



АКМЭ
ИНЖИНИРИНГ

А Т О М Н Ы Е К О М П Л Е К С Ы М А Л О Й Э Н Е Р Г Е Т И К И

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «АКМЭ-ИНЖИНИРИНГ»

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Девкиной Елены Владимировны
**«Повышение точности расчётов для обоснования радиационной безопасности при
разборке реакторов с тяжёлым жидкометаллическим теплоносителем»**
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 2.4.9 «Ядерные энергетические установки, топливный цикл,
радиационная безопасность», на 5 страницах

Актуальность темы работы. Диссертация посвящена актуальной научной задаче обоснованного применения специальных методов расчета функционалов проникающего излучения (нейтроны и гамма-кванты) в, так называемых, задачах глубокого проникновения (то есть в задачах прохождения излучения через оптически толстые слои радиационной защиты с ослаблением интенсивности излучения более чем $10^6 - 10^8$ раз) в приложении к технической задаче оценки выполнения требований по радиационной безопасности при обращении с отработавшим топливом ядерных реакторов с тяжелым жидкометаллическим теплоносителем (ТЖМТ).

Основным методом решения поставленной задачи был выбран метод статистического моделирования переноса нейтронов и гамма-квантов (метод Монте-Карло) с использованием специальной техники понижения статистической погрешности расчета функционалов – итерационного метода весовых окон (MAGIC метод).

Разработка методов понижения дисперсии расчетов по методу Монте-Карло важная часть развития и повышения эффективности этих методов, а верификация и апробация их применения в конкретных задачах расширяет область их использования.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, обусловлена использованием хорошо изученных методов

численного решения уравнений переноса, а также физической непротиворечивостью полученных результатов.

Достоверность результатов расчетов обусловлена использованием аттестованного и широко применяемого в практике оценки функционалов нейтронного поля и поля гамма-квантов верифицированного расчетного кода MCNP.

Практическая значимость полученных результатов определяется, с одной стороны, подтверждением эффективности решения конкретного класса задач глубокого проникновения для обоснования радиационной безопасности, а также получением результатов по мощности эффективной дозы и зонированию при обращении с отработавшими выемными частями (ОВЧ) реакторов с ТЖМТ.

Научная новизна работы заключается в обосновании работоспособности и эффективности итерационного метода получения весовых окон для использования в методе Монте-Карло при моделировании класса задач глубокого проникновения, связанных с расчетами по обоснованию радиационной безопасности при разборке отработавших выемных частей реакторных установок с тяжелым жидкометаллическим теплоносителем.

Личный вклад автора состоит в обосновании работоспособности и эффективности методов понижения дисперсии, проведении расчетов функционалов нейтронного поля и поля гамма-квантов при обосновании радиационной безопасности при обращении с облученным топливом и отработавшими выемными частями реакторных установок с тяжелым жидкометаллическим теплоносителем.

Объем диссертационной работы составляет 112 страниц. Рукопись состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений, списка литературы. В тексте содержится 24 рисунка и 9 таблиц. Результаты опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК РФ по специальности 2.4.9.

Во **введении** кратко изложена постановка задачи как в части проблематики расчетных методов для задач глубокого проникновения, так и в части технических задач обеспечения и обоснования безопасности при обращении с ОВЧ реакторов с ТЖМТ. Также приведены все основные положения диссертационной работы.

В **первой главе** приводится обзор детерминистических и стохастических методов и расчетных кодов решения уравнения переноса, методов и расчетных кодов понижения дисперсии при использовании численных стохастических методов решения уравнения переноса,

Во **второй главе** приводится подробное описание разработанного бенчмарка для численных исследований эффективности различных методов понижения дисперсии и критериев оценки эффективности. На основе проведенных расчетов делается вывод о предпочтительности

использования метода весовых окон для оценки радиационных характеристик в расчетах реальных моделей защиты ОВЧ реакторов с ТЖМТ.

В третьей главе приводится расчетное обоснование достаточности радиационной защиты ТУК-143 при транспортировке ОВЧ реакторов с ТЖМТ. Подробно описаны рассмотренные расчетные модели и результаты расчетов. По результатам расчетов даны рекомендации по усилению радиационной защиты для удовлетворения требованиям нормативных документов по безопасности.

В четвертой главе приводятся результаты определения границ ядерно опасных зон при производстве работ по разборке ОВЧ: размещение тепловыделяющей сборки с ОЯТ в контейнере ТК-6 в приемке для дезактивации, размещение ОВЧ с ОЯТ в баке разборки на кантователе. Даны обоснованные рекомендации о размещении блоков детектирования для рассмотренных этапов работ по разборке ОВЧ.

В заключении дается краткое изложение проделанной работы с основными выводами, и перечисляются полученные результаты.

Изучение материалов автореферата и диссертации, списка литературы, а также опубликованных автором статей и докладов дают основание утверждать, что диссертация представляет собой законченную научную работу, в которой решена важная научно-техническая проблема, имеющая существенное значение для обоснования безопасности при обращении с отработавшими элементами частями реакторов с тяжелым жидкометаллическим теплоносителем.

По существу работы необходимо отметить следующие замечания:

1) Выбор метода понижения дисперсии для последующих расчетов по обоснованию безопасности проводилось на основе анализа результатов расчетов сформированной автором специальной тестовой задачи (бенчмарка), которая моделировала ОВЧ с ОЯТ в контейнере. Качественно разработанный бенчмарк может иметь самостоятельную научную и прикладную ценность. При этом, классический расчетный бенчмарк в области переноса излучения наряду с подробным описанием исходных данных (в данном случае присутствующие в разработанном бенчмарке достаточные для воспроизводства описание геометрии и материальные составы соответствующих геометрических зон) должен содержать и рекомендованное автором бенчмарка численное (или аналитическое) решение (в данном случае мощности эквивалентной дозы по нейтронам и гамма-квантам в расчетных точках). Однако в представленных материалах имеются только исходные данные, а решение, рекомендуемое автором, отсутствует, что снижает ценность как самого бенчмарка, так и обоснованность выбранного метода понижения дисперсии. Кроме этого, для более полной аргументации при выборе наиболее эффективного метода понижения дисперсии полезно было бы привести сравнение необходимых вычислительных ресурсов

(включая время расчета) для каждого из анализируемых методов понижения дисперсии. Также обоснования требует и выбранный критерий качества FOM (в диссертации используется формула $FOM = 1/(R^2 \cdot T)$), поскольку авторы метода MAGIC (см. источник 56 в списке литературы диссертации) используют другую формулу $FOM = N/(T \cdot \sum_{n=1}^N \sigma_n^2)$.

2) При проведении расчетного обоснования необходимой радиационной защиты ТУК (глава 3) применялась расчетная схема, при которой проводились три отдельных расчета для трех типов источника (твэльные решётки, обечайка отражателя и органы регулирования) после чего, в предположении равенства вклада от каждого элемента в рамках указанных типов источников, окончательный результат находился путем соответствующего суммирования. В диссертации отсутствует обоснование допустимости указанных предположений (так для 27 органов регулирования, которые располагаются на различных расстояниях от расчетных точек, в которых контролировались МЭД, вклад каждого из 27 органов регулирования будет различным). Кроме этого, требует обоснования выбранный подход с разбивкой суммарного источника на типичные составляющие и проведением трех различных расчетов, вместо одного расчета, но с суммарным источником. В оригинальной статье (см. источник 56 в списке литературы диссертации), описывающей метод MAGIC, ограничений подобного рода не приводится.

3) Определение границ ядерно опасных зон (ЯОЗ), как для случая производственных операций с контейнером ТК-6 с ОЯТ, так и для случая нахождения ОВЧ в баке разборки на кантователе, производится на основе результатов расчетов поглощенной дозы нейтронов и гамма-квантов (рис. 18 и 23). Однако, применяемый метод определения ЯОЗ в диссертации не приведен: неясно является ли ЯОЗ плоской фигурой или должны учитываться объемные распределения поглощенной дозы (например, в здании 118 имеется кран подвесной, поэтому оператор крана может находиться на отметке, отличной от отметки пола здания 118), а принятая для рис. 18 и 23 подробность изображения изолиний поглощенной дозы (как и отсутствие рисунка с суммарной поглощенной дозой) не позволяют проиллюстрировать выводы о границах ЯОЗ. Кроме того, приведенные на рисунке 21 распределения относительной погрешности поглощенной дозы гамма-квантов имеют явно выраженный анизотропный по углу характер, причем такого рода анизотропия отсутствует для относительной погрешности поглощенной дозы нейтронов, также как и для собственно распределений поглощенной дозы гамма-квантов и нейтронов. Характер такого поведения относительной погрешности поглощенной дозы гамма-квантов требует пояснения, поскольку он не очевиден.

4) по тексту диссертации имеется ряд неточностей и опечаток (в формулах): при обосновании степени достоверности полученных результатов и личного вклада упоминаются сравнения результатов расчетов потоков и мощности доз нейтронов и гамма-квантов с

результатами измерений, однако в тексте диссертации такая информация отсутствует; запись сопряженного уравнения переноса не точна (см. формулу (4), интеграл рассеяния); соотношение между искомым весом частицы и смещенным и несмещенным источником (см. правую часть формулы (10)); использование знака равенства в соотношении для отклика неправомерно (см. формулу (19)).

Сделанные замечания не снижают ценности и практической значимости результатов работы и не вызывают сомнений в инженерной и научной квалификации автора.

Автореферат отражает основные положения диссертационной работы.

Постановка задачи, методы решения и обоснование результатов соответствуют паспорту специальности 2.4.9 «Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность».

Диссертационная работа полностью соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842 (в действующей редакции), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а Девкина Елена Владимировна заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.9 «Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность».

Заместитель генерального директора по производству

АО «АКМЭ-инжиниринг», кандидат технических наук


30.04.2025

Комлев Олег Геннадьевич

Подпись Комлева Олега Геннадьевича удостоверяю.

Главный бухгалтер АО «АКМЭ-инжиниринг»



О.А.Карабанова