

использование различных норм оценки качества результатов контроля на стадиях изготовления и эксплуатации, при этом на стадии эксплуатации допуск больших по размеру несплошностей, чем при изготовлении, по аналогии с западными кодами (ASME XI, KTA 3201.4, RSE-M).

Подходы к организации контроля состояния основного металла, металла сварных соединений и наплавов оборудования, трубопроводов и других элементов в процессе монтажа, эксплуатации, ремонта, замены и модернизации, изложенные в настоящей статье, реализуются почти во всех вновь проектируемых реакторных установках.

В настоящее время по заказу Концерна «Росэнергоатом» в НИКИЭТе начата разработка проекта норм и правил контроля основного металла, сварных соединений и наплавленных поверхностей при эксплуатации оборудования,

трубопроводов и других элементов АС, определяющих требования к эксплуатационному контролю состояния металла оборудования, трубопроводов и элементов АЭС. Этот документ уровня федеральных норм и правил будет учитывать рекомендации международных организаций в области использования атомной энергии, в работе которых принимает участие наша страна.

Разработка и применение нового документа должны привести к ослаблению требований контроля при эксплуатации АЭС за счет усиления требований к контролю на стадии изготовления и монтажа, применения концепции риска при разработке программ контроля, аттестации и оценки эффективности контроля состояния металла в процессе эксплуатации АЭС, разработки норм дефектов без ремонта или замены оборудования, не влияющих на его безопасную эксплуатацию.

УДК 621.039.7

ВЫВОД ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЯДЕРНЫХ И РАДИАЦИОННО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ, ОБРАЩЕНИЕ С ОТРАБОТАВШИМ ЯДЕРНЫМ ТОПЛИВОМ И РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ

Роменков А.А., Ярмоленко О.А., Андреева Л.А., Ермошин Ф.Е., Туктаров М.А., Семенихин В.И., Уфаев Н.Н. (ОАО «НИКИЭТ», г. Москва)

Развитие крупномасштабной ядерной энергетики невозможно без вывода из эксплуатации отслуживших свой срок ядерных и радиационно опасных объектов, обращения с облученным ядерным топливом и радиоактивными отходами. Стратегические задачи Госкорпорации «Росатом» предусматривают вывод из эксплуатации ядерных и радиационно опасных объектов, обращение с облученным топливом и радиоактивными отходами по нескольким направлениям:

обеспечение ядерной и радиационной безопасности мест хранения облученного топлива и отходов;

обращение с облученным топливом и отходами;

создание инфраструктуры по переработке облученного топлива и хранению отходов.

В 2008 г. в Госкорпорации «Росатом» была принята Концепция вывода из эксплуатации ядерных установок, радиационных источников и

пунктов хранения, предусматривающая различные варианты: ликвидация, создание объекта окончательной изоляции (захоронения) на месте выводимого из эксплуатации (консервация), конверсия.

Ядерные и радиационно опасные объекты на АЭС, в основном, подлежат ликвидации с возможностью использования площадки для строительства новых атомных блоков. Применительно к промышленным уран-графитовым реакторам принято решение об их захоронении на месте расположения с созданием барьеров безопасности, предотвращающих выход опасных радионуклидов в окружающую среду.

В 2002 г. после инцидента с разгерметизацией бассейна выдержки облученного топлива остановленных реакторов АМБ Белоярской АЭС НИКИЭТ разработал программу удаления просыпей топлива с 1-го и 2-го энергоблоков, в которой подтверждается необходимость комплексного обоснования безопасности и намечены

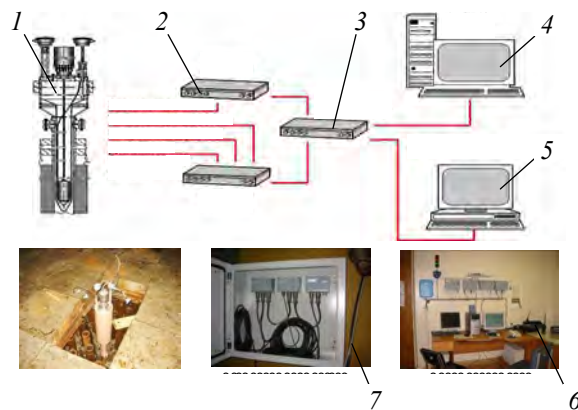
основные пути ее повышения. В соответствии с программой разработан проект герметизации блоков, создана система контроля безопасности за счет введения в реакторное пространство измерительных подвесок, проработаны проекты и выполнены НИОКР по очистке приреакторных шахт, удалению длинномерных металлических радиоактивных отходов, графитовых отходов из помещений первой очереди Белоярской АЭС в хранилище сухих отходов. Суммарная доза облучения персонала во время подготовительных работ и герметизации составила 38 мЗв, что существенно ниже расчетных (по техническому проекту 140—180 мЗв). Такое снижение дозовой нагрузки обусловлено, в первую очередь, использованием защитной машины герметизации, введенной в проект на стадии проектирования (рис. 1). В результате реализации проекта герметизации реакторного пространства 1-го энергоблока была исключена возможная аварийная ситуация с перераспределением просыпей топлива в кладке и образованием локальной критической массы за счет попадания воды в кладку. Кроме того, результатом герметизации явилось снижение выброса радиоактивных аэрозолей из центрального зала № 1 примерно на 30%.

В 2003—2004 гг. НИКИЭТ разработал технический проект контроля реакторного пространства первых двух блоков Белоярской АЭС. К разработке были привлечены организации-исполнители ГНЦ РФ — ФЭИ и НПП «Доза».

Контроль реакторного пространства отслеживает стационарное во времени состояние просыпей топлива в герметизируемых реакторных пространствах первых двух энергоблоков на этапе их временной выдержки и сохранения под наблюдением (рис. 2). В соответствии с проек-



Р и с. 1. Машина герметизации реакторного пространства 1-го энергоблока Белоярской АЭС



Р и с. 2. Система контроля реакторного пространства оставленных энергоблоков Белоярской АЭС: 1 — измерительная подвеска; 2 — первичный блок обработки; 3 — коммутатор; 4 — сервер; 5 — рабочее место оператора; 6 — пульт управления; 7 — вторичная аппаратура

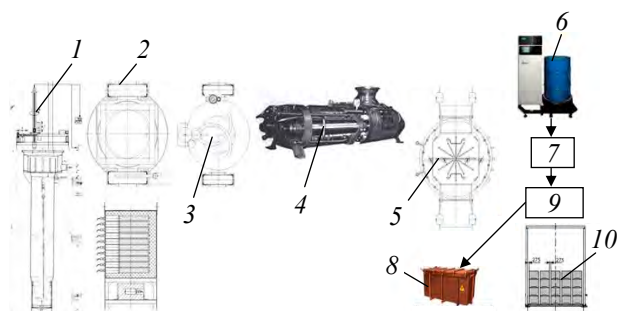
том на каждом блоке предусмотрены три канала контроля мощности эквивалентной дозы γ -излучения, температуры газовой среды (графита) в районе размещения модуля ионизационной камеры, влажности газовой среды в реакторном пространстве, избыточного давления (разрежения) газовой среды в реакторном пространстве. Для установки блоков детектирования и измерительных преобразователей влажности, температуры и давления в графитовой кладке реактора, создания условий для их функционирования и проведения регламентных работ была разработана конструкция измерительной подвески с компоновкой в ней всех четырех датчиков контроля.

В рамках работ Концерна «Росэнергоатом» по подготовке к выводу из эксплуатации первой очереди Белоярской АЭС и вывозу облученного топлива на ПО «Маяк» НИКИЭТ в 2010 г. разработал проект комплекса оборудования, систем и технических средств по обращению с длинномерными металлическими радиоактивными отходами, размещенными в местах нештатного хранения: технологических шахтах, бассейнах выдержки (рис. 3).

Разработка проекта велась с соблюдением следующих принципов:

обеспечение радиационной безопасности при нормальном функционировании комплекса и снижение радиационного воздействия на персонал, население и окружающую среду при авариях;

комплексная разработка оборудования и процессов обращения с твердыми радиоактивными отходами с учетом рассмотрения всех не-



Р и с. 3. Проект технологической линии обращения с радиоактивными отходами на Белоярской АЭС: 1, 2, 3, 4 — извлечение из труднодоступных мест, измерение радиационных параметров, ультразвуковая дезактивация, рубка и сортировка длинномерного изделия по категориям отходов соответственно; 5, 6, 7 — дополнительная дезактивация в первичных емкостях, паспортизация, транспортировка на переработку и длительное хранение соответственно; 8 — низкоактивные отходы (ЗАО «Экомет»); 9 — средние и высокоактивные отходы; 10 — хранилище сухих отходов

обходимых стадий и конечного состояния твердых отходов (временное хранение на площадке Белоярской АЭС, вывоз твердых отходов на спецпредприятия для утилизации, захоронение низкоактивных отходов на площадке и др.);

апробированность технических решений — большая часть оборудования заимствована из применяемого на АЭС с необходимой доработкой под конкретные условия Белоярской АЭС;

гибкость разработанной технологии обращения с длинномерными твердыми отходами — в связи с широкой номенклатурой изделий (несколько десятков типов длинномерных изделий) и высокой неопределенностью их радиационных параметров (из-за поверхностной загрязненности и активации под облучением). Разработаны технические решения, обеспечивающие многообразие вариантов обращения с твердыми радиоактивными отходами (возможность дезактивации, размещения в различных контейнерах и местах временного хранения и др.);

совместимость комплекса по обращению с длинномерными твердыми отходами с инфраструктурой по обращению с отходами Белоярской АЭС — разработанное оборудование и технология должны войти в общую структуру обращения с радиоактивными отходами первой очереди Белоярской АЭС.

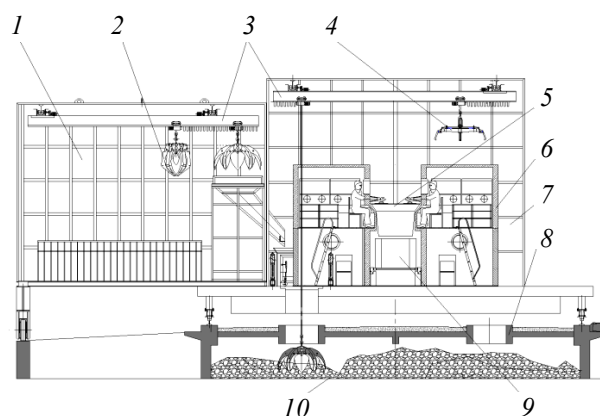
Структурно технический проект по удалению длинномерных радиоактивных изделий включает конструкторскую часть по разработке комплекса оборудования, технических средств и систем по обращению с твердыми отходами,

размещаемыми в главном корпусе первой очереди Белоярской АЭС, технологическую часть с разработкой необходимых операций по обращению с твердыми отходами и обоснование радиационной безопасности выполнения работ при нормальной эксплуатации комплекса и нарушениях нормальных условий эксплуатации.

По результатам разработки технического проекта в 2010 г. Белоярской АЭС было принято решение о развитии работ в части реконструкции объектов (хранилищ), предназначенных для временного хранения твердых отходов после их кондиционирования в главном корпусе первой очереди. Последующие работы включали разработку в 2011 г. проектов организации контейнерного хранения твердых отходов в секции № 9 хранилища сухих отходов № 2 и транспортно-технологического оборудования и технологии для перемещения невозвратных контейнеров с твердыми отходами в хранилище сухих отходов № 2.

Проект по приведению к безопасному состоянию хранилища сухих отходов № 1 Белоярской АЭС, выполненный в НИКИЭТе, позволяет достаточно простыми методами разобрать завалы радиоактивных отходов, отсортировать их по активности и значительно снизить объем хранения за счет последующей прессовки и сжигания низкоактивной части (рис. 4).

НИКИЭТ более 15 лет участвует в НИОКР по выводу из эксплуатации промышленных уран-графитовых реакторов. Первоначально ра-



Р и с. 4. Защитная камера установки извлечения твердых радиоактивных отходов, установленная на перекрытии хранилища сухих отходов № 1: 1 — боковая камера; 2 — грейферный захват; 3 — мостовой кран; 4 — автоматический захват контейнера; 5 — сортировочный стол; 6 — защитная кабина (для персонала); 7 — камера извлечения; 8 — хранилище сухих отходов № 1; 9 — контейнер для твердых отходов; 10 — твердые отходы

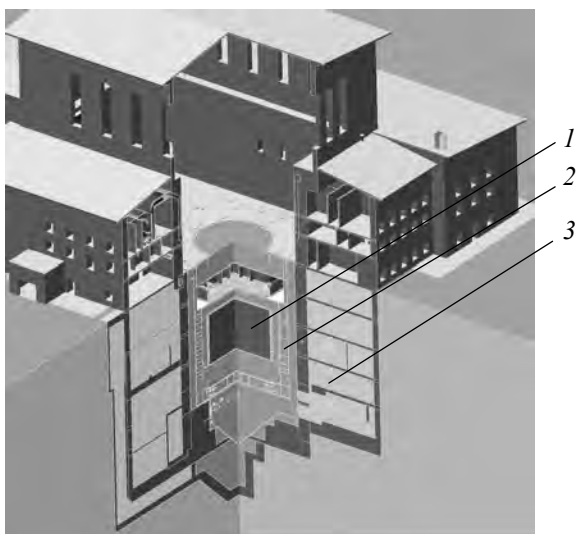
боты развивались в направлении их сохранения под наблюдением в течение не менее 100 лет. Однако принятые международные договоры привели к останову всех 13 реакторов на площадках, что привело к значительной финансовой нагрузке на эксплуатирующие организации по обеспечению безопасности остановленных блоков, и концепция длительного (отложенного) вывода из эксплуатации в 2009 г. была изменена Госкорпорацией «Росатом» на концепцию вывода из эксплуатации путем захоронения на месте. В соответствии с ней НИКИЭТ выпустил проекты вывода из эксплуатации реакторов ЭИ-2, АД и АДЭ-1. Были разработаны технологии заполнения глиной полостей шахты реактора и приреакторных помещений, обоснована безопасность захоронений. Реализация проектов резко снизит затраты на содержание (рис. 5).

Научно-исследовательские работы по захоронению промышленных уран-графитовых реакторов в основном сосредоточены на трех направлениях:

применение консерванта F в качестве матричного (или барьерного) материала для консервации отходов и облученного топлива;

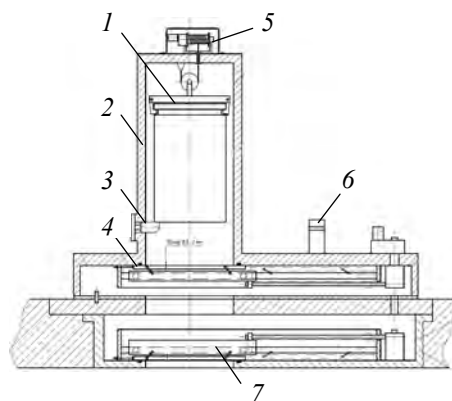
методы снижения объема графитовых радиоактивных отходов, предназначенных для хранения, перевод графита в более низкую категорию активности;

ультразвуковые методы дезактивации оборудования.

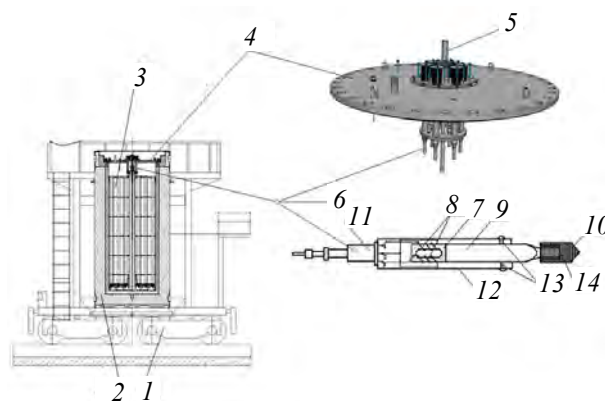


Р и с. 5. Конечное состояние захороненного промышленного уран-графитового реактора с инженерными барьерами безопасности: 1 — 1-й барьер (кладка реактора); 2 — 2-й барьер (глиняная засыпка в шахте реактора); 3 — 3-й барьер (глиняная засыпка в подземных помещениях здания)

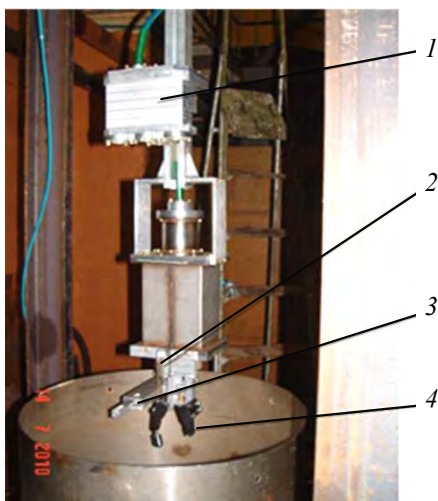
Вопросы переработки облученного топлива являются новыми для НИКИЭТа, и это потребовало значительных усилий по лицензированию данной деятельности и изучению нормативной документации предприятий ядерного топливного цикла. Институт успешно участвовал в создании опытно-демонстрационного центра по переработке облученного топлива на Горнохимическом комбинате. Разработаны технические проекты скафандра для оборудования, защитные шиберы горячих камер (рис. 6), изготовлено оборудование для ультразвуковой очистки транспортно-упаковочных контейнеров в отделении приемки топлива (рис. 7). НИКИЭТ совместно с ООО «Сосны» и ФГУП «ФЦЯРБ» в целях сокращения затрат на транспортировку



Р и с. 6. Скафандр для оборудования и защитный шибер горячих камер: 1 — автоматизированный захват; 2 — корпус контейнера; 3 — транспортировочный фиксатор; 4 — шибер контейнера; 5 — грузоподъемный механизм; 6 — пульт управления; 7 — шибер камеры



Р и с. 7. Дезактивация чехла ТУК-109: 1 — передаточная тележка; 2, 3 — металлобетонный контейнер и чехол ТУК-109 соответственно; 4 — технологическая крышка; 5 — подвод раствора; 6 — магнитострикционный излучатель; 7 — магнитострикционный сердечник; 8 — обмотка возбуждения; 9 — волновод; 10 — монтажная втулка; 11 — штепсельный разъем; 12 — защитный кожух; 13 — узловые точки на волноводе; 14 — прокладка



Р и с. 8. Дистанционный инструмент для обращения с радиоактивными отходами: 1 — блок телевизионного наблюдения; 2 — сильфон штока управления поворотным устройством; 3 — поворотное устройство (опора основного захвата); 4 — захват мелких предметов

разработал проект по разделке облученного топлива реакторов АМБ Белоярской АЭС под водой в специальном защитном бассейне.

НИКИЭТ разрабатывает, изготавливает и поставляет на АЭС готовое оборудование для обращения с радиоактивными отходами. Проведено рабочее проектирование и изготавливается оборудование для обращения с эксплуатационными высокоактивными отходами Ростовской АЭС, поставлен дистанционный инструмент для обращения с отходами на Белоярскую АЭС (рис. 8), изготовлено и поставлено оборудование для контроля ядерной и радиационной безопасности облученного топлива реакторов АМБ, просыпей топлива в кладке реакторов первой очереди Белоярской АЭС.

С использованием трехмерных моделей объектов и современного программного обеспечения создана база данных по выводу из эксплуатации Белоярской АЭС. При этом в виртуальном пространстве создаются рабочие коллективы всех участников проекта, которые взаимодействуют с помощью сетевых компьютерных технологий.

УДК 621.039.526

ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ И ЭТАПЫ РАЗРАБОТКИ РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКИ БРЕСТ-ОД-300

Драгунов Ю.Г., Лемехов В.В., Смирнов В.С., Чернецов Н.Г. (ОАО «НИКИЭТ», г. Москва)

Работа над концепцией ядерной энергетики естественной безопасности началась в середине 1980-х гг. Предпосылками к этому послужили крупные аварии на АЭС, увеличение стоимости строительства и эксплуатации ядерных энергоблоков, реализация открытого топливного цикла, снижающего масштабы и горизонты развития ядерной энергетики.

Основными принципами, которым должен соответствовать новый облик ядерной энергетики, являются:

исключение тяжелых аварий АЭС (реактивные, потеря охлаждения, пожары, взрывы), требующих эвакуации населения;

замыкание топливного цикла для полного использования энергетического потенциала уранового сырья;

последовательное приближение к радиационно-эквивалентному (по отношению к природному сырью) захоронению радиоактивных отходов;

технологическое усиление нераспространения ядерного оружия (неразделение урана и плутония при переработке облученного ядерного топлива быстрых реакторов, отказ от уранового blankets и обогащения урана);

конкурентоспособность в сравнении с другими видами производства электроэнергии.

Первым итогом работы стал концептуальный проект реакторной установки естественной безопасности, работающей в замкнутом ядерном топливном цикле.

Для достижения необходимого спектра нейтронов при низком давлении в первом контуре, а также реализации других требуемых функций (высокие теплофизические свойства, отсутствие кризиса теплообмена в рабочем диапазоне, негорючесть при реализуемой температуре, высокая инертность при взаимодействии с водой и воздухом, низкая активируемость, высокая радиационная стойкость) был выбран свинцовый теплоноситель.