

ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ОБОСНОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ ЯДЕРНОГО НАСЛЕДИЯ

Блохин П.А. *, Ванеев Ю.Е. *, Ковальчук В.Д. *, Крючков Д.В. *, Мёвиус В.В.**

** Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН
115191, г. Москва, Большая Тульская ул., д. 52*

*** АО «Опытно-демонстрационный центр вывода из эксплуатации уран-графитовых реакторов»*

636000, ЗАТО Северск, Томская обл., а/я 654



В ближайшей перспективе крайне актуальными становятся задачи по определению дальнейшей судьбы объектов ядерного наследия, в том числе вариантов вывода из эксплуатации на основе детальных обоснований соответствующих проектов. Широкой практики решения подобных задач в России не выработано, а первые шаги в этом направлении сделаны в рамках реализации ФЦП «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года». Вопросы, возникающие при обосновании проектов вывода из эксплуатации подобных объектов, в части оценки радиационной защиты и безопасности как населения, так и персонала существенно отличаются от задач, возникающих при проектировании новых объектов ядерной техники. Это обусловлено критической нехваткой информации как о самих объектах ядерного наследия, так и о РАО, размещенных в них. Дополнительные сложности возникают из-за того, что со времени создания этих объектов существенно изменились нормативные требования, предъявляемые к объектам данного типа. Поэтому разработка подходов к обоснованию ядерной, радиационной и экологической безопасности таких объектов является крайне актуальной задачей. Для решения множества возникающих задач в рамках данной проблемы разработан программно-технический комплекс ОБОЯН, объединивший программные и аппаратные средства и обеспечивающий проведение анализа и обоснования безопасности ОЯН в их текущем состоянии и в долгосрочной перспективе. Основными компонентами комплекса являются расчетные модули для моделирования радиационных полей, миграции радионуклидов, распространения загрязнений в водной и воздушной средах, а также для оценки дозовых нагрузок и рисков для человека. Цель работы – описание структуры, функциональных возможностей этого комплекса и примеров его применения.

Ключевые слова: ядерное наследие, математическое моделирование, радиоактивные отходы, обоснование безопасности, инженерные барьеры, вмещающая среда, перенос излучения, миграция радионуклидов.

ВВЕДЕНИЕ

Проведение анализа ядерной, радиационной и экологической безопасности объектов использования атомной энергии требуется на протяжении всех этапов их жизнен-

© Блохин П.А., Ванеев Ю.Е., Ковальчук В.Д., Крючков Д.В., Мёвиус В.В., 2016

ного цикла, а его результаты служат основой при разработке документов, необходимых для получения лицензий на осуществление определенных видов деятельности. Такой анализ проводится на основе проектных данных, результатов комплексного инженерно-радиационного обследования (КИРО) объектов и прогнозного моделирования значимых процессов, сопровождающих их эволюцию.

Особые трудности возникают при анализе безопасности ядерно- и радиационно опасных объектов (ЯРОО), относящихся к объектам ядерного наследия (ОЯН) [1 – 3], количество которых в России порядка двух тысяч [4]. Это обусловлено целым рядом факторов. Во-первых, принципиальное отличие в подходах к обоснованию безопасности в сравнении с проектируемыми и строящимися объектами. Для новых объектов есть возможность выбора подходящей площадки, материалов и пр., тогда как для объектов наследия ситуация существенно отличается вследствие большого количество неопределенностей и мест их размещения, которые, как правило, не соответствуют современным требованиям. Во-вторых, большинство таких объектов создано в период становления атомной отрасли при менее жёстких (по сравнению с современными) нормативных требованиях по обеспечению безопасности. Эксплуатация большинства из них прекращена ещё в прошлом столетии, а системы защитных барьеров, препятствующие распространению радиоактивных веществ в окружающую среду, вырабатывают свой ресурс. Как правило, частично или полностью отсутствует документированная история эксплуатации объекта, неизвестно текущее состояние барьеров безопасности, часть информации, необходимой для описания состояния объекта, не может быть восстановлена в связи с длительным периодом эксплуатации объекта, а сохранившаяся информация, порой, не в полной мере соответствует действительности вследствие аварий и мероприятий по их устранению, модернизаций систем, оборудования и отдельных конструкций.

В отношении подавляющего числа таких объектов в последние десятилетия реализовывалась практика «отложенного решения». Поэтому в ближайшей перспективе крайне актуальными становятся задачи по определению дальнейшей судьбы этих объектов, т.е. варианта заключительной стадии их жизненного цикла, в том числе проведение оценок приоритетности и целесообразности реализации того или иного варианта вывода из эксплуатации (ВЭ) и детального обоснования проекта ВЭ.

Для решения множества описанных задач в рамках представленной проблемы специалистами ИБРАЭ РАН разработан программно-технический комплекс ОБОЯН (Обоснование безопасности объектов ядерного наследия) [5], соответствующий современным международным практикам и обеспечивающий проведение анализа и обоснование безопасности объектов ядерного наследия в их текущем состоянии и в долгосрочной перспективе, что позволит обоснованно подходить к принятию управленческих решений по приоритетности и срокам реализации мероприятий в части обеспечения безопасности.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Проведение исследований в части анализа ядерной, радиационной и экологической безопасности предполагает применение современных средств расчетного моделирования значимых физико-химических процессов в наиболее вероятных сценариях эволюции ЯРОО при наличии объективной и достаточной информации об этих объектах.

При этом необходимо использовать комплексный подход для оценки радиационных рисков человека на основании всей совокупности воздействующих факторов, оцененных по результатам выполненных исследований – как расчетных, так и экспериментальных. После постановки задачи, сбора имеющейся информации по объекту исследования и оценки ее достаточности и достоверности формируется перечень практических задач для проведения КИРО, целью которого является получение недостающей инфор-

мации об источнике излучения, текущем состоянии инженерных барьеров безопасности и свойствах вмещающей среды. Для рассматриваемых вариантов эволюции объекта проводятся расчетные оценки дозовых нагрузок на персонал и (или) население и соответствующих им радиационных рисков.

Такой подход заложен в основу требований к функциональному содержанию комплекса ОБОЯН, структура которого сформирована на основании принципов обеспечения максимальной совместимости различных систем, возможностей его автономного применения как в полном объеме, так и в отношении отдельных модулей или их комбинаций. При разработке программно-технических средств учитывали особенности ОЯН с соблюдением принципа создания единой информационной среды, обеспечивающей последовательную работу отдельных подсистем и специализированных модулей.

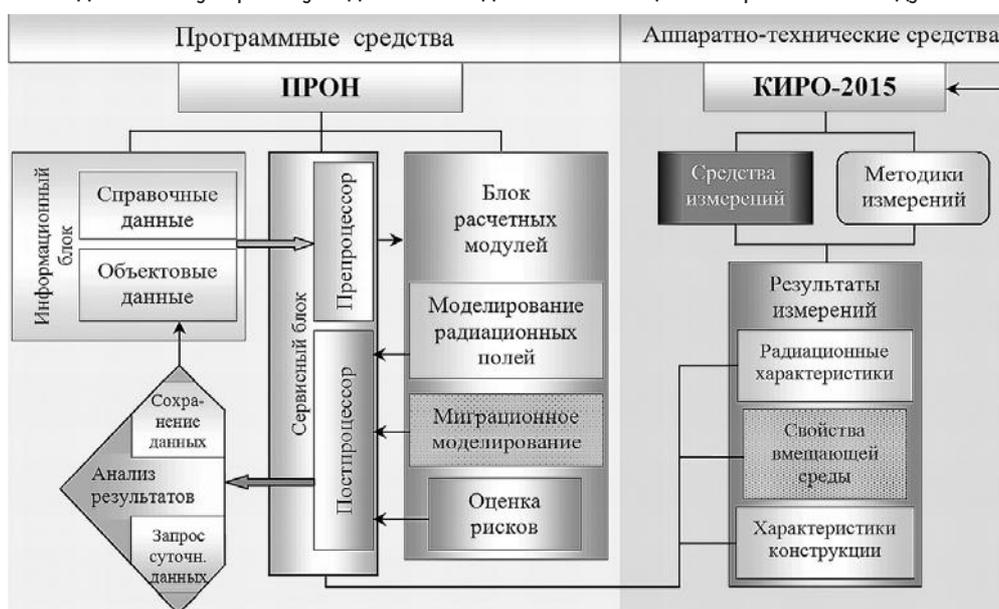


Рис. 1. Схема комплекса ОБОЯН

Комплекс ОБОЯН состоит из двух основных компонентов (рис. 1). Первый компонент – программно-информационный комплекс ПРОН (Программный комплекс обоснования безопасности объектов наследия), состоящий из трех блоков: информационного, расчетного и сервисного. Второй компонент – комплекс аппаратно-технических средств КИРО-2015, который предназначен для выполнения измерений и практических исследований с целью получения полного набора исходных данных, необходимых для последующего расчетного моделирования. Все средства, входящие в комплекс КИРО-2015, условно разделены по их функциональному назначению на три группы в соответствии с типом определяемых параметров: радиационные характеристики объекта, конструкционные характеристики и свойства вмещающей среды.

Ключевым элементом комплекса ПРОН является блок моделирования физических процессов, связанных с переносом радионуклидов и ионизирующего излучения в различных средах. Этот блок имеет следующие возможности: моделирование радиационных полей; миграции радионуклидов из зоны их первичной локализации, включая камерное и трехмерное моделирование; распространение загрязнений в водной и воздушной средах; оценка дозовых нагрузок и рисков для человека.

Информационный блок комплекса ПРОН состоит из справочной и объектовой подсистем. В первой собраны справочные данные, необходимые для обоснования безопасности: обобщенная информация об объекте, российские и международные нормативные

документы [6 – 12], данные по характеристикам радионуклидов (из библиотек оцененных ядерных данных [13, 14]), свойствам вмещающей среды и пр. В подсистеме объектовых данных хранится информация для каждого объекта по следующим разделам: общая информация, расположение и состояние объекта, проектные данные, радиационные характеристики, параметры вмещающей среды и обработанные данные, полученные в ходе выполнения КИРО.

Блок сервисного обеспечения предназначен для функционирования единого информационно-вычислительного пространства, необходимого для организации взаимодействия структурных единиц комплекса, формирования файлов исходных данных для моделирования, обработки первичных результатов расчетов, а также представления результатов анализа безопасности. В этом блоке обрабатываются и результаты измерений техническими средствами, входящими в состав комплекса КИРО-2015, которые сохраняются в объектовой базе данных для последующего анализа и применения.

ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА КОМПЛЕКСА ПРОН

Основные расчетные модули, входящие в состав комплекса ПРОН, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Программные средства комплекса ПРОН

Назначение модуля	Функции модуля
Моделирование радиационных полей	Расчет в трехмерной геометрии интегральных и дифференциальных характеристик полей излучений и оценка дозовой нагрузки на персонал
Миграционное моделирование	Расчет параметров миграции радионуклидов через инженерные барьеры безопасности на основе моделей с сосредоточенными параметрами (камерные модели)
	Расчет параметров миграции радионуклидов в геологической среде на основе моделей с распределенными параметрами (трехмерные модели)
	Расчет параметров распространения радионуклидов в поверхностных водоемах и водотоках
	Расчет параметров распространения радионуклидов в воздушной среде
Оценки радиационных рисков	Оценка дозовой нагрузки на население
Оценки радиационных рисков	Прогноз рисков для человека при остром и пролонгированном радиационном воздействии

Для моделирования переноса фотонов и нейтронов используется программа, реализующая метод Монте-Карло. Преимуществом программ такого класса является возможность задания сложной трехмерной геометрии, что позволяет создавать расчетные модели любых объектов. Разработаны программы-конверторы данных по геометрии, материалам и источникам, обеспечивающие автоматизированное создание сложных расчетных моделей и описание многоэтапного процесса демонтажа конструкций [15]. Формирование соответствующих разделов файла исходных данных в формате расчетной программы реализовано путем конвертации специально разработанной шаблонной САПР-модели объекта. В такой модели помимо геометрических параметров используются ссылки на данные о материалах и источниках из информационной системы. Конечной целью расчетов является оценка дозы, которую может получить человек, проводящий работы в моделируемой радиационной обстановке. В системе сервисного обеспечения реализована возможность визуализации САПР-модели и результатов расчета пространственного распределения мощности дозы.

Моделирование миграции радионуклидов в геосфере является одним из наиболее важных этапов при проведении прогнозного долгосрочного анализа безопасности ЯРОО и оценке его влияния на окружающую среду и человека. В комплексе ПРОН реализована возможность использования в качестве расчетного ядра различных кодов, основанных на применении принципа камерного моделирования миграции в ближней зоне, включая инженерные барьеры безопасности (с учетом формата исходных данных для каждого кода). Универсальный интерфейс и расчетный код составляют базовый модуль расчета миграции радионуклидов в составе комплекса ПРОН. Помимо основных функций интерфейс обеспечивает возможность задания исходных параметров для расчета на основе данных из информационной системы (параметры цепочек распадов радионуклидов, свойства вмещающей среды и пр.), что позволяет минимизировать вероятность ошибок при формировании расчетной модели. В модуль включены функции анализа чувствительности результатов расчета к неопределенностям входных параметров. С целью оптимизации создания расчетных моделей разработаны дополнительные возможности:

- проведение экспресс-оценок – расчетов с использованием стандартных подходов к моделированию объектов определенного типа;
- применение шаблонов – специально созданных унифицированных обобщенных моделей, соответствующих типовым объектам и позволяющих проводить расчеты с учетом деградации инженерных барьеров безопасности и неклассических процессов переноса радионуклидов в геологической среде.

Программы, реализующие принцип камерного моделирования, позволяют оценить скорость выхода радионуклидов в водоносный горизонт и далее до места разгрузки и (или) потребления человеком. Для более сложных систем, которые требуют детального описания геологии, и для расчетов дальнейшей зоны может быть использован модуль трехмерного моделирования миграции радионуклидов.

В комплекс также включены модули расчета миграции радионуклидов в поверхностных водоемах и водоотоках, параметров сорбции с использованием современных методов геохимического моделирования с учетом свойств фильтрующих сред и химического состава вод, атмосферного переноса радиоактивных выбросов от локальных источников, дозовых нагрузок на человека от внутреннего облучения, радиационных рисков.

Таким образом, в программно-информационном комплексе ПРОН сосредоточены современные расчетные средства для проведения комплексного анализа и выработки прогнозной оценки безопасности ОЯН.

АППАРАТНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА КОМПЛЕКСА КИРО-2015

Комплекс КИРО-2015 предназначен для определения характеристик исследуемого объекта, необходимых для проведения последующего расчетного моделирования средствами комплекса ПРОН. Измерительное оборудование целенаправленно формировалось для определения

- радиационных характеристик объекта: интегральные параметры полей излучений (доза и мощность дозы нейтронного и гамма-излучений, плотность потока излучений) и дифференциальные параметры (энергетические спектры нейтронного и гамма-излучений для идентификации радионуклидного состава источников излучений в исследуемом объекте);
- параметров конструктивных элементов объектов, в первую очередь, барьеров безопасности, мест возможных их разрушений, других дефектов и неоднородностей, необходимых для последующей оценки текущего состояния и остаточного ресурса сооружений;
- свойств вмещающей среды, необходимых для моделирования миграции радионуклидов, включая характеристики грунтов, определяющих особенности геологического

строения, состава пород и их свойств, расположения уровня грунтовых вод.

Весь комплект оборудования формировался и применялся на площадке АО «ОДЦ УГР». Для возможности дальнейшего использования результатов измерений и их интеграции в информационную систему комплекса ПРОН разработаны специализированные сервисные модули. Для успешного применения оборудования и получения корректных данных разработаны, аттестованы и апробированы соответствующие методики измерений.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ОТРАБОТКА РАЗРАБОТАННЫХ АППАРАТНЫХ И РАСЧЕТНЫХ СРЕДСТВ

В течение 2014 – 2015 гг. комплекс ОБОЯН и его отдельные модули успешно применялись для решения практических задач при оценке безопасности ЯРОО. За этот период выполнены обоснования по отнесению РАО к особым в отношении более чем 50-ти объектов [16]. Для этих целей применялись базовые модули камерного моделирования миграции и расчета дозовых нагрузок на население.

С целью детальной отработки функциональных возможностей комплекса для выбранного объекта на площадке АО «ОДЦ УГР» (бетонный пункт хранения твердых РАО) были выполнены расчеты дозовых нагрузок на человека в соответствии с различными сценариями обращения с РАО (захоронение на месте или удаление РАО).

Окончательное решение по варианту ВЭ принимается после всестороннего анализа безопасности объекта с использованием в качестве исходных данных для расчетного моделирования актуальной информации о состоянии РАО, инженерных барьеров безопасности и вмещающей среды.

Для анализа сценариев, учитывающих реальное состояние хранилища, с использованием средств комплекса КИРО-2015 были проведены дополнительные обследования, в результате которых получены следующие результаты:

- данные о радиационной обстановке на территории размещения хранилища;
- радионуклидный состав и удельная активность образцов РАО;
- физические характеристики инженерных барьеров безопасности, в том числе изоляционные;
- химический состав воды;
- физические свойства вмещающей среды (состав, плотность, пористость и пр.);
- изображения внутреннего пространства хранилища.

Получение и обработка экспериментальных данных осуществлялись в соответствии с методиками выполнения измерений, разработка и метрологическая аттестация которых являлась одним из условий создания комплекса. Так для получения результатов радиационных обследований использовались методики [17, 18], а для оценки степени деградации инженерных барьеров безопасности и определения свойств вмещающей среды – методики [19, 20].

В результате выполненных исследований были уточнены исходные данные для дальнейшего расчетного моделирования.

Для варианта «захоронение на месте» рассмотрен сценарий, при котором происходит регулярное поступление инфильтрационных осадочных вод в хранилище.

Расчетная камерная модель (рис. 2) включает в себя камеры источника радионуклидов 1, инженерных барьеров безопасности – бетона 3 и технического грунта 5, прилегающих пород ненасыщенной зоны 7 и пород насыщенной зоны водоносного горизонта 9 и далее до места разгрузки 13. Результаты расчета динамики среднегодовой дозовой нагрузки на группы населения приведены на рис. 3.

Для рассматриваемого ПХ дозовые нагрузки для всех критических групп населения даже в долгосрочной перспективе не превысят 10 мкЗв/год, что соответствует отечественным нормативным требованиям. На заключительном этапе могут быть оценены радиационные риски в соответствии с рекомендациями МКРЗ.

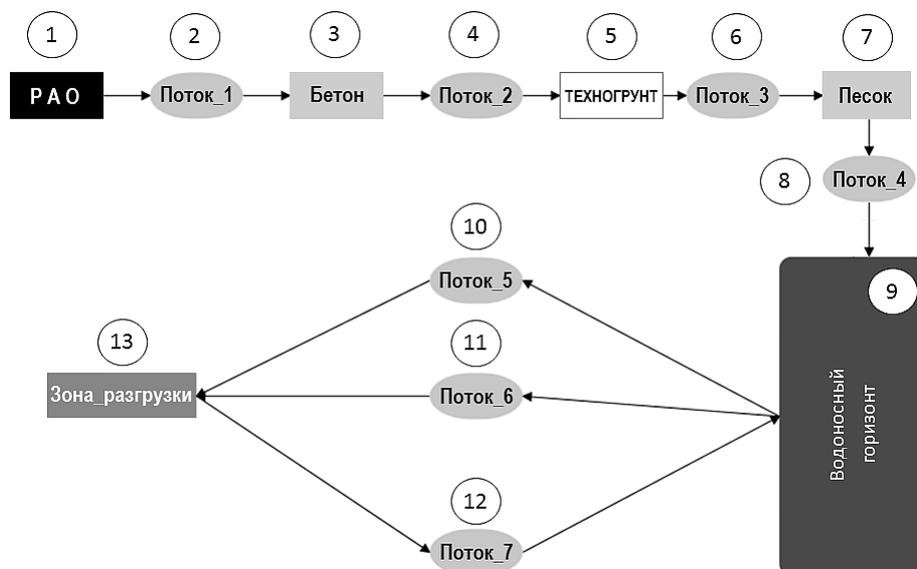


Рис. 2. Камерная модель хранилища в конструкторе модуля миграции: 1, 3, 5, 7, 12 – камеры; 2, 4, 6, 8, 10, 11, 12 – потоки; 9 – шаблон

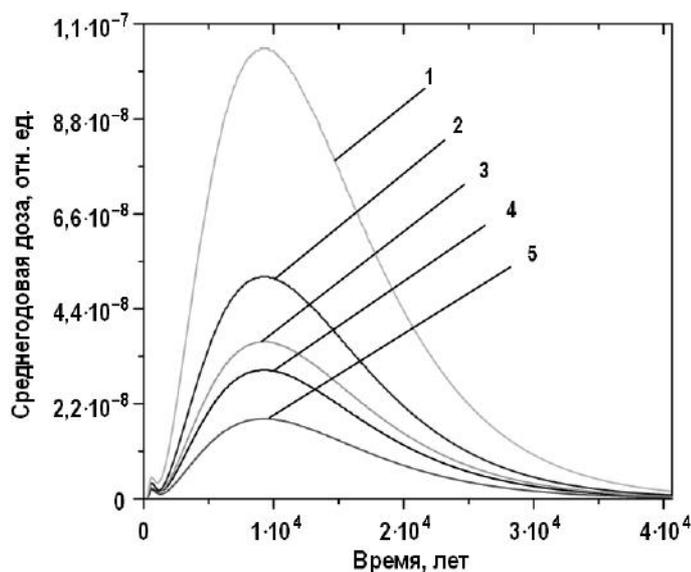


Рис. 3. Динамика дозовых нагрузок за счет миграции радионуклидов из ПХ для возрастных критических групп населения в контрольной точке: 1 – 2 года (1); 2 – 7 лет (2); 7 – 12 лет (3); 12 – 17 лет (4); взрослые (5)

При дальнейшей детализации расчетной модели переноса радионуклидов могут быть учтены отклонения кинетики миграционных процессов от общепринятых классических закономерностей. Данные механизмы могут играть ключевую роль в процессах как замедления выхода радионуклидов в биосферу (за счет эффекта двухпористости), так и его ускорения (за счет конкурирующего процесса коллоидного переноса). С помощью камерного моделирования могут быть выявлены основные закономерности указанных механизмов и проведены оценки их абсолютного эффекта при значениях исходных параметров, характерных для реальных геологических систем.

В качестве альтернативного сценария рассмотрен вариант удаления РАО из ПХ. В данном случае смоделирован его поэтапный демонтаж с извлечением порций РАО и

последующей их контейнеризацией. В качестве основного сценария демонтажа ПХ рассматривается последовательный разбор верхнего перекрытия, состоящего из бетонных плит. Предполагается, что кран снимает по одной плите, затем экскаватором с грейферным ковшом извлекаются и перемещаются РАО в контейнер, повторяя процедуру до их полного удаления из ПХ.

На рисунке 4а приведена САПР-модель ПХ после удаления первой плиты и нескольких порций РАО, визуализированная средствами комплекса ОБОЯН.

При таком сценарии основная дозовая нагрузка приходится на оператора экскаватора. На рисунке 4б показано распределение мощности дозы на высоте двух метров (на уровне оператора) при вскрытии одной плиты (до начала извлечения РАО). Из графика видно, что расположение оператора на расстоянии шести и более метров от центра плиты обеспечивает снижение дозовой нагрузки более чем на порядок даже без применения специальных защитных средств.

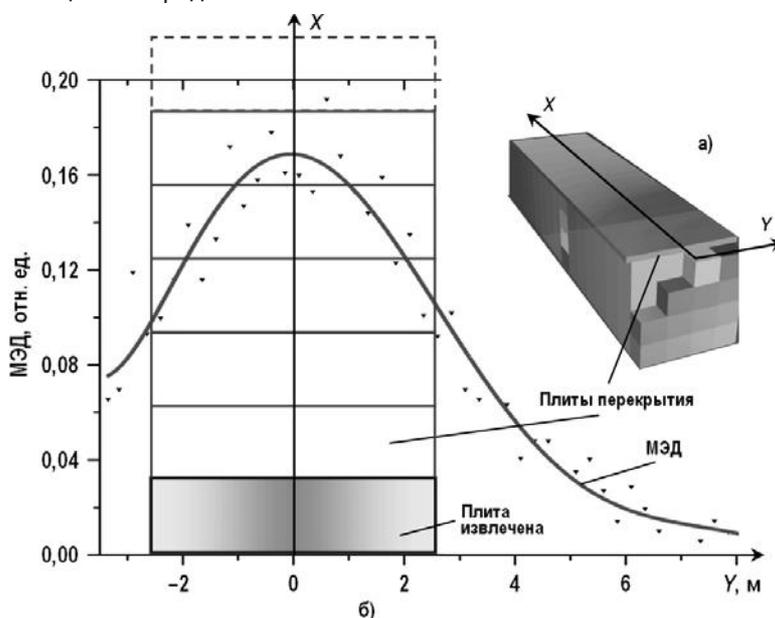


Рис. 4. САПР-модель хранилища (а); распределение мощности дозы от расстояния до осевой линии хранилища на высоте 2 м от поверхности перекрытия (б)

Следует отметить, что несмотря на кажущуюся простоту рассмотренного примера он является достаточно представительным с точки зрения демонстрации возможностей разработанного комплекса. Безусловно, более сложные задачи требуют использования расширенного набора специализированных расчетных средств комплекса (в частности, моделирование переноса радионуклидов в воздушной и водной средах, создание сложных моделей самого объекта и вмещающей среды). В отдельных случаях может потребоваться формирование детализированных трехмерных моделей исследуемых процессов и применение соответствующих программных средств их моделирования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Созданный программно-технический комплекс ОБОЯН, объединивший современные программные и технические средства, обеспечивает единый научно обоснованный подход к решению задач анализа ядерной, радиационной и экологической безопасности объектов ядерного наследия. Встроенные в архитектуру комплекса средства конвертации и визуализации данных, формирования шаблонов и экспресс-моделей, статистической обработки результатов расчетов и измерений позволяют минимизировать вероят-

ность субъективных ошибок при формировании исходных данных для расчетов, сократить время подготовки расчетных моделей, повысить достоверность и информативность получаемых результатов.

В итоге сформирована базовая версия комплекса, в которую включены основные расчетные модули, а также элементы аппаратно-технического комплекса КИРО-2015, системы информационного обеспечения, моделирования и сервисной поддержки.

Комплекс прошел практическую апробацию при анализе безопасности объектов ядерного наследия, итоги которой подтвердили эффективность решений, принятых при его разработке. Результаты расчетного прогнозирования состояний объектов ядерного наследия на основе системного анализа всей совокупности экспериментальной информации, полученной с применением системы КИРО-2015 на объектах АО «ОДЦ УГР» (два ПУГР и пять пунктов хранения РАО), позволили оптимизировать состав и последовательность работ по удалению РАО и созданию дополнительных барьеров безопасности.

Программно-информационный комплекс ПРОН в полном объеме отработан и внедрен на предприятия атомной отрасли (АО «УЭХК», АО «ЧМЗ», ФГУП «ПО «Маяк», ПАО «НЗХК», ПАО «ППГХО», ФГУП «ГХК», АО «СХК» и др.) в ходе выполнения прогнозных оценок долговременной безопасности пунктов хранения РАО в рамках обоснования решений о принципиальной возможности отнесения размещенных в них РАО к особым.

В результате подтверждена работоспособность ключевых систем комплекса ОБОЯН и эффективность их серийного применения.

Подготовлены верификационные отчеты по основным базовым программам, входящим в состав расчетных модулей моделирования радиационных полей и миграции радионуклидов при решении задач анализа и обоснования безопасности ОЯН.

По результатам формирования комплекса зарегистрировано три результата интеллектуальной деятельности (модуль моделирования радиационных полей, базовый модуль миграции и комплекс ОБОЯН в целом), что подтверждает новизну и научно-технический уровень разработок и возможность их отчуждаемости в дальнейшем.

Промышленное применение комплекса позволит сократить расходы, связанные с анализом состояния и прогнозной оценкой безопасности ОЯН. Получаемые результаты будут способствовать обоснованному принятию стратегических решений по дальнейшей судьбе таких объектов.

Работа выполнена в рамках реализации одного из мероприятий федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года».

Литература

1. *Большов Л.А., Лаверов Н.П., Линге И.И. и др.* Проблемы ядерного наследия и пути их решения. Т. 1. – М.: Энегопроманистика, 2012.
2. *Большов Л.А., Лаверов Н.П., Линге И.И. и др.* Проблемы ядерного наследия и пути их решения. Т. 2. – М.: Энегопроманистика, 2013.
3. *Большов Л.А., Лаверов Н.П., Линге И.И. и др.* Проблемы ядерного наследия и пути их решения. Т. 3. – М.: Энегопроманистика, 2015.
4. *Абрамов А.А., Дорофеев А.Н. и др.* К вопросу оценки объема ядерного наследия в атомной промышленности и на иных объектах мирного использования атомной энергии в России // Ядерная и радиационная безопасность. – 2014. – Т. 73. – №3. – С.1-11.
5. *Блохин П.А., Крючков Д.В., Уткин С.С., Линге И.И.* Программно-технический комплекс обоснования безопасности объектов ядерного наследия. / Сб. докл. III Международной научно-технической конференции «Инновационные проекты и технологии ядерной энергетики». – М.: ОАО «НИКИЭТ». – 2014. – Т.2. – С. 251-258.
6. Федеральный закон от 11 июля 2011 г. N 190-ФЗ «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
7. Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопас-

ности НРБ-99/2009» (утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 7 июля 2009 г. N 47).

8. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 26 апреля 2010 г. N 40 «Об утверждении СП 2.6.1.2612-10 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ 99/2010)».

9. Policies and Strategies for Radioactive Waste Management, IAEA Nuclear Energy Strategy No. NW-G-1.1, IAEA, Vienna (2009).

10. Fundamental Safety Principles, IAEA, Safety Standards Series No. SF-1, IAEA, Vienna (2006).

11. Predisposal Management of Radioactive Waste, IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 5, IAEA, Vienna (2009).

12. Strategy and Methodology for Radioactive Waste Characterization, IAEA, -NECDOC-1537, IAEA, Vienna (2007).

13. *Chadwick M.B., Oblozinsky P., Herman M., et. al.* ENDF/B-VII.0: Next Generation Evaluated Nuclear Data Library for Nuclear Science and Technology, Nuclear Data Sheets 107, 2931 (2006).: ENDF/B-VII.0: Next Generation Evaluated Nuclear Data Library for Nuclear Science and Technology, Nucl. Data Sheets, 102, 2931 (2006).

14. *Santamarina A. (Ed), Bernard D., Rugama Y.* «The JEFF-3.1.1 Nuclear Data Library», JEFF Report 22(2009). Доступна на сайте <http://www.nea.fr/>.

15. *Блохин П.А., Ванеев Ю.Е.* Модули расчета радиационных полей в составе программно-информационного комплекса ПРОН. Препринт ИБРАЭ РАН № IBRAE-2013-03. – 2013. – С. 39-42.

16. Особые радиоактивные отходы. / Под общ. ред. И.И. Линге. – М.: ООО «САМ полиграфист», 2015. – 240 с.

17. Методика определения радионуклидного состава источников γ -излучения. / Свидетельство об аттестации № 43165.15176/RA.RU.311243.

18. Методика идентификации типов нейтронных радионуклидных источников по результатам измерения энергетического распределения плотности потока быстрых нейтронов. / Свидетельство об аттестации № 43165.15177/RA.RU.311243.

19. Методика измерений коэффициента распределения радионуклидов ^{90}Sr и ^{22}Na во вмещающей среде (коэффициента сорбции). / Свидетельство об аттестации № 251-RA.RU.311243-2015.

20. Методика измерений характеристик прочности на сжатие несущих конструкций ультразвуковым методом (с градуировкой по кернам, отобранным из конструкций). / Свидетельство об аттестации № 241-01.00294-2010/2015.

Поступила в редакцию 27.06.2016 г.

Авторы

Блохин Павел Анатольевич, м.н.с.

E-mail: Blokhin@ibrae.ac.ru

Ванеев Юрий Евгеньевич, в.н.с.

E-mail: yuvan@ibrae.ac.ru

Ковальчук Василий Дмитриевич, с.н.с.

E-mail: kov@ibrae.ac.ru

Крючков Дмитрий Вячеславович, зав. лаб.

E-mail: dvk@ibrae.ac.ru

Мёвиус Вячеслав Владимирович, начальник технологического управления

E-mail: mevius@yandex.ru

UDC 621.039

SOFTWARE AND TECHNICAL COMPLEX FOR SAFETY SUBSTANTIATION OF NUCLEAR LEGACY FACILITIES

Blokhin P.A. *, Vaneev Yu.E. *, Kovalchuk V.D. *, Kryuchkov D.V. *, Mevius V.V. **

* RAS Nuclear Safety Institute.

52, Bolshaya Tuł'skaya str., Moscow, 115191 Russia

** JSC «Pilot and demonstration center for uranium-graphite reactors decommissioning». ZATI Seversk, Tomsk Region, 636000 Russia, Box 654

ABSTRACT

Problems of determination of the fate of nuclear legacy objects, including, in

particular, the options of decommissioning these objects on the basis of detailed substantiation of relevant projects are becoming extremely important in the nearest future. No practices of wide scope solution of such problems have so far been developed in Russia and the first steps in this direction were made within the framework of implementation of the Federal Target Program «Nuclear and radiation safety assurance in 2008 and for the period until 2015». The issues emerging in the substantiation of projects of decommissioning such objects as pertains to the assessment of radiation protection and safety both for public and for personnel significantly differ from those addressed in designing new objects of nuclear technology. This is explained by the critical shortage of information both about the nuclear legacy objects per se, and, as well, about radioactive wastes disposed inside them. Additional difficulties arise because since the time when these objects were created regulatory requirements imposed on objects of such types underwent significant changes. Therefore, development of approaches to the substantiation of nuclear, radiation and environmental safety of such objects represent extremely important problem. OBOYAN software and technical complex combining software and hardware tools and ensuring implementation of analysis and substantiation of safety of NHOs in their current conditions and in long-term perspective was developed in order to solve numerous problems emerging within the framework of this general task. The main components of the complex are the computational modules for simulation of radiation fields, migration of radionuclides, spread of contamination in aqueous and air media, as well as for evaluation of exposure loads and risks for humans. The purpose of the present paper is to describe the structure and functional capabilities of the complex and to provide some examples of its application.

Key words: nuclear legacy, simulation analysis, radioactive waste, justification of safety, engineering barriers, host medium, radiation transport, radionuclide migration.

REFERENCES

1. Bol'shov L.A., Laverov N.P., Linge I.I., Evstratov E.V., Agapov A.M. Problemy yadernogo naslediya i puti ih resheniya [Solving Nuclear Legacy Challenges] Vol. 1. Moscow. Energopromanalitika Publ., 2012 (in Russian).
2. Bol'shov L.A., Laverov N.P., Linge I.I., Kryukov O.V. Problemy yadernogo naslediya i puti ih resheniya [Solving Nuclear Legacy Challenges] Vol. 2. Moscow. Energopromanalitika Publ., 2013 (in Russian).
3. Bol'shov L.A., Laverov N.P., Linge I.I. Problemy yadernogo naslediya i puti ih resheniya [Solving Nuclear Legacy Challenges] Vol. 3. Moscow. Energopromanalitika Publ., 2015 (in Russian).
4. Abramov A., Dorofeev A., Komarov E.A., Kudryavtsev E.G., Bol'shov L.A., Linge I.I., Abalkina I.L., Biryukov D.V., Vedernikova M.V., Khamaza A.A., Sharafutdinov R.B., Bochkaryov V.V. On the issue of evaluation of nuclear legacy volumes in the nuclear industry and other facilities of peaceful use of nuclear energy in Russia. *Yadernaya i radiacionnaya bezopasnost'*. 2014, v. 73, no. 3, pp. 1-11 (in Russian).
5. Blokhin P.A., Kryuchkov D.V., Utkin S.S., Linge I.I. Software and technical complex for safety substantiation of nuclear legacy facilities. Sb. dokladov III mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferencii «Innovacionnye proekty i tehnologii yadernoj energetiki» [Software and technical complex for safety substantiation of nuclear legacy facilities. Proceedings of the III International scientific-technical conference «Innovation projects and technologies of nuclear power generation».] Moscow. NIKIET Publ., 2014, v. 2, pp. 251-258 (in Russian).
6. Federal Law No. 190-FZ dated July 11, 2011 «On the Management of Radioactive Waste and Amendments to Certain Legal Acts of the Russian Federation» (in Russian).
7. Radiation Safety Norms (NRB-99/2009). SanPin 2.6.1.2523-09. – To replace NRB-99: approved by the Ministry of Health of the RF on July 7, 2009. Put into effect as of September 1, 2009. Moscow, 2009, 61 p. (in Russian).

8. Main Sanitary Regulations for Radiation Safety (OSPORB-99-2010). SP 2.6.1.2612-10: approved by the Chief Sanitary Doctor of the RF. Moscow. 2010 (in Russian).
9. Policies and Strategies for Radioactive Waste Management, IAEA Nuclear Energy Strategy No. NW-G-1.1, IAEA, Vienna (2009).
10. Fundamental Safety Principles, IAEA, Safety Standards Series No. SF-1, IAEA, Vienna (2006).
11. Predisposal Management of Radioactive Waste, IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 5, IAEA, Vienna (2009).
12. Strategy and Methodology for Radioactive Waste Characterization, IAEA, -NECDOC-1537, IAEA, Vienna (2007).
13. Chadwick M.B., Oblozinsky P., Herman M., Greene N.M., McKnight R.D., Smith D.L., Young P.G., MacFarlane R.E., Hale G.M., Frankle S.C., Kahler A.C., Kawano T., Little R.C., Madland D.G., Moller P., Mosteller R.D., Page P.R., Talou P., Trelue H., White M.C., Wilson W.B., Arcilla R., Dunford C.L., Mughabghab S.F., Pritychenko B., Rochman D., Sonzogni A.A., Lubitz C.R., Trumbull T.H., Weinman J.P., Br D.A., Cullen D.E., Heinrichs D.P., McNabb D.P., Derrien H., Dunn M.E., Larson N.M., Leal L.C., Carlson A.D., Block R.C., Briggs J.B., Cheng E.T., Huria H.C., Zerkle M.L., Koziar K.S., Courcelle A., Pronyaev V., and van der Marck S.C. «ENDF/B-VII.0: Next Generation Evaluated Nuclear Data Library for Nuclear Science and Technology», *Nuclear Data Sheets*, 107, 2931 (2006).: «ENDF/B-VII.0: Next Generation Evaluated Nuclear Data Library for Nuclear Science and Technology», *Nucl. Data Sheets*, 102, 2931 (2006).
14. Santamarina A. (Ed), Bernard D., Rugama Y. «The JEFF-3.1.1 Nuclear Data Library» JEFF Report 22(2009). Available at: <http://www.nea.fr/>.
15. Moduli rascheta radiacionnyh poley v sostave programmno-informacionnogo kompleksa PRON [The calculation modules of radiation fields as part of the PRON program-information complex]. Preprint IBRAE RAN № IBRAE-2013-03, 2013, pp. 39-42 (in Russian).
16. Special Radioactive Waste / Ed. I.I. Linge. Moscow. SAM Poligrafist Publ., 2015, 240 p. (in Russian).
17. Methodology for determination of radionuclide composition of γ -emitting sources. Attestation Certificate № 43165.15176 / RA.RU.311243 (in Russian).
18. Methodology for identification of the types of neutron radionuclide sources according to the results of measurement of energy distribution of fast neutron flux density. Attestation Certificate № 43165.15177 / RA.RU.311243 (in Russian).
19. Methodology for measurement of distribution coefficients for ^{90}Sr and ^{22}Na radionuclides in the host environment (sorption coefficient). Attestation Certificate number 251-RA.RU.311243-2015 (in Russian).
20. Methodology for measurement of characteristics of compressive strength load-bearing structures by ultrasound method (with graduation for cores, selected from the structures). Attestation Certificate № 241-01.00294-2010 / 2015 (in Russian).

Authors

Blokhin Pavel Anatolievich, Junior Researcher

E-mail: Blokhin@ibrae.ac.ru

Vaneev Yury Evgenievich, Leading Researcher

E-mail: yuvan@ibrae.ac.ru

Kovalchuk Vasily Dmitrievich, Senior Researcher

E-mail: kov@ibrae.ac.ru

Kryuchkov Dmitry Vyacheslavovich, Head of Laboratory

E-mail: dvk@ibrae.ac.ru

Mevius Vyacheslav Vladimirovich, Head, Technological Department

E-mail: mevius@yandex.ru