коррозии, стальные опилки, маленькие кусочки активированного металла, пластмассы и текстильных материалов, остатки смазочных материалов, химикаты и т.д. Их присутствие мешает нормальному дефектоскопическому контролю днища корпуса реактора во время остановки реактора. До недавнего времени применяемый метод откачки при помощи насоса не гарантировал полное удаление этих загрязнений со дна реактора. Кроме того, при перекачке эти активные включения осаждались в нижних частях трубопроводов и баков, что приводило к ухудшению радиационной обстановки в соответствующих технологических помещениях.

Новый метод чистки дна реактора основан на принципе эжекторной откачки загрязнений с их последующим захватом на двухступенчатом фильтре с экраном. Отсасывающая система прикреплена к вращающейся дистанционно управляемой экранированной площадке, которая крепится на плоскость разъема реактора. Вращающаяся площадка служит для обеспечения систематического движения сопла эжектора по целой площади дна реакторного бака. Процесс чистки и движение сопла управляется с центрального пульта и контролируется подводной радиационно-стойкой телекамерой (Рис. 4). Таким путем была реализована чистка днища корпуса реактора уже 4 раза.

Из материала, захваченного на экранированном фильтре, отбираются пробы загрязнений, которые подвергаются следующим анализам в лаборатории:

- измерение мощности дозы на поверхности упаковки;
- макроструктура отдельных проб;
- отбор нетипичных объектов;
- измерение мощности дозы от выбранных объектов;
- взвешивание выбранных объектов;

- документация выбранных объектов;
- гамма спектрометрический анализ выбранных объектов.

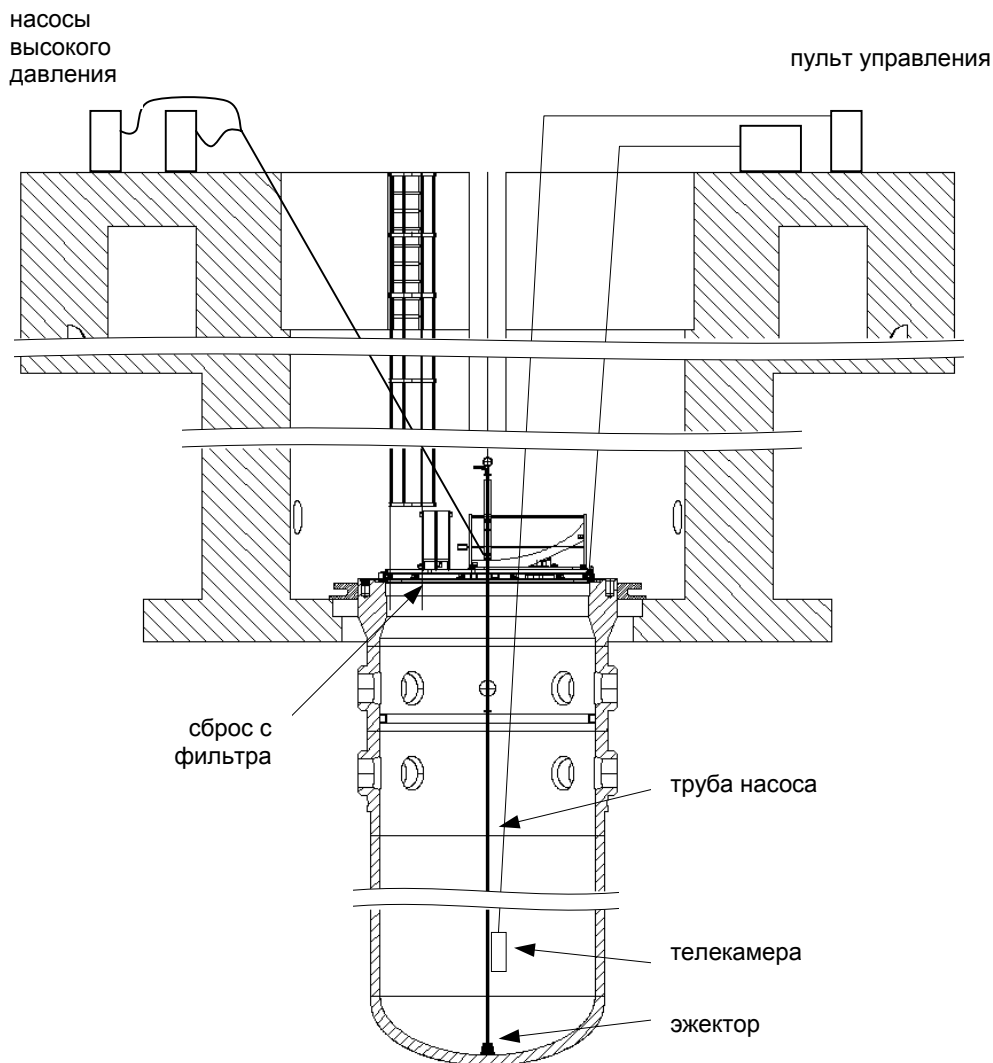


Рис. 4. Схема установки и процесса для чистки дна корпуса реактора

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Извлечение и устранение радиоактивных шламов, а также твердых осадков из различных объектов АЭС представляет собой важную проблему. Контроль, характеристика, осуществление неактивных испытаний и применение дистанционно-управляемых установок должно внести вклад в решение этих проблем.