

УДК 621.039

ПОДСИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ НЕРЕГЛАМЕНТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ

Кропачев Ю. А. (orb@belnpp.ru) (Белоярская АЭС, г. Заречный),
Ташлыков О. Л., к. т. н., доцент (otashlykov@list.ru),
Сесекин А. Н., д. ф.-м. н., профессор (sesekin@list.ru),
Щеклеин С. Е., д. т. н., профессор (s.e.shcheklein@urfu.ru),
Хомяков А. П., д. т. н. (a.p.khomiakov@urfu.ru)
(Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург)

Описаны элементы и основные функции подсистемы автоматизированной обработки данных нерегламентных измерений радиационной обстановки, внедряемой на Белоярской АЭС по Программе оптимизации радиационной защиты АО «Концерн Росэнергоатом». Приведены результаты совместных исследований специалистов Уральского федерального университета, Белоярской АЭС, Уральского отделения РАН по разработке алгоритмов автоматизированной оптимизации маршрутов перемещения персонала в нестационарных радиационных полях с использованием базы данных, формируемой в рамках подсистемы автоматизированной обработки данных нерегламентных измерений радиационной обстановки.

► **Ключевые слова:** вывод из эксплуатации, база данных, нерегламентные измерения, оптимизация радиационной защиты, маршрутная оптимизация.

DOI: 10.26277/SECNRS.2019.93.3.003

THE AUTOMATED DATA PROCESSING SUBSYSTEM FOR UNSCHEDULED MEASUREMENTS OF RADIOLOGICAL ENVIRONMENT

Kropachev Yu. A. (Beloyarsk NPP, Zarechny), Tashlykov O. L., Ph. D., assoc. professor,
Sesekin A. N., Ph. D., professor, Shcheklein S. Ye., Ph. D., professor,
Khomyakov A. P., Ph. D. (Ural Federal University, Yekaterinburg)

Described are the components and main functions of the automated data processing subsystem for unscheduled measurements of radiological environment introduced at Beloyarsk NPP under the Program for optimizing the radiation protection of JSC "Concern Rosenergoatom". Given are the results of joint studies conducted by experts at Ural Federal University, Beloyarsk NPP, and the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences to develop the algorithm of optimizing the radiation supervisor movement routes in non-stationary radiation fields using the database formed as part of the automated data processing subsystem for unscheduled measurements of radiological environment.

► **Keywords:** decommissioning, database, unscheduled measurements, radiation protection optimization, route optimization.

DOI: 10.26277/SECNRS.2019.93.3.003

Введение

Годовые коллективные дозы облучения персонала АЭС России с 1996 г. (начало подготовки к переходу на новые дозовые пределы) снизились примерно в три раза и достигли некоторого стационарного уровня. Они незначительно меняются год от года в зависимости от характера и продолжительности остановов для проведения ремонтных кампаний, при этом исключено несанкционированное превышение индивидуальной дозы облучения в 18 мЗв в год [1].

Для дальнейшего повышения уровня радиационной защиты персонала, оптимизации индивидуальных доз облучения, количества облучаемых на АЭС лиц в АО «Концерн Росэнергоатом» была принята «Программа оптимизации радиационной защиты персонала на АЭС» (Программа) (2015 – 2019 гг.). Основные направления работ Программы: 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 (БАЭС) Программой были предусмотрены модернизация системы радиационного контроля энергоблоков № 1, 2 для обеспечения радиационной безопасности работ по выводу из эксплуатации первой очереди БАЭС, а в рамках подготовки к выводу из эксплуатации предусмотрено совершенствование опытного образца подсистемы автоматизированной обработки данных нерегламентных измерений радиационной обстановки (ПАОД НИ РО) в помещениях и поверхностной активности в составе информационной системы по выводу из эксплуатации первой очереди БАЭС.

Вывод из эксплуатации – завершающий этап жизненного цикла энергоблока АЭС – сравним по сложности и продолжительности с этапом эксплуатации, но, в отличие от него, это затратный этап, оказывающий существенное влияние на показатели эффективности АЭС.

Вывод из эксплуатации энергоблока АЭС – деятельность, осуществляемая после удаления ядерного топлива и других ядерных материалов с энергоблока АЭС, направленная на достижение заданного конечного состояния энергоблока АЭС, исключающая использование энергоблока АЭС в качестве источника энергии и обеспечивающая

безопасность персонала, населения и окружающей среды [3].

В настоящее время окончательно остановлены энергоблоки № 1 – 2 БАЭС (находятся в эксплуатации в режиме остановленного энергоблока), № 1 – 3 Нововоронежской 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 энергоблок № 3 БАЭС с реактором на быстрых нейтронах [4]. При этом стратегическими задачами являются формирование и внедрение на АЭС России референтных технологий по выводу из эксплуатации, а также оказание услуг по выводу из эксплуатации АЭС за рубежом.

База данных по выводу из эксплуатации энергоблока АЭС, необходимость создания которой устанавливается в ряде нормативных документов (например, [5]), представляет собой документально подтвержденные и упорядоченные сведения об эксплуатации энергоблока, инженерных и радиационных обследованиях, результатах расчетных исследований, проектных данных, необходимых для планирования и проведения работ по выводу из эксплуатации энергоблока АЭС, а также о результатах этих работ.

В соответствии с [6] база данных представляет собой совокупность данных, организованных по определенным правилам, предусматривающим общие принципы описания, хранения и манипулирования данными. База данных не зависит от прикладных программ [6].

Создание и наполнение базы данных для оптимизации радиационной защиты является важной составляющей при рассмотрении вопросов планирования и проведения радиационно опасных работ. При создании базы данных желательно не ограничиваться дозиметрическими данными. Очень полезно иметь информацию о выполненных конкретных мероприятиях с оценкой их эффективности [7].

База данных должна обеспечить на этапе подготовки накопление, хранение информации, требуемой для планирования и организации работ по выводу из эксплуатации; на этапе вывода из эксплуатации – разработку необходимых документов, составление отчетов о состоянии энергоблока АЭС, 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 (или оптимизации), определения более эффективных технологий дезактивации, принятия решений по обращению с радиоактивными отходами (РАО). Вся информация по КИРО должна накапливаться, дополняться и храниться в базе данных.

Для снижения дозозатрат при проведении радиационно опасных работ реализуются меры, воздействующие на факторы времени, расстояния, радиационный параметр. Наиболее распространенным способом воздействия на радиационный параметр является экранирование источников излучения, при этом также важно использовать принцип оптимизации [8 – 10].

Одним из эффективных способов сокращения дозозатрат персонала за счет комплексного 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 [11 – 13]. Основной целью решения задач маршрутной оптимизации является нахождение минимума функционала качества – суммарной дозы облучения при выполнении комплекса работ в неоднородных и нестационарных радиационных полях:

$$\sum_{i=1}^n \dot{H}_i \times t_i \rightarrow \min,$$

где \dot{H}_i – мощность дозы в i -ой изодозной области;

t_i – время нахождения человека в i -ой изодозной области радиационно опасной зоны.

При этом важнейшим условием для повышения эффективности маршрутной оптимизации является наличие полноценной исходной информации по радиационной обстановке в местах планируемых работ. Объем данных, полученных в процессе КИРО, недостаточен для качественного планирования работ и оптимизации дозозатрат. В связи с этим актуализируется значимость нерегламентных измерений, повышающих наполняемость и достоверность базы данных по радиационной обстановке

в различных, определенных исходя из радиационной опасности точках помещений энергоблоков, выводимых из эксплуатации.

Объект исследования

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 выводе из эксплуатации конкретных помещений, систем, оборудования.

Под нерегламентными измерениями 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. Нерегламентные измерения осуществляются также на промплощадке, в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения БАЭС в рамках решения отдельных задач вывода из эксплуатации блоков АЭС.

Основными источниками ионизирующих излучений на остановленных энергоблоках являются: продукты активации конструктивных элементов активной зоны, продукты коррозии контура теплоносителя, фрагменты топлива в системах и оборудовании, хранящиеся в бассейнах выдержки (БВ) отработавших тепловыделяющих сборок (ОТВС), загрязненные поверхности помещений и оборудование. В здании спецводоочистки это жидкие радиоактивные среды, поступающие для очистки.

ОТВС реакторов АМБ-100 и АМБ-200 находятся на временном хранении в БВ. Для безопасности хранения они установлены в тонкостенные нержавеющие чехлы. В 2016 г. осуществлена пробная перевозка ОТВС с площадки БАЭС. С 2017 г. осуществляется регулярный вывоз ОТВС на ПО «Маяк» [1].

Сбор информации о радиационных параметрах контролируемых объектов осуществляется переносными приборами и мобильными станциями сбора данных ПАОД НИ РО. Обработка данных производится на автоматизированных рабочих местах (АРМ) оператора, на которых визуализирована информация 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.

На рис. 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. В соответствии с процедурой проведения измерений оператор формирует маршрут согласно иерархии объектов контроля, назначает измеряемые величины и способы их получения, печатает задание. Формирование маршрута, а также назначение реквизитов измерения заключается в последовательном выборе точек контроля с занесением их в задание на проведение измерений [14].

информация вводится в поле «Примечание» (например, шаг измерений).

Методы и оборудование. Выполнение измерений

ПАОД НИ РО предусматривает сбор и обработку данных по следующим измеряемым параметрам: объемная активность альфа- и бета-излучающих аэрозолей ($\text{Бк}/\text{м}^3$), мощность амбиентного эквивалента дозы рентгеновского, гамма- и нейтронного излучения ($\text{Зв}/\text{ч}$), амбиентный эквивалент дозы рентгеновского и гамма-излучения (Зв), поглощенная доза гамма-излучения на местности (Гр), плотность потока $1 : (\text{с} \times \text{см}^2)$ и флюенс (см^2) нейтронного излучения, плотность потока альфа- и бета-частиц $1 : (\text{см}^2 \times \text{мин})$, поверхностная активность альфа- и бета-излучающих радионуклидов ($\text{Бк}/\text{см}^2$), объемная (удельная) активность радионуклидов в технологических средах и жидкости, в пробах объектов внешней среды ($\text{Бк}/\text{м}^3$, $\text{Бк}/\text{кг}$).

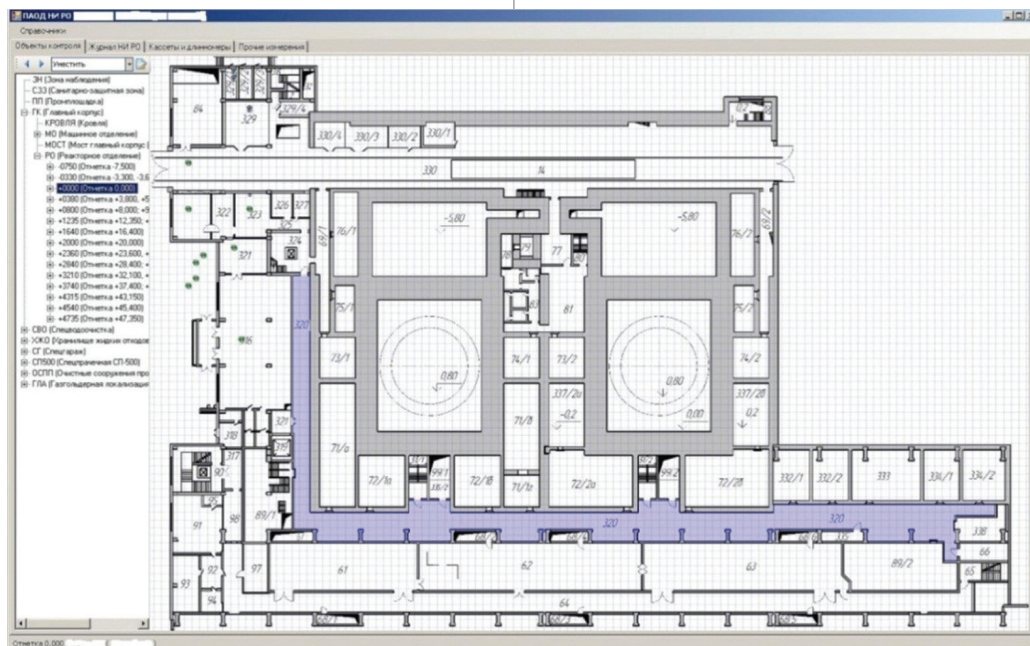


Рис. 1. Элементы управления графического интерфейса АРМ оператора ПАОД НИ РО

Сформированный маршрут в виде задания сохраняется в базе данных, печать осуществляется в соответствии с формой бланка 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

Данные о параметрах получают измерением с помощью носимых дозиметров-радиометров, отбором воздуха на фильтрующую ленту с измерением суммарной объемной активности альфа- и бета-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 нерегламентных измерений радиационной обстановки, в зависимости от расположения точки контроля, классифицируются как данные о радиационной обстановке в помещениях АЭС, на промплощадке, в санитарно-защитной зоне, зоне наблюдения.

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

ПАОД НИ РО обеспечивает автоматизированное выполнение следующих функций: формирование задания на проведение нерегламентных измерений, 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 автоматизированной системы радиационного контроля энергоблоков № 1 и № 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 измерений. Отображение результатов нерегламентных измерений радиационной обстановки при просмотре осуществляется в виде таблиц, графиков (рис. 2, 3), предварительно отсканированных результатов выполнения измерений и текстовых комментариев.

Нерегламентные измерения могут носить разный характер (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 отдела радиационной безопасности анализирует проведенные ранее измерения на объекте, определяет контролируемые радиационные параметры, маршрут проведения измерений и количество точек контроля, необходимые технические средства, проверяет 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 к измерению. Анализ выполняется персоналом 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, исключая 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 НИ 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.

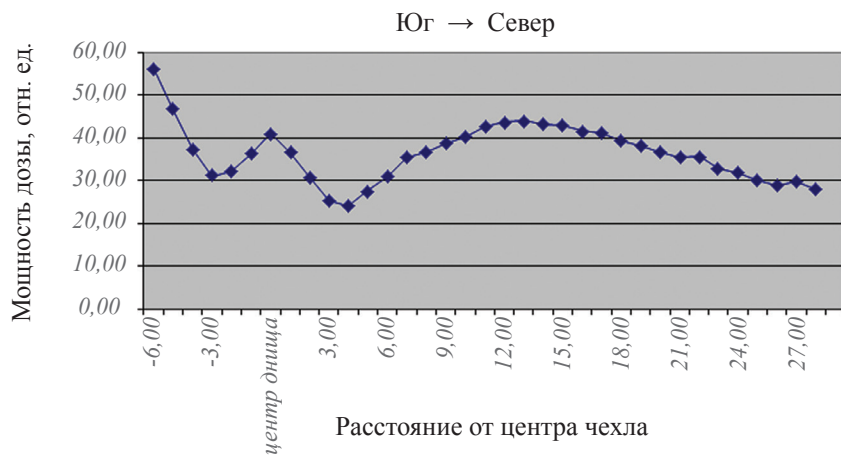


Рис. 2. Распределение мощности экспозиционной дозы на расстоянии 1,0 м от длинномерного объекта в чехле в радиальном направлении

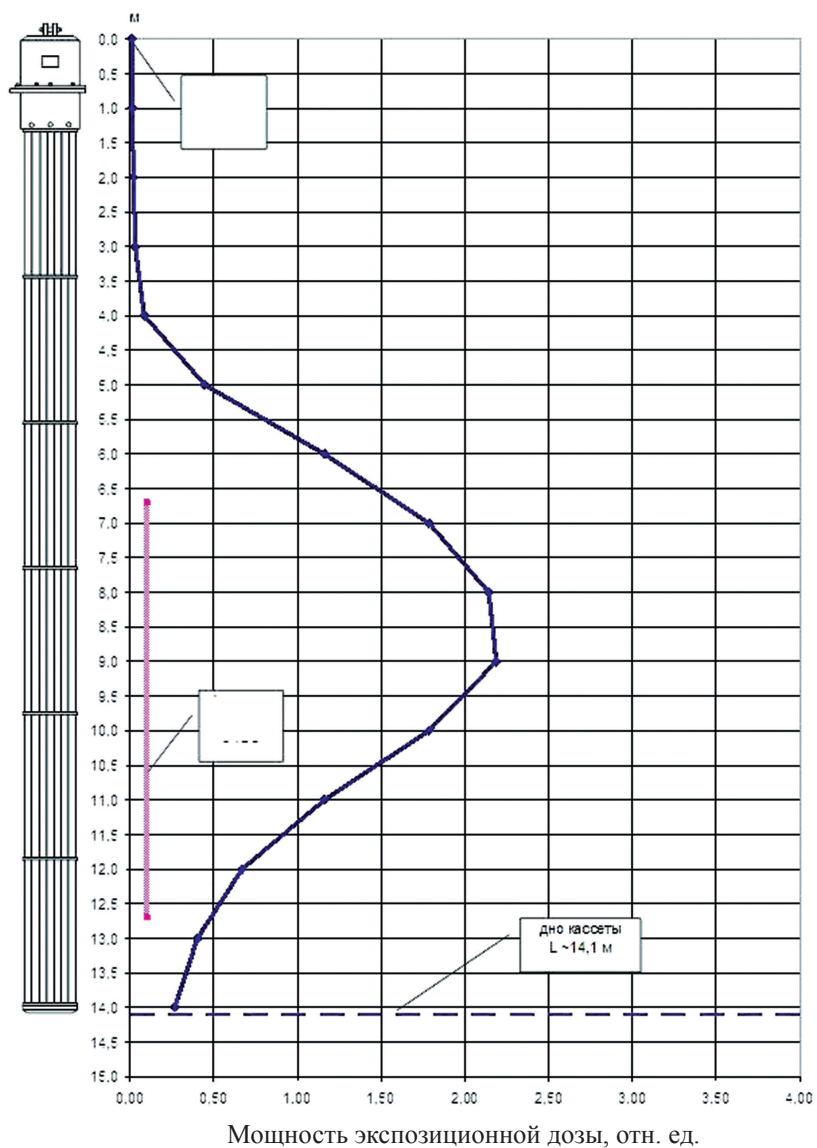


Рис. 3. Распределение мощности экспозиционной дозы от длинномерных объектов

Определение маршрута должно обеспечить выполнение принципа «ALARA» при проведении измерений и минимизировать дозовые нагрузки на персонал, который выполняет инструментальные замеры, производит отбор и анализ проб. Для сложных измерений правильно выбранный маршрут позволяет избежать ненужного дублирования, сократить время измерений, соответственно, снизить дозозатраты персонала.

При выборе технических средств предпочтение отдается тем, которые позволяют 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 нерегламентных измерений радиационной обстановки заключаются в проверке работоспособности аппаратуры, а также в подготовке ее к применению в нестандартных условиях. К подготовительным работам относятся подготовка мазков, пробоотборников, вспомогательного инструмента (шаблонов, линеек, секундомеров и т. д.). Правильная подготовка повышает оперативность измерений, сокращает затраты на обработку результатов, сокращает дозовые нагрузки за счет уменьшения времени измерений.

После подготовительных действий дозиметрист выполняет инструментальные замеры, производит отбор проб в соответствии с заданием. Выполнение измерений 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 нерегламентных измерений радиационной обстановки должна содержаться информация о месте и времени проведения измерений, 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 отдела радиационной безопасности анализирует результаты измерений.

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

Электронные журналы, предназначенные для хранения измеренных значений и последующего их считывания и внесения в базу данных ПАОД НИ РО, находятся в энергонезависимой памяти приборов, с помощью которых проводится выполнение измерений. Файловые архивы измеренных значений объемной активности альфа- и бета-излучающих аэрозолей находятся на дисковых накопителях мобильных станций сбора данных 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 Уральского отделения 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 определению параметров радиационной обстановки (измерение мощности дозы, взятие проб и т. д.) [15]. На рис. 4 приведен пример определения оптимального маршрута при посещении заданных точек в помещении.

На основании данного алгоритма планируется создание программного обеспечения, позволяющего автоматизировать процесс формирования оптимального маршрута, используя базу данных, формируемую в рамках ПАОД НИ РО, в том числе данных по радиационной обстановке в помещениях (рис. 5), выдачи задания на выполнение работ по измерению параметров радиационной обстановки и, соответственно, минимизировать дозы облучения дозиметристов.

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 [16].

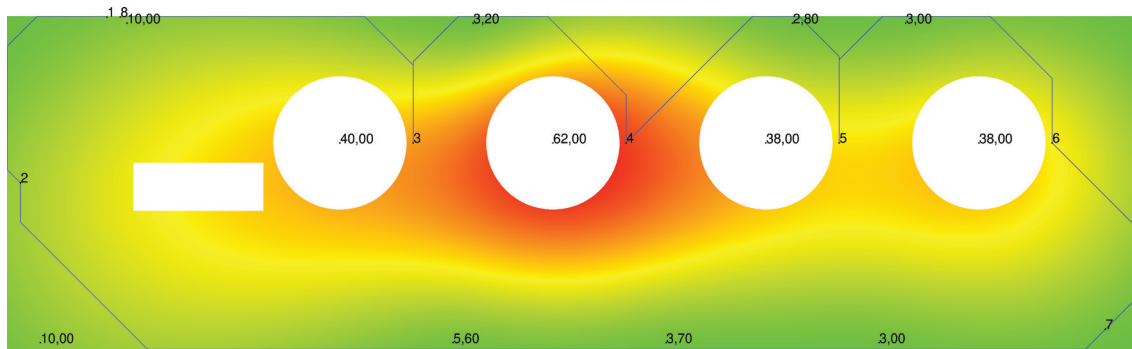


Рис. 4. Пример определения оптимального маршрута в помещении

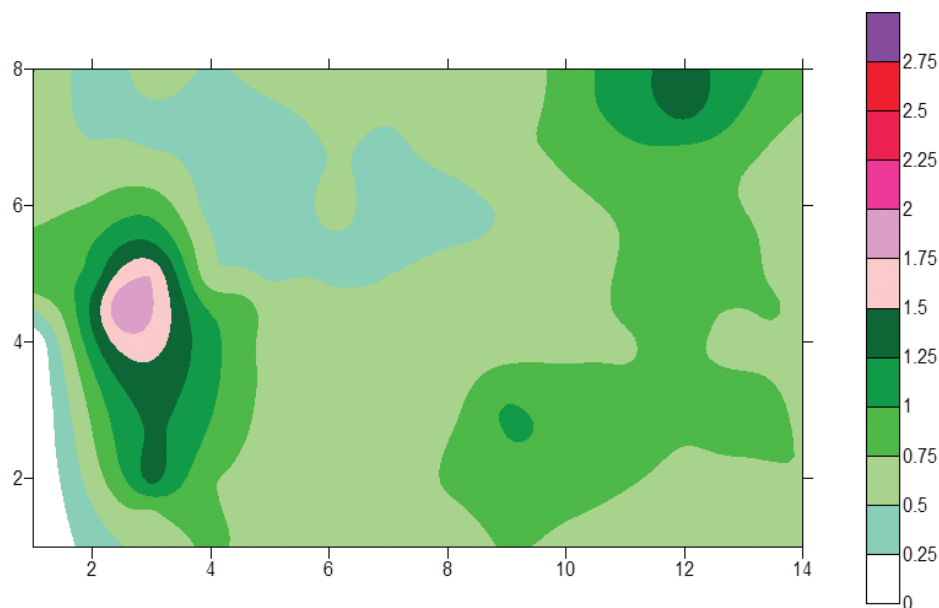


Рис. 5. Визуализация распределения мощности амбиентного эквивалента мощности дозы по площади помещения, отн. ед.

Заключение

ПАОД НИ РО за счет наполнения базы данных позволяет планировать радиационно опасные работы по демонтажу оборудования, транспортировке демонтированного оборудования, обращению с РАО с учетом принципа «ALARA», минимизировать дозовые нагрузки на персонал при выполнении измерений путем маршрутной оптимизации. В настоящее время на БАЭС создан опытный образец подсистемы, по результатам эксплуатации которой будут дорабатываться программное обеспечение 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. Создание и наполнение баз данных является важной

составляющей для оптимизации радиационной защиты при рассмотрении вопросов планирования и проведения радиационно опасных работ. При создании баз данных желательно не ограничиваться дозиметрическими данными. Очень полезно иметь информацию о выполненных конкретных мероприятиях с оценкой их эффективности. 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.

Список литературы

1. Кропачев Ю. А., Ташлыков О. Л., Щеклеин С. Е. Оптимизация радиационной защиты на этапе вывода энергоблоков АЭС из эксплуатации // Известия вузов. Ядерная энергетика. 2019. № 1.
2. Программа оптимизации радиационной защиты персонала на АЭС (2015 – 2019 гг.). – М.: АО «Концерн Росэнергоатом», 2015.
3. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций. НП-001-15: утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 17.12.2015 г. № 522. Введены с 16 февраля 2016 г.
4. 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.
5. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Правила обеспечения безопасности при выводе из эксплуатации блока АС. НП-012-16: утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 10.01.2017 г. № 5. Введены с 5 марта 2017 г.
6. ГОСТ 20886-85. Организация данных в системах обработки данных. Термины и определения.
7. МУ 2.6.5.054-2017. Оптимизация радиационной защиты персонала предприятий Госкорпорации «Росатом». Методические указания. – М.: Федеральное медико-биологическое агентство, 2017 г.
8. 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. 2016. Vol. 121. No. 4.
9. Ташлыков О. Л., Щеклеин С. Е., Хомяков А. П., Русских И. М., Селезнев Е. Н. Расчетно-экспериментальное исследование гомогенных защит от гамма-излучения // Ядерная и радиационная безопасность. 2015. № 3 (77).
10. 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.
11. 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.
12. 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 вузов. Ядерная энергетика. 2009. № 4.
13. 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. Vol. 190. № 2.
14. Кропачев Ю. А., Ташлыков О. Л. Оптимизация радиационной защиты на этапе вывода энергоблоков АЭС из эксплуатации / Перспективные энергетические технологии. Экология, экономика, безопасность и подготовка кадров – 2016. Материалы научно-практической конференции. Екатеринбург, УрФУ, 11 октября 2016 г.
15. Grigoryev A. M., Tashlykov O. L. Solving a routing optimization of works in radiation fields with using a supercomputer / AIP Conference Proceedings 2018. Vol. 2015, Article Number 020028. Электронный ресурс: <https://doi.org/10.1063/1.5055101>. Дата обращения: 26.08.2019.
16. 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, 14 – 18 мая 2018 г.

References

1. Kropachev Y. A., Tashlykov O. L., Shcheklein S. E. Optimization of radiation protection at the stage of nuclear power plant units decommissioning // Izvestia vuzov. Nuclear power. 2019. No. 1.
2. Program of optimization of NPP personnel radiation protection (2015 – 2019). – M.: Concern Rosenergoatom, 2015.
3. Federal rules and regulations in the field of nuclear energy. General provisions for safety of nuclear power plants. NP-001-15: approved by Order No. 522 dated 17.12.2015 of the Federal Service for environmental, technological and nuclear supervision. In force since 16 February 2016.
4. Nosov Yu. V., Rovneiko A.V., Tashlykov O. L., Shcheklein S. E. Peculiar features of decommissioning of BN-350, BN-600 fast reactors // Atomic energy. 2018. V. 125. No. 4.

5. Federal rules and regulations in the field of nuclear energy. Safety rules for decommissioning of NPP unit. NP-012-16: approved by Order No. 5 dated 10.01.2017 of the Federal Service for ecological, technological and nuclear supervision, No. 5. Introduced on 5 March 2017.
6. GOST 20886-85. Data organization in data processing systems. Terms and definitions.
7. MU 2.6.5.054-2017. Optimization of radiation protection of Rosatom State Corporation personnel. Guidelines. – М.: Federal Medical and Biological Agency, 2017.
8. 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. 2016. Vol. 121. No. 4.
9. Tashlykov O. L., Shcheklein S. E., Khomyakov A. P., Russkikh I. M., Seleznev E. N. Computational and experimental study of homogeneous protection from gamma radiation // Nuclear and radiation safety. 2015. No. 3 (77).
10. Tashlykov O. L., Shcheklein S. E., Lukyanenko V. Yu., Mikhailova A. F., Russkikh I. M., Seleznev E. N., Kozlov A. V. Optimization of radiation protection composition // Proceedings of higher educational institutions. Nuclear power. 2015. No. 4.
11. Tashlykov O. L., Sesekin A. N., Shcheklein S. E., Balushkin F. A., Chentsov A. G., Khomyakov A. P. Possibilities of mathematical modeling methods in solving the problem of reducing personnel exposure // Issues of radiation safety. 2009. No. 4.
12. Balushkin F. A., Sesekin A. N., Tashlykov O. L., Cheblov I. B., Shcheklein S. E., Chentsov A. G. Use of dynamic programming method to optimize the dismantling of NPP units under decommissioning to minimize radiation exposure // Izvestiya vuzov. Nuclear power. 2009. No. 4.
13. Sesekin A. N., Tashlykov O. L., Shcheklein S. E., Chentsov A. G. Route optimization in the removal of radiation hazards // WIT Transactions on Ecology and the Environment. 2014. Vol. 190. No. 2.
14. Kropachev Y. A., Tashlykov O. L. Optimization of radiation protection at the stage of NPP unit decommissioning / Advanced power technologies. Ecology, economy, safety and staff training. 2016. Materials of scientific-practical conference. Ekaterinburg, Urfu, 11 October 2016.
15. Grigoryev A. M., Tashlykov O. L. Solving a routing optimization of works in radiation fields with using a supercomputer / AIP Conference Proceedings 2018. Vol. 2015, Article Number 020028. Electronic resource: <https://doi.org/10.1063/1.5055101>. Access date: 26.08.2019.
16. Shansharov V. A., Tashlykov O. L. Development of a 3D Model of Radiation-Dangerous Room for the Training of NPP Personnel / V international youth scientific conference (Section 5): Physics. Technologies. Innovation FTI-2018. Abstracts. Ekaterinburg, Ural Federal University, 14 – 18 May 2018.

