

ОПТИМИЗАЦИЯ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ НА ЭТАПЕ ВЫВОДА ЭНЕРГОБЛОКОВ АЭС ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Ю.А. Кропачев*, О.Л. Ташлыков, С.Е. Щеклеин****

** Белоярская АЭС*

624250, г. Заречный, Свердловская обл.

*** Уральский федеральный университет,
620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19*



Показаны результаты деятельности эксплуатирующей организации АО «Концерн Росэнергоатом» по внедрению и реализации оптимизации радиационной защиты на АС. Приведены требования к формированию базы данных по выводу из эксплуатации АС и ее значимость в минимизации дозовых нагрузок персонала. Показаны пути реализации принципа оптимизации радиационной защиты при выводе АС из эксплуатации. Описаны элементы подсистемы автоматизированной обработки данных нерегламентных измерений радиационной обстановки (ПАОД НИ РО), внедряемой на энергоблоках первой очереди Белоярской АЭС по Программе оптимизации радиационной защиты персонала на атомных станциях России. Дано описание нерегламентных измерений и мест их проведения. Перечислены основные источники ионизирующих излучений на остановленных блоках АЭС. Описаны основные функции ПАОД НИ РО: определение точек контроля и маршрута перемещений дозиметриста при выполнении измерений; ввод и сохранение результатов измерений в базе данных; способы визуализации информации о параметрах, характеризующих радиационное состояние контролируемых объектов; защита информации от несанкционированного доступа. Показаны возможные пути минимизации дозовых затрат персонала при выполнении инструментальных замеров, отборе и анализе проб (оптимизация маршрута перемещения между контрольными точками, выбор средств измерений, анализ проведенных ранее измерений и др.). Приведены требования к выбору измеряемых радиационных параметров для конкретного объекта.

Приведены сведения о совместных исследованиях, выполняемых специалистами Уральского федерального университета, Белоярской АЭС, Института математики и механики УрО РАН, по разработке алгоритма оптимизации маршрутов перемещения дозиметриста с учетом обхода препятствий с посещением заданных точек («задача дозиметриста»), виртуальных моделей радиационно опасных помещений. Результаты этих исследований позволят (используя базу данных, формируемую в рамках ПАОД НИ РО) автоматизировать формирование оптимального маршрута дозиметриста, выдачу задания на выполнение работ по измерению параметров радиационной обстановки и, соответственно, минимизировать дозы облучения дозиметристов.

Ключевые слова: атомная электростанция, вывод из эксплуатации, база данных, оптимизация радиационной защиты, доза облучения, комплексное инженерное радиационное обследование, нерегламентные измерения, маршрутная оптимизация, виртуальное обучение.

ВВЕДЕНИЕ

Благодаря проведению комплекса организационных и технических мероприятий в целом по всем АЭС России начиная с 1996 г. (переход на новые дозовые пределы) дозы облучения персонала снижены примерно в три раза. Годовые коллективные дозы облучения персонала достигли некоторого стационарного уровня и незначительно меняются год от года в зависимости от характера и продолжительности плановых и неплановых остановов для проведения ремонтных кампаний. Исключено несанкционированное превышение индивидуальной дозы облучения 18 мЗв в год [1].

С учетом достигнутых результатов дальнейшая оптимизация радиационной защиты определяется реализацией комплекса мероприятий, направленных на управление индивидуальными дозами и индивидуальными рисками.

Для дальнейшего повышения уровня радиационной защиты персонала, оптимизации индивидуальных доз облучения и количества облучаемых на АЭС лиц в АО «Концерн Росэнергоатом» была принята Программа оптимизации радиационной защиты персонала на АЭС (2015 – 2019 гг.). Основными направлениями работ Программы являются совершенствование организации выполнения радиационно опасных работ, улучшение радиационной обстановки на оборудовании и в помещениях АЭС, сокращение времени пребывания персонала в полях ионизирующего излучения, совершенствование приборного и методического обеспечения радиационного контроля [2].

На Белоярской АЭС Программой были предусмотрены модернизация системы радиационного контроля первого и второго энергоблоков для обеспечения радиационной безопасности работ по выводу из эксплуатации первой очереди БАЭС и совершенствование опытного образца подсистемы автоматизированной обработки данных нерегламентных измерений радиационной обстановки в помещениях и поверхностной активности в составе ИСВЭ первой очереди АЭС (организационные мероприятия по совершенствованию радиационной защиты в виде внедрения новых и совершенствования имеющихся компьютерных технологий).

Вывод из эксплуатации (ВЭ) – завершающий этап жизненного цикла блока АС – сравним по сложности и продолжительности с этапом эксплуатации, но в отличие от него это затратный этап, оказывающий существенное влияние на показатели эффективности АС. Вывод блока АС из эксплуатации – деятельность, осуществляемая после удаления ядерного топлива и других ядерных материалов с блока АС, направленная на достижение заданного конечного состояния блока АС, исключающая его использование в качестве источника энергии и обеспечивающая безопасность персонала, населения и окружающей среды [3].

В настоящее время окончательно остановлены энергоблоки № 1, 2 Белоярской АЭС (находятся в эксплуатации в режиме остановленного блока), № 1 – 3 НВ АЭС. В ближайшее время будут выводиться из эксплуатации энергоблоки АЭС, пущенные в эксплуатацию в 1970 – 1980-е гг. с учетом продления их проектного срока эксплуатации, в том числе третий энергоблок Белоярской АЭС с быстрым реактором [4, 5]. При этом стратегически задачами являются формирование и внедрение на АЭС России референтных технологий по ВЭ, а также оказание услуг по выводу из эксплуатации АЭС за рубежом.

База данных по ВЭ блока АЭС, необходимость создания которой устанавливается в ряде нормативных документов (например, [6]), представляет собой документально подтвержденные и упорядоченные сведения об эксплуатации блока, инженерных и радиационных обследованиях, результатах расчетных исследований, проектных данных, необходимых для

планирования и проведения работ по ВЭ блока АС, а также о результатах этих работ.

База данных должна обеспечить на этапе подготовки накопление, хранение информации, требуемой для планирования и организации работ по ВЭ; на этапе ВЭ – разработку необходимых документов, составление отчетов о состоянии блока АС, планирование, организацию работ и контроль их выполнения, планирование средств, необходимых для обеспечения работ, разработку технологических процессов, расчет технических, экономических и других показателей.

Радиационные и технические характеристики объекта, полученные в результате комплексного инженерного радиационного обследования (КИРО), используются для разработки рекомендаций по безопасному выполнению работ по демонтажу, консервации систем и оборудования, помещений, зданий; определения дозозатрат персонала, возможностей их снижения (оптимизации); определения более эффективных технологий дезактивации; принятия решений по обращению с РАО. Вся информация по КИРО должна накапливаться, дополняться и храниться в базе данных.

Для снижения дозозатрат при проведении радиационно опасных работ реализуют меры, воздействующие на факторы времени, расстояния, радиационный параметр [7 – 9]. Наиболее распространенным способом воздействия на радиационный параметр является экранирование источников излучения с учетом принципа оптимизации [10, 11]. Одним из способов сокращения дозозатрат персонала за счет воздействия на фактор времени и радиационный параметр, не требующим значительных материальных затрат, является маршрутная оптимизация работ (оптимизация траектории перемещения в нестационарных радиационных полях, последовательности демонтажа элементов радиоактивных систем) [12 – 14]. При этом важнейшим условием для маршрутной оптимизации является наличие необходимой информации по радиационной обстановке в планируемых местах проведения (планирования) работ [15].

МЕТОДЫ И ОБОРУДОВАНИЕ. ПОДСИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ О РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКЕ

Подсистема автоматизированной обработки данных нерегламентных измерений радиационной обстановки (ПАОД НИ РО) предназначена для организации сбора, обработки и хранения информации о радиационных параметрах, характеризующих состояние контролируемых объектов; предотвращения облучения персонала выше установленных уровней; визуального предоставления информации для принятия решений по разработке мероприятий, предупреждающих облучение персонала и загрязнение помещений; определения количества РАО при ВЭ конкретных помещений, систем, оборудования.

Под нерегламентными понимаются измерения по определению радиационной обстановки (мощности дозы, загрязненности, концентрации аэрозолей и т.д.) на оборудовании в помещениях, результаты которых не регистрируются средствами автоматизированной системы радиационного контроля (АСРК). Нерегламентные измерения осуществляются также на промплощадке, в санитарно-защитной зоне (СЗЗ) и зоне наблюдения (ЗН) БАЭС в рамках решения отдельных задач ВЭ блоков АЭС.

Основными источниками ионизирующих излучений на остановленных блоках являются продукты активации конструкционных элементов активной зоны, продукты коррозии контура теплоносителя, фрагменты топлива в системах и оборудовании, хранящиеся в бассейнах выдержки (БВ) ОТВС, загрязненные поверхности помещений и оборудование, в здании СВО жидкие радиоактивные среды, поступающие для очистки.

Отработавшее ядерное топливо (ОЯТ) реакторов АМБ-100 и АМБ-200 находится на временном хранении в БВ. Для безопасности хранения ОТВС установлены в тонкостенные нержавеющие чехлы. В 2016 г. осуществлена пробная перевозка ОТВС с площадки БАЭС. В 2017 г. начались работы по вывозу ОТВС на ПО «Маяк» [16].

Сбор информации о радиационных параметрах контролируемых объектов осуществ-

ВЫВОД ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ

ляется переносными приборами и мобильными станциями сбора данных (ССД) ПАОД НИ РО. Обработка данных производится на автоматизированных рабочих местах (АРМ) оператора, на которых визуализирована информации о параметрах, характеризующих радиационное состояние контролируемых объектов в виде планов их расположения, таблиц, графиков; реализованы функции выбора плана и точки контролируемого объекта, формирования задания, просмотра журнала измерений, поиска и выбора измерения в журнале и просмотра результатов, формирования и печати отчетов в виде протокола.

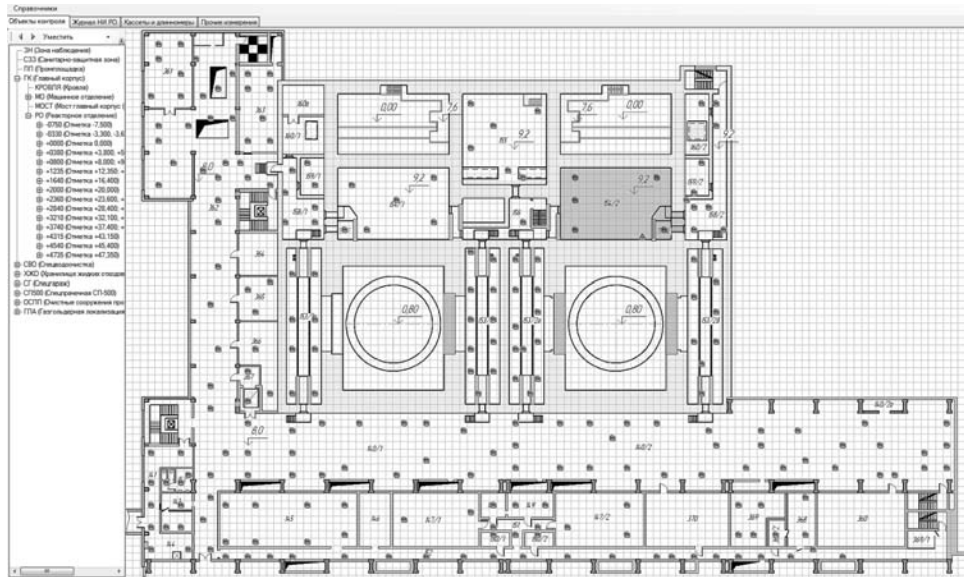


Рис. 1. Элементы управления графического интерфейса АРМ оператора ПАОД НИ РО

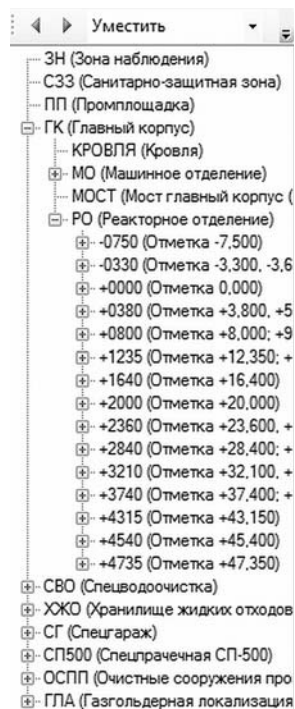


Рис. 2. Выбор объектов контроля

На рисунке 1 представлены элементы управления графического интерфейса АРМ оператора при активной закладке «Объекты контроля». Для выбора точки контроля необходимо выбрать требуемый объект на соответствующем плане с помощью иерархического списка объектов контроля (рис. 2). В соответствии с процедурой проведения измерений оператор формирует маршрут согласно иерархии объектов контроля, назначает измеряемые величины и способы их получения, печатает задание. Формирование маршрута и назначение реквизитов измерения заключается в последовательном выборе точек контроля с занесением их в задание на проведение измерений (рис. 3) [17].

Рис. 3. Формирование маршрута

Номер измерения	Точка контроля	Измеряемое значение	Прибор	Способ получения	Исполнитель	Значение
-1	ГКРО+0000_7...	Мощность ам...	ДКС-АТ1121	Непосредств...	Раевский А. М.	

Рис. 4. Задание на проведение измерений

Сформированный маршрут в виде задания сохраняется в базе данных (рис. 4), печать осуществляется в соответствии с формой «Бланк стандартного протокола». Учет результатов измерений распределения радиационных параметров по длинномерным

объектам ведется в журнале измерений распределения радиационных параметров. Для перехода к нему переключаются на закладку «Кассеты и длинномеры». Измеренные значения вводятся в таблицу «Список значений». Дополнительная, уточняющая информация вводится в поле «Примечание» (например, шаг измерений).

ВЫПОЛНЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ

ПАОД НИ РО предусматривает сбор и обработку данных по следующим измеряемым параметрам: объемная активность α - и β -излучающих аэрозолей (Бк/м³); мощность AMBIENTного эквивалента дозы рентгеновского, γ - и нейтронного излучения (Зв/ч); AMBIENTный эквивалент дозы рентгеновского и γ -излучения (Зв); поглощенная доза γ -излучения на местности (Гр); плотность потока (с⁻¹·см⁻²) и флюенс (см²) нейтронного излучения; плотности потоков α - и β -частиц (см⁻²·мин⁻¹); поверхностная активность α - и β -излучающих радионуклидов (Бк/см²); объемная (удельная) активность радионуклидов в технологических средах и жидкости, в пробах объектов внешней среды [Бк/м³; (Бк/кг)].

Данные об измеряемых параметрах получают измерением с помощью переносных дозиметров-радиометров; отбором воздуха на фильтрующую ленту с измерением суммарной объемной активности α - и β -излучающих радионуклидов с помощью блока детектирования в составе установки УДАС-201М; отбором воздуха на аналитический фильтр с помощью переносных пробоотборных устройств с последующим лабораторным анализом; отбором проб жидкости, технологических сред и объектов внешней среды; мазком (сухим, влажным, спиртовым) с последующим измерением на радиометре или лабораторным анализом. Данные, полученные в процессе НИ РО, в зависимости от расположения точки контроля классифицируются как данные о РО в СЗЗ, ЗН, на промплощадке, в помещениях АЭС.

Основная часть измерений осуществляется с помощью переносных и мобильных технических средств (например, ДКС-АТ1121, ДКС-АТ1123, УДАС-201М). ПАОД РО иерархически разделена на нижний и верхний уровни и имеет распределенную структуру, состоящую из отдельных технических средств, объединяемых линиями связи.

ПАОД РО обеспечивает автоматизированное выполнение следующих функций: формирование задания на проведение НИ РО; ввод и сохранение в базе данных результатов измерений; просмотр и печать результатов измерений; защита информации о результатах измерений от несанкционированного доступа; получение данных измерений, проведенных с помощью установки УДАС-201М из состава АСРК блоков № 1, 2 БАЭС.

Формирование задания на проведение измерений осуществляется с помощью АРМ операторов. Ввод и сохранение результатов в базе данных осуществляется автоматизированным считыванием данных с технических средств, ручным вводом, сканированием результатов выполнения нерегламентных измерений. Отображение результатов НИ РО при просмотре осуществляется в виде таблиц, графиков, предварительно отсканированных результатов выполнения НИ РО и текстовых комментариев.

Защита информации от несанкционированного доступа осуществляется разграничением прав пользователей (клиент, оператор, администратор). «Клиент» имеет право только на просмотр данных, «оператор» может вводить и просматривать данные, «администратор» имеет права внесения изменений и просмотра данных ПАОД НИ РО, а также возможность управления учетными записями других пользователей.

Нерегламентные измерения могут носить разовый (например, аэрозольная активность при вырезании участка трубопровода) и долговременный характер (например, изменение мощности дозы на сорбционном фильтре в процессе работы системы очистки воды БВ).

Задание на нерегламентные измерения может предполагать единичные замеры, не требующие специальной подготовки. Иногда требуются подготовка рабочего места, разработка программ, методик, необходимые согласования. Измерения в зависимости от сложности и объема могут выполняться одним или несколькими специалистами.

При необходимости персонал ОРБ анализирует проведенные ранее измерения на объекте; определяет контролируемые радиационные параметры, маршрут проведения измерений и количество точек контроля; проверяет необходимые технические средства, их работоспособность; определяет подготовительные процедуры; готовит бланк измерений с картограммой и комментариями; производит инструментальные замеры, отбор проб.

Анализ выполненных ранее измерений на конкретном объекте необходим для выбора технических средств и проведения подготовки. Анализ выполняет персонал ОРБ самостоятельно или с привлечением специалистов заинтересованных подразделений. Важную роль в анализе играет радиационная история объекта. База данных облегчает анализ выполненных ранее измерений, позволяет сделать его более точным, оперативным и качественным. В ряде случаев анализ позволяет исключить ненужные замеры и, как следствие, дополнительные дозозатраты.

Для каждого конкретного объекта необходимы измерения определенного набора значимых радиационных параметров, при этом исключаются непредставительные инструментальные замеры, «засоряющие» базы данных ненужной информацией. Выбор конкретного набора измеряемых радиационных параметров изначально определяется заказчиком проведения измерений. Этот перечень может уточняться персоналом в зависимости от объекта и условий его эксплуатации, целей контроля. Поэтому в базе данных ПАОД РО для конкретного объекта могут быть различные наборы измеренных радиационных параметров. Значимые факторы, влияющие на выбор контролируемых параметров, должны отражаться в бланках стандартного протокола измерений, например, «Контроль концентрации радиоактивных аэрозолей в коридоре на отметке +8,000 проводился в связи с резкой трубопровода шлифовальной машиной». Выбор измеряемых параметров определяет также состав персонала для выполнения замеров и его дозозатраты.

Определение маршрута проведения измерений и точек контроля зависит от целей измерений. Поиск локальных источников излучения и планирование долговременных работ требует более детального обследования с большим количеством точек контроля.

Определение маршрута должно обеспечить выполнение принципа ALARA при проведении измерений и минимизировать дозовые нагрузки на персонал ОРБ и других отделов, который выполняет инструментальные замеры, производит отбор и анализ проб. Для сложных измерений правильно выбранный маршрут позволяет избежать ненужного дублирования, сократить время измерений, что приводит к снижению дозозатрат операторов.

При выборе технических средств предпочтение отдается тем, которые могут автоматизированно заносить результаты измерений в базу данных. Для исключения возможных ошибок при интерпретации результатов измерений, по возможности, следует использовать те же средства, которые применялись для ранее выполненных измерений. При выборе другого прибора в примечании бланка измерений должно быть обоснование выбора.

Подготовительные процедуры перед выполнением НИ РО заключаются в проверке работоспособности аппаратуры, а также подготовке ее к применению в нестандартных условиях. К подготовительным работам относится подготовка мазков,

пробоотборников, вспомогательного инструмента (шаблонов, линеек, секундомеров и т.д.). Правильная подготовка повышает оперативность НИ РО, сокращает затраты на обработку результатов и дозовые нагрузки за счет уменьшения времени измерений.

После подготовительных действий дозиметрист выполняет инструментальные замеры, производит отбор проб в соответствии с заданием. Выполнение НИ РО производится с предварительным формированием маршрута или без. Во втором случае после получения распоряжения дозиметрист проводит измерения в заданных точках контроля, фиксирует их и результаты измерения.

Результаты измерений заносятся в энергонезависимую память приборов либо в бланк измерений в рукописном виде. В бланке стандартного протокола НИ РО должна содержаться информация о месте проведения измерений в соответствии с классификацией; времени измерения; использованной аппаратуре; примененных стандартах предприятия (методиках выполнения измерений); неопределенности измерений; условиях измерений (температура, влажность); особых условиях измерений (режим работы оборудования, вентиляции, проводимые во время измерений технологические операции и т.д.). Дозиметрист вводит полученные значения в базу данных с фиксацией маршрута, времени измерений. Административно-технический персонал ОРБ анализирует результаты измерений.

Информационное обеспечение состоит из базы данных ПАОД НИ РО; электронных журналов измерений; архивов объемной активности α - и β -излучающих аэрозолей, полученных с помощью мобильной установки типа УДАС-201М; внешней базы данных.

Электронные журналы находятся в энергонезависимой памяти приборов, с помощью которых проводится выполнение НИ РО, и предназначены для хранения измеренных значений и последующего их считывания и внесения в базу данных ПАОД НИ РО. Файловые архивы измеренных значений объемной активности α - и β -излучающих аэрозолей находятся на дисковых накопителях мобильных ССД и предназначены для хранения измеренных значений, их считывания и внесения в базу данных. Внешняя база данных представляет собой файлы резервных копий основной базы данных.

В настоящее время совместно со специалистами УрО РАН разработан алгоритм построения оптимального маршрута перемещения (с учетом обхода препятствий) дозиметриста («задача дозиметриста») с посещением заданных точек помещения, в которых необходимо выполнить работы по измерению параметров радиационной обстановки (измерение мощности дозы, взятие проб и т.д.) [18]. На основании данного алгоритма планируется создание программного обеспечения, позволяющего автоматизировать процесс формирования оптимального маршрута (используя базу данных, формируемую в рамках ПАОД НИ РО), выдачу задания на выполнение работ по измерению параметров радиационной обстановки и, соответственно, минимизировать дозы облучения дозиметристов. При этом дополнительный положительный эффект может дать интеграция в данные программы виртуальных моделей радиационно опасных помещений, что позволит создавать любые сценарии и реализовывать анимационные обходы помещения по заданным маршрутам [19].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подсистема автоматизированной обработки данных нерегламентных измерений радиационной обстановки позволяет планировать радиационно опасные работы по демонтажу оборудования, транспортировке демонтированного оборудования, обращению с ПАО с учетом принципа ALARA, минимизировать дозовые нагрузки на персонал ОРБ и других отделов при выполнении измерений путем маршрутной оптимизации. В настоящее время на Белоярской АЭС создан опытный образец подсистемы, по результатам эксплуатации которой будут дорабатываться программное обес-

печение и технические средства. В перспективе данная подсистема может быть интегрирована в информационную систему по выводу из эксплуатации, которая в свою очередь будет представлять собой базу данных по выводу из эксплуатации. Разработан алгоритм оптимизации маршрута перемещения дозиметристов с учетом обхода препятствий с посещением заданных точек помещения, в которых необходимо выполнить работы по измерению параметров радиационной обстановки. Это позволяет автоматизировать формирование оптимального маршрута дозиметриста, выдачу задания на выполнение работ по измерению параметров радиационной обстановки и, соответственно, минимизировать дозы облучения дозиметристов.

Литература

1. Ремез В.П., Ташлыков О.Л., Щеклеин С.Е., Иошин А.А., Кузнецов С.Б. Повышение эффективности локализации радионуклидов кобальт-60 и цезий-137 из жидких радиоактивных отходов в решении проблемы обеспечения радиационной безопасности АЭС. // Ядерная физика и инжиниринг. – 2016. – Т. 7. – № 2. – С. 129-137.
2. Программа оптимизации радиационной защиты персонала на АЭС (2015-2019 гг.). – М.: АО «Концерн Росэнергоатом», 2015. – 32 с.
3. НП-001-15. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций. – М.: Ростехнадзор, 2015. – 75 с.
4. Tashlykov O., Shcheklein S., Seseikin A., Chentsov A., Nosov Y., Smyshlaeva O. Ecological features of fast reactor nuclear power plants (NPPs) at all stages of their life cycle. // WIT Transactions on Ecology and the Environment. – 2014. – Vol. 190. – No. 2. – PP. 907-918.
5. Носов Ю.В., Ровнейко А.В., Ташлыков О.Л., Щеклеин С.Е. Особенности вывода из эксплуатации быстрых реакторов БН-350, -600. // Атомная энергия. – 2018. – Т. 125. – № 4. – С. 195-199.
6. НП-012-16. Правила обеспечения безопасности при выводе из эксплуатации блока АС. – М.: Ростехнадзор, 2016. – 32 с.
7. Наумов А.А., Ташлыков О.Л. Минимизация дозовых затрат при ремонтном обслуживании систем и оборудования АЭС. // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2010. – № 1. – С. 80-88.
8. Ташлыков О.Л. Методы оценки и снижения дозовых нагрузок при ремонте АЭС. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009. – 118 с.
9. Ташлыков О.Л. Ремонт оборудования атомных станций. – Екатеринбург: УМЦ УПИ, 2003. – 168 с.
10. Tashlykov O.L., Shcheklein S.E., Russkikh I.M., Seleznev E.N., Kozlov A.V. Composition Optimization of Homogeneous Radiation-Protective Materials for Planned Irradiation Conditions. // Atomic Energy. – 2017. – Vol. 121. – No. 4. – PP. 303-307.
11. Ташлыков О.Л., Щеклеин С.Е., Лукьяненко В.Ю., Михайлова А.Ф., Русских И.М., Селезнев Е.Н., Козлов А.В. Оптимизация состава радиационной защиты. // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. – 2015. – № 4. – С. 36-42.
12. Ташлыков О.Л., Сесекин А.Н., Щеклеин С.Е., Балушкин Ф.А., Ченцов А.Г., Хомяков А.П. Возможности математических методов моделирования в решении проблемы снижения облучаемости персонала. // Вопросы радиационной безопасности. – 2009. – № 4. – С. 47-57.
13. Балушкин Ф.А., Сесекин А.Н., Ташлыков О.Л., Чеблоков И.Б., Щеклеин С.Е., Ченцов А.Г. Использование метода динамического программирования для оптимизации демонтажа оборудования энергоблоков АЭС, выводимых из эксплуатации, с целью минимизации облучения // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. – 2009. – № 4. – С. 169-176.
14. Seseikin A.N., Tashlykov O.L., Shcheklein S.Ye., Chentsov A.G. Route optimization in the removal of radiation hazards. // WIT Transactions on Ecology and the Environment. – 2014. – Vol. 190. – No. 2. – PP. 919-926.
15. Ташлыков О.Л., Щеклеин С.Е., Климова В.А., Наумов А.А. Моделирование виртуальных радиационных полей. // Дистанционное и виртуальное обучение. – 2011. – № 4. – С. 24-34.

16. *Топорков Р.* Путь к первому эшелону // Быстрый нейтрон. Спецвыпуск 22.12.2017. – С. 4-5. Электронный ресурс: <http://www.rosenergoatom.ru/upload/iblock/088/08895004b2b54e8a164678cb08bc988b.pdf> (дата доступа 05.03.2018).

17. *Кропачев Ю.А., Ташлыков О.Л.* Оптимизация радиационной защиты на этапе вывода энергоблоков АЭС из эксплуатации. / Материалы научно-практической конференции «Перспективные энергетические технологии. Экология, экономика, безопасность и подготовка кадров». – Екатеринбург: УрФУ, 2016. – С. 50-57.

18. *Grigoryev A.M., Tashlykov O.L.* Solving a routing optimization of works in radiation fields with using a supercomputer. – AIP Conference Proceedings 2015, 020028 (2018). – DOI: 10.1063/1.5055101. Электронный ресурс: <https://doi.org/10.1063/1.5055101> (дата доступа 05.03.2018).

19. *Шаньшаров В.А., Ташлыков О.Л.* Создание трехмерной модели помещения с повышенным радиационным фоном / V Международная молодежная научная конференция (Секция 5): Физика. Технологии. Инновации ФТИ-2018. Тезисы докладов. – Екатеринбург: УрФУ, 2018. – С. 57-59

Поступила в редакцию 22.03.2018 г.

Авторы

Кропачев Юрий Анатольевич, начальник отдела радиационной безопасности
E-mail: orb-zn@belnpp.ru

Ташлыков Олег Леонидович, доцент, кандидат техн. наук
E-mail: otashlykov@list.ru

Щеклеин Сергей Евгеньевич, зав. кафедрой, профессор, доктор техн. наук
E-mail: s.e.shcheklein@urfu.ru

UDC 621.039

OPTIMIZATION OF RADIATION PROTECTION AT THE NPP UNIT DECOMMISSIONING STAGE

Kropachev Yu.A. *, Tashlykov O.L. **, Shcheklein S.E. **

* Beloyarsk NPP

Zarechny, Sverdlovsk reg., 624550 Russia

** Ural Federal University

19 Mira ave., Yekaterinburg, 620002 Russia

ABSTRACT

The results of activities by JSC Concern Rosenergoatom, the operating organization, for introducing and optimizing radiation protection at NPPs are shown. Requirements to establishing the NPP decommissioning database are presented and the importance of its role in minimizing the personnel radiation exposure is shown. Ways are presented for implementing the principle of the NPP decommissioning radiation protection optimization. Components of the automated data processing subsystem for unscheduled measurements of radiological environment (ADPS UM RE) introduced as part of Beloyarsk NPP's phase I units under the Program for Optimizing the Radiation Protection of Personnel at Nuclear Power Plants in Russia are described. A description of unscheduled measurements and respective measurement points is provided. Major sources of ionizing radiation at shut down NPP units are listed. The key functions of the ADPS UM RE are described (determination of inspection points and the radiation supervisor movement route during measurements, input and databasing of measurement

results, methods for visualizing information on the parameters that characterize the radiological state of monitored items, protection of information against unauthorized access). Possible ways are shown for minimizing the personnel radiation exposure in the process of instrument-based measurements, sample taking and sample analysis (optimization of the movement route between inspection points, selection of measuring devices, analysis of earlier measurements, etc.). Requirements are presented to the selection of measurable radiation parameters for the particular facility.

Information is presented on joint studies conducted by experts at Ural Federal University, Beloyarsk NPP, and the Institute of Mathematics and Mechanics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences to develop the algorithm of optimizing the radiation supervisor movement routes considering the need for avoiding the obstacles with visiting the predetermined points (the radiation supervisor mission), and virtual models of radiation-hazardous rooms. The results of these studies will make it possible (using the database formed as part of the ADPS UM RE) to automate generation of the best possible radiation supervisor route, description of tasks for measuring the radiation environment parameters, and, accordingly, minimization of the radiation supervisor exposure doses.

Key words: nuclear power plant; decommissioning; database; radiation protection optimization; exposure dose, integrated engineering radiological survey, unscheduled measurements, route optimization, virtual training.

REFERENCES

1. Remez V. P., Tashlykov O. L., Shcheklein S. E., Ioshin A. A., and Kuznetsov S. B. Increase in the Efficiency of Localization of Cobalt-60 and Cesium-137 Radionuclides from Liquid Radioactive Waste for Ensuring the Radiation Safety of Nuclear Power Plants. *Yadernaya fizika i inzhiniring*, 2016, v. 7, no. 2, pp. 129-137 (in Russian).
2. *The Program of Personnel Radiation Protection Optimization at Nuclear Power Plants (2015-2019)*. Moscow. AO «Kontsern Rosenergoatom» Publ., 2015, 32 p. (in Russian).
3. NP-001-15. *Generalities of Safety Ensuring of Nuclear Power Plants*. Moscow. Rostekhnadzor Publ., 2015, 75 p. (in Russian).
4. Tashlykov O., Shcheklein S., Seseikin A., Chentsov A., Nosov Y., Smyshlaeva O. Ecological features of fast reactor nuclear power plants (NPPs) at all stages of their life cycle. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 2014, v. 190, no. 2, pp. 907-918.
5. Nosov Yu. V., Rovneyko A. V., Tashlykov O. L., Shcheklein S. E. Features of Fast Reactors Decommissioning BN-350 and BN-600. *Atomnaya Energiya*, 2018, v. 125, no. 4, pp. 195-199 (in Russian).
6. NP-012-16. *Regulations of Safety Ensuring when NPP Unit Decommissioning*. Moscow. Rostekhnadzor Publ., 2016, 32 p. (in Russian).
7. Naumov A. A., Tashlykov O. L. Minimizing dose costs in maintenance work on systems and equipment in NPP. *Izvestia Vysshikh Uchebnykh Zawedeniy. Yadernaya Energetika*, 2010, no. 1, pp. 80-88 (in Russian).
8. Tashlykov O. L. *Methods of Assessing and Reducing Radiation Dose Loads in Maintenance Work at Nuclear Power Plants*. Ekaterinburg. UGTU-UPI Publ., 2009, 168 p. (in Russian).
9. Tashlykov O. L. *Repair of equipment of nuclear power plants*. Ekaterinburg. UMTs UPI Publ., 2003, 168 p. (in Russian).
10. Tashlykov O. L., Shcheklein S. E., Russkikh I. M., Seleznev E. N., Kozlov A. V. Composition Optimization of Homogeneous Radiation-Protective Materials for Planned Irradiation Conditions. *Atomic Energy*, 2017, v. 121, no. 4, pp. 303-307.
11. Tashlykov O. L., Shcheklein S. Ye., Lukyanenko V. Yu., Mikhaylova A. F., Russkikh I. M., Seleznev Ye. N., Kozlov A. V. The optimization of radiation protection composition. *Izvestia Vysshikh Uchebnykh Zawedeniy. Yadernaya Energetika*, 2015,

no. 4, pp. 36-42 (in Russian).

12. Tashlykov O.L., Sesekin A. N., Shcheklein S.E., Balushkin F. A., Chencov A. G., Homjakov A.P. Mathematical Simulation Methods Capability for Solution of the Personnel Irradiation Decrease Problem. *Voprosy Radiatsionnoy Bezopasnosti*, 2009, no 4, pp. 47-57 (in Russian).

13. Balushkin F.A., Sesekin A.N., Tashlykov O.L., Cheblokov I.B., Shcheklein S.E., Chencov A.G. Using the Method of Dynamic Programming to Optimize the Removal of the Equipment NPP, Decommissioned, in Order to Minimize Exposure. *Izvestia Vysshikh Uchebnykh Zawedeniy. Yadernaya Energetika*, 2009, no 4, pp. 169-176 (in Russian).

14. Sesekin A.N., Tashlykov O.L., Shcheklein S.Ye., Chentsov A.G. Route optimization in the removal of radiation hazards. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 2014, v. 190, no. 2, pp. 919-926.

15. Tashlykov O.L., Shcheklein S.E., Klimova V.A., Naumov A.A. Modeling virtual radiation fields. *Distantionnoe i virtual'noe obuchenie*, 2011, no. 4, pp. 24-34 (in Russian).

16. Toporkov R. The path to the forward echelon. *Fast neutron*, 2017, spec. iss. pp. 4-5. Available at: <http://www.rosenergoatom.ru/upload/iblock/088/08895004b2b54e8a164678cb08bc988b.pdf> (accessed Mar 05, 2018) (in Russian).

17. Kropachev Y.A., Tashlykov O.L. *Optimization of radiation protection at NPP power units decommissioning*. Proc. of the Scientific Conference «Perspektivnye energeticheskie tekhnologii. Ekologiya, ekonomika, bezopasnost' i podgotovka kadrov». Ekaterinburg. UrFU Publ., 2016, pp. 50-57 (in Russian).

18. Grigoryev A.M., Tashlykov O.L. Solving a routing optimization of works in radiation fields with using a supercomputer. American Institute of Physics. *AIP Conference Proceedings*, 2015, 020028 (2018); DOI: 10.1063/1.5055101. Available at: <https://doi.org/10.1063/1.5055101> (accessed Mar 05, 2018). Table of Contents Available at: <http://aip.scitation.org/toc/apc/2015/1> (accessed Mar 05, 2018).

19. Shan'sharov V.A., Tashlykov O.L. *Creation of a three-dimensional model of a room with an increased radiation background*. Proc. of the V International Young Researchers' Conference. Physics. Technologies. Innovation PTI -2018. Ekaterinburg. UrFU Publ. 2018, pp. 57-59 (in Russian).

Authors

Kropachev Yury Anatol'evich, Chief of Division

E-mail: orb-zn@belnpp.ru

Tashlykov Oleg Leonidovich, Associate Professor, Cand. Sci. (Engineering)

E-mail: otashlykov@list.ru

Shcheklein Sergei Evgenievich, Head of Department, Professor, Dr. Sci. (Engineering)

E-mail: s.e.shcheklein@urfu.ru