



ПРЕДПРИЯТИЕ ГОСКОРПОРАЦИИ «РОСАТОМ»

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
«ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ
ОБЪЕДИНЕНИЕ
«МАЯК»

ФГУП «ПО «МАЯК»

пр. Ленина, д. 31, г. Озерск, Челябинская обл., 456784, Россия
тел. (35130) 3 70 11, 3 31 05, факс (35130) 3 38 26

e-mail: mayak@po-mayak.ru

ОКПО 07622740, ОГРН 1027401177209,
ИНН/КПП 7422000795/741301001

Научному руководителю ИБРАЭ РАН,
академику РАН

Большову Л.А.

24.05.2019 № 193-18/6

На № 11407/01-0508 от 29.04.2019

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук Мокрова Юрия Геннадьевича на диссертационную работу Блохина Павла Анатольевича «Расчетное моделирование радиационных характеристик объектов ядерной техники на заключительных стадиях их жизненного цикла», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.03 «Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации»

После принятия в 2011 году Федерального Закона ФЗ-190 «Об обращении с радиоактивными отходами...», проблемы безопасного обращения с накопленными радиоактивными отходами (РАО), отработавшим ядерным топливом (ОЯТ) и вывода из эксплуатации (ВЭ) объектов использования атомной энергии (ОИАЭ) приобрели особую актуальность и получили новый импульс развития.

Масштабное и комплексное преодоление этих проблем связано с необходимостью оперативного решения множества разноплановых технических и экологических вопросов и, как правило, сопряжено со значительными экономическими затратами, что требует уже на предварительной (проектной) стадии выбора оптимальных технологических подходов и схем проектных решений. Применение методов математического моделирования и прогнозирования позволяет научно обосновать выбор оптимальных проектных решений, существенно сократить сроки разработки проекта и избежать необоснованных радиационных рисков.

До недавнего времени применение расчетных методов для моделирования переноса радиоактивного излучения для сложных конструкций ОИАЭ ограничивалось возможностями вычислительной техники. В настоящее время эти ограничения во многом преодолены, что предопределяет потребность в многовариантных расчетах, направленных на оптимизацию решений по ВЭ и

обращению с РАО и ОЯТ. Поэтому разработка специализированных программных комплексов для сопровождения решения комплекса задач, связанных с оценками радиационных характеристик РАО и ОЯТ, а также создаваемых ими полей ионизирующих излучений является актуальной задачей.

Целью диссертационной работы Блохина П.В. является разработка расчетного и методического инструментария для решения задач обоснования радиационной безопасности, эффективности и экологической приемлемости при выполнении практических мероприятий на заключительных стадиях жизненного цикла ОИАЭ, в том числе ВЭ, обращение с ОЯТ и захоронение РАО.

Для достижения поставленной цели соискатель сформулировал и решил следующие задачи:

- определил перечень типовых практических задач, которые могут и должны быть решены расчетным путем и разработал требования к расчетному инструментарию;
- выбрал наиболее приемлемые программные модули и базы данных, необходимые для проведения расчетов полей ионизирующих излучений;
- адаптировал существующие и разработал недостающие методические, программные и константные составляющие программного комплекса, выполнил его верификация;
- выполнил апробацию программного комплекса на типовых задачах.

Научная новизна работы заключается в следующем:

Разработан специализированный расчетно-методический инструментарий для обоснования оптимальных решений по обеспечению радиационной безопасности и экологической приемлемости завершающих стадий жизненного цикла (ЗСЖЦ) ОИАЭ, в том числе, ВЭ, обращения с РАО и ОЯТ, состоящий из взаимосвязанного набора расчетных средств (перенос полей ионизирующих излучений, нуклидная кинетика), константного обеспечения (база данных, содержащая библиотеки ядерно-физических констант), данных о материалах защиты и методического обеспечения (алгоритм оценки значимости радионуклидов).

Следует отметить, что ранее специализированных расчетных средств для решения задач ЗСЖЦ не создавалось, а многочисленные имевшиеся программы имели различного рода ограничения. Все имевшиеся расчетные программы, как правило, имели полноценные расчетные алгоритмы. Для решения поставленной цели диссертанту было необходимо выбрать наилучшие программы и дополнить их новыми функциональными возможностями.

Первым элементом новых функциональных возможностей (новизны программного комплекса в целом) стал алгоритм автоматизированного формирования трехмерной расчётной модели объекта для расчета переноса ионизирующих излучений методом Монте-Карло с использованием его цифровой геометрической модели в системе автоматизированного проектирования (САПР).

Программная реализация разработанного алгоритма позволяет, например, использовать данные комплексного инженерного радиационного обследования объекта (КИРО) для автоматического формирования расчетной модели объекта. Программа конвертации обеспечена данными о радиационных характеристиках радионуклидов (энергия гамма-квантов, выход на распад и др., всего данные по более чем 2000 радионуклидам), данными о химическом составе элементов радиационной защиты (более 50 материалов с возможностью расширения). Разработанная технология (алгоритмы и базы данных) позволяет не только оперативно формировать полноценную расчетную модель объекта (геометрия, материалы, источники), но и задать сценарий ВЭ (демонтажа) объекта, включая удаление строительных конструкций и РАО, а также оценку дозового воздействия на персонал от внешнего облучения в процессе выполнения работ.

К элементам новизны представленной работы следует отнести также дальнейшее развитие модуля нуклидной кинетики в части константного обеспечения. При проведении долгосрочного (миллионы лет) прогноза анализа безопасности в области ЗСЖЦ, обращения с РАО и ОЯТ необходимо иметь обширную информацию об изменении во времени различных дифференциальных и интегральных радиационных характеристиках объекта (газо- и энерго- выделение, изменение нуклидного состава и дозовые нагрузки на матрицу РАО и др.). В этой связи многократно возрастает значимость используемых расчетных алгоритмов (учет короткоживущих радионуклидов, выхода всех продуктов деления, включая ТУЭ) и достоверность константного обеспечения. Для обеспечения корректной работы модуля нуклидной кинетики соискатель провел критический анализ современного состояния оцененных ядерно-физических данных, подготовленных в ведущих национальных и международных центрах, сформировал и верифицировал на бенчмарк-экспериментах необходимые наборы ядерных констант.

Практическая значимость представленной работы определяется широким набором прикладных задач обоснования радиационной безопасности и экологической приемлемости объектов ядерной техники, решаемых с применением разработанных программных средств. В рамках диссертации соискатель продемонстрировал решение только нескольких типичных задач, в которых эти новые возможности были апробированы.

Достоверность и обоснованность полученных результатов и основных значимых выводов, впервые полученных автором, подтверждена в рамках работ по верификации и валидации разработанных программных средств, публикациями в реферируемых журналах и докладами, представленными на российских и международных научных конференциях. Ряд полученных результатов подтвержден в более поздних работах других авторов, выполненных в ведущих коллективах отрасли. На ПС для расчета энерговыделения в процессе радиоактивного распада ОЯТ и РАО получено свидетельство о государственной регистрации № 2018616382.

Личный вклад автора в представленной работе не вызывает сомнений. Результаты и выводы диссертационной работы Блохина П.А., выносимые на защиту, достаточно апробированы, поскольку прошли оценку широкой научной общественности на конференциях, симпозиумах, семинарах. Все полученные автором результаты опубликованы в различных научных изданиях в виде статей, докладов, препринтов. По теме диссертации опубликовано 23 научные работы, из них 8 статей в специализированных изданиях, включая 3 статьи в журналах по перечню ВАК Минобрнауки России, 5 препринтов и 10 докладов на российских и международных конференциях и семинарах.

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы из 107 библиографических ссылок. Общий объём работы составляет 120 страниц основного текста, включая 40 таблиц и 63 рисунка, в том числе, графики.

В тексте диссертации последовательно и аргументированно отражены все основные этапы решения поставленной автором задачи.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы её основная цель, задачи, научная новизна, практическая значимость, основные положения, выносимые на защиту, степень достоверности, личный вклад автора, апробация и публикации.

В первой главе представлены основные аспекты, необходимые для формулировки цели и постановки задач исследований, намечены пути их решения. Обозначена роль расчетных программ при решении задач радиационной безопасности и защиты. Сформулированы основные направления исследований, где требуется совершенствование методической базы и программных средств. Приводится обзор современного состояния российских и зарубежных расчетных программ и константного обеспечения для Итогом первой главы является сформулированные цель и задачи диссертационного исследования.

Во второй главе представлены результаты разработки архитектуры расчетного инструментария, описаны состав и функции основных расчетных модулей. Приведено описание модуля нуклидной кинетики, начиная от математической модели и различных алгоритмов и заканчивая формированием необходимых библиотек ядерных данных. Для решения задач по переносу излучений в сложных объектах разработан и реализован алгоритм автоматизированного формирования расчетной модели объекта на основе его САПР-модели. Сформулированные выводы к главе 2 содержат обоснования состава расчетного инструментария и его архитектуры и результаты реализации расчетных и сервисных алгоритмов.

Глава 3 посвящена верификации модуля нуклидной кинетики. Для этого отобраны международные бенчмарк-эксперименты, рекомендованные в качестве реперных при проведении подобных исследований в рамках различных программ МАГАТЭ, и проведены расчеты, анализ результатов которых позволяет сделать следующие выводы:

– реализованный алгоритм расчета трансмутации и активации кода нуклидной кинетики работает корректно;

– отобранные библиотеки ядерные данные (библиотеки активационных данных по нейтронным сечениям и радиационным характеристикам нестабильных ядер, выходы продуктов деления), в целом, позволяют достаточно надежно моделировать тестовые задачи.

В четвертой главе рассмотрен большой набор задач по практическому применению разработанных в работе программных средств. Были выполнены следующие исследования:

Определены радиационные характеристики различных типов РАО и сформированы перечни радионуклидов, вклад которых в оцененные характеристики является определяющим в различные времена выдержки;

Определены значимые радионуклиды, содержащиеся в остеклованных ВАО, в контексте долговременной безопасности;

Оценены параметры необходимой радиационной защиты при транспортировании ОЯТ Билибинской АЭС для различных времен выдержки;

Оценена возможность повторного использования радиоактивно-загрязненных металлов в атомной отрасли.

Результаты выполненных исследований показали, что разработанный расчетно-методический инструментарий может быть применен для решения широкого круга задач, связанных с выводом из эксплуатации объектов использования атомной энергии.

Диссертация хорошо оформлена, но, к сожалению, в тексте использовано много некорректных терминов и жаргонных выражений, содержатся разного типа неточности и множество ошибок (опечаток). Приведу только несколько характерных примеров.

1. Термины и определения

1.1 Непонятно повсеместное использование термина «время охлаждения» вместо общепринятого «время выдержки».

1.2 При использовании термина «мощность дозы» не уточнено о какой мощности дозы идет речь, не указана форма источника (точечный, полу-бесконечный или др.), не определено на каком расстоянии от источника посчитана мощность дозы.

1.3 На стр. 70 указано «...материалов весом 1 кг» - вместо «...массой 1 кг».

1.4 На стр.88 вместо «величина 10%» следует писать «значение 10%».

2. Некоторые примеры использования жаргонных выражений:

- «Зависимость мощности дозы γ -излучения материала...», стр.78;

- название рисунка 4.18 «Зависимость остаточной радиоактивности корпуса реактора ВВЭР-440...» следует записать, например, в виде «...суммарной удельной активности радионуклидов в стали корпуса реактора ВВЭР-440...»;

- «...в качестве нейтронного поля была выбрана внешняя область активной зоны реактора», стр. 70;

- «В таблицах 4.7 и 4.8 приведены радионуклиды, дающие...» (стр.75), по видимому речь идет о «перечне радионуклидов»;

3. Некоторые характерные примеры ошибок (опечаток):

- на стр. 64 неверно указана ссылка на «... колонку 3 в таблице 4.1»;

- в таблице 4.8 вместо знака «<» использован знак «>»;

- на стр. 70 в таблице 4.4 отсутствует значение содержания железа в стали 08X18H10T;

- в таблице 4.5 содержание циркония в сплавах Э-110 и Э-635 указано с точностью до семи значащих цифр. Подобные «ошибки» содержатся в таблице 4.6 и других.

Вышеуказанные замечания не снижают ценности представленной работы и, в целом, диссертация оставляет хорошее впечатление. Диссертация выполнена на высоком научном уровне и представляет собой логически завершенный научный труд. Следует отметить комплексность и полезность результатов диссертации для решения широкого круга задач по обеспечению безопасности при обращении с РАО.

Автореферат диссертации Блохина П.А. полностью отражает содержание самой диссертации.

Заключение

1. Диссертация Блохина П.А. «Расчетное моделирование радиационных характеристик объектов ядерной техники на заключительных стадиях их жизненного цикла» является завершенной научно-квалифицированной работой, содержит решение актуальной и практически значимой задачи, имеющей большое значение для развития знаний в области обеспечения безопасности при обращении с РАО. Работа соответствует паспорту специальности 05.14.03 и отвечает требованиям Положения о присуждении ученой степени кандидата технических наук. В диссертации содержится решение актуальной и практически важной задачи в области методологии обоснования радиационной безопасности обращения с радиоактивными веществами и ядерными материалами при их хранении и транспортировании.

2. Блохин П.А. заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.03 «Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации».

Официальный оппонент,
доктор технических наук,
советник генерального директора
ФГУП «ПО «Маяк» по науке и экологии




23.05.2019

Ю.Г. Мокров

Подпись Ю.Г. Мокрова заверяю:
И.о. главного инженера ФГУП «ПО «Маяк»


23.05.19

С.В. Шарабрин