

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
(НИЯУ МИФИ)**

Каширское шоссе, д.31, г. Москва, 115409
Тел. (499) 324-77-77, факс (499) 324-21-11
<http://www.mephi.ru>
e-mail: info@mephi.ru



«УТВЕРЖДАЮ»
Ректор НИЯУ МИФИ,
д.ф.-м.н.

Шевченко В.И.
2025 г.

1 » апреля

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Девкиной Елены Владимировны

«Повышение точности расчётов для обоснования радиационной
безопасности при разборке реакторов с тяжёлым жидкометаллическим
теплоносителем»,

представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук
по специальности 2.4.9 – ядерные энергетические установки, топливный
цикл, радиационная безопасность

Актуальность темы диссертации

В настоящее время стоит проблема обоснования безопасности проведения работ по разборке отработавших выемных частей и транспортировки отработавшего ядерного топлива реакторов с тяжелым жидкометаллическим теплоносителем (ТЖМТ). Информация по ядерной и радиационной обстановке во время проводимых манипуляций с отработавшими частями реактора получается с помощью проведения расчетного анализа. Результаты анализа неизбежно содержат погрешности, обусловленные как несоответствием геометрии, составом и плотностей компонентов реактора, с которым проводятся манипуляции, так и приближениями, закладываемыми в физические модели, описывающие перенос излучения и ядерные превращения. Среди прочих методов численного анализа,

метод Монте-Карло позволяет в наибольшей степени приблизить расчетную модель к реальной системе, однако даже его использование оставляет погрешности выше допустимых значений. Учитывая отмеченное преимущество метода Монте-Карло, разработка для него методов понижения дисперсии, снижающих статистическую погрешность до допустимых значений, является актуальной.

Цель диссертационной работы

Целью диссертационной работы является верификация и апробация методов понижения дисперсии (метода различной ценности в ячейках и итерационного (MAGIC, Method of automatic generation of importances by calculation) метода получения весовых окон) для уменьшения статистической погрешности расчетов по обоснованию радиационной безопасности при разборке реакторов с тяжелым жидкометаллическим теплоносителем.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- выполнение анализа существующих методов понижения дисперсии;
- разработка двухмерной тестовой модели защиты транспортно-упаковочного контейнера (ТУК) для апробации и верификации методов понижения дисперсии;
- проведение вариантных расчетов защиты отработавших выемных частей в ТУК-143 с извлеченным топливом с помощью MAGIC-метода;
- проведение расчетов полей нейтронов и гамма-излучения с использованием MAGIC-метода для обоснования границ ядерно опасных зон (ЯОЗ), мест размещения блоков детектирования и порогов срабатывания системы аварийной сигнализации самоподдерживающейся цепной реакции (СЦР), значений мощности амбиентного эквивалента дозы нейтронного и гамма-излучения на различных расстояниях от места возникновения СЦР в пределах ЯОЗ.

Научная новизна

Научная новизна работа заключается в совершенствовании методов расчёта для обоснования радиационной безопасности при выводе из эксплуатации ЯЭУ с ТЖМТ. Впервые были проведены расчеты потоков и мощностей эффективной

дозы (МЭД) нейтронов и гамма-квантов с применением итерационного метода получения весовых окон. Итерационный метод получения весовых окон обладает универсальностью, так как его можно применять как для локальных оценок, так и для получения расчетных функционалов на всей расчетной области.

Одни и те же весовые окна можно применять для расчетных моделей, имеющих небольшие отличия. Это позволяет существенно сократить временные затраты на проведении расчетов по оптимизации защиты.

Практическая значимость

Практическая значимость заключается в разработке методики расчета токов и МЭД нейтронов и гамма-квантов при проведении работ по выгрузке ОЯТ из реакторов с ТЖМТ с приемлемой точностью. Результаты расчетов с учетом индивидуального подхода к каждой отработавшей выемной части применялись:

- для оценки радиационной обстановки в местах работы персонала;
- расчета дозовых нагрузок на персонал;
- расчета и усовершенствование радиационной защиты;
- определение границ ядерно-опасных зон.

Оценка содержания диссертации и ее завершенности

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы, включающего 89 наименований. Общий объем диссертации, включая 24 рисунка и 9 таблиц, составляет 112 страниц.

В первой главе приведены основные методы решения уравнения переноса излучения. Представлен обзор существующих подходов и программных средств, используемых для моделирования прохождения излучения через защитные материалы. Рассмотрены возможности их использования для обоснования радиационной безопасности при обращении с отработавшим ядерным топливом реакторов с тяжелым жидкометаллическим теплоносителем (ТЖМТ). Особое внимание уделено обзору существующих методов понижения дисперсии и расчетным кодам, способным реализовать использование данных методов.

Во второй главе представлено описание и результаты расчета бенчмарка, с помощью которого, по мнению автора, можно выбрать наиболее оптимальные расчётные методики и применять их для обоснования радиационной безопасности

при выгрузке ОЯТ. Представлено описание геометрии и материальных составов рассматриваемой тестовой модели, а также результаты расчета тестовой модели с использованием следующих методов понижения дисперсии: метод вынужденных столкновений, метод задания различной ценности в пространственных ячейках и весовых окон. Сделан вывод о том, что для обоснования радиационной безопасности при обращении с ОЯТ следует применять метод весовых окон.

В третьей главе представлено расчетное обоснование применения дополнительной защиты ТУК при транспортировке и хранении отработавших выемных частей (ОВЧ) с выгруженным ядерным топливом. Представлено описание геометрии расчетной модели и представлена схема расчета. Проводилась оценка мощности дозы и дозы нейтронного и гамма-излучения, а также мощность эффективной дозы (МЭД). Для расчёта мощности дозы и дозы нейтронного и гамма-излучения использовалась программа MCNP. Для оценки МЭД применялась локальная оценка. Показано, что без применения методов понижения дисперсии статистическая погрешность значительно превышает допустимые значения. В связи с чем, для понижения дисперсии использовалась методика итерации весовых окон. Результаты расчета показали, что максимальная суммарная мощность эквивалентной дозы на расстоянии 10 см от поверхности в 8 раз превышает допустимое значение, а на расстоянии 2 м максимальные значения мощности дозы в 18 раз превосходят допустимые. В связи с чем, для обеспечения требований НП-053-16, необходимо использовать дополнительную радиационную защиту, которая и была рассмотрена в данной главе. Рассматривались различные варианты дополнительной защиты – кожух и различные комбинации стальных колец. В итоге расчетов, автором был сделан вывод о том, что применение одного вида весовых окон позволяет получить достоверные результаты и существенно снизить расчётные затраты.

В четвертой главе представлен расчёт ядерно опасных зон при разборке реакторов с жидкометаллическим теплоносителем. Представлены требования обеспечения ядерной безопасности. Для каждого этапа проведения работ по выгрузке ОВЧ из реактора, разборке ОВЧ и транспортировке ОЯТ к месту переработки в условиях нормальной эксплуатации и в аварийных ситуациях в

работе проводилась оценка ядерной и радиационной безопасности. Расчёты проводились для кассеты в ТК-6, находящейся в приемке для дезактивации и для ОВЧ, находящейся на кантователе. Применение методов понижения дисперсии, а именно MAGIC- метода, позволило получить достоверные результаты со статистической погрешностью менее 10 % для всей расчётной области.

Соответствие содержания диссертации научной специальности

Диссертационная работа соответствует пункту 6 паспорта специальности 2.4.9 – ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность, а именно – разработка методов обоснования ядерной и радиационной безопасности и экологической приемлемости технологий и объектов ядерной техники.

Апробация результатов

Основные положения результатов работы докладывались на 10-й юбилейной Российской научной конференции «Радиационная защита и радиационная безопасность в ядерных технологиях», Москва-Обнинск, 2015, а также Научно-технической конференции «Нейтронно-физические проблемы атомной энергетики (Нейтроника-2022), Обнинск, 2022.

Публикации автора

Основной материал диссертации представлен в статьях в научных рецензируемых журналах из списка ВАК, рекомендованных по специальности 2.4.9 – ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность:

1. Проведение расчетов в обоснование радиационной безопасности при выгрузке и разборке активных зон отработавших выемных частей реакторов с жидкометаллическим теплоносителем АПЛ / Девкина Е.В., Суслов И.Р., Чернов В.А. // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. – 2022. - № 2. – С. 73-79;

Devkina E.V., Suslov I.R., Chernov V.A. Carrying out calculations of radiation safety during unloading and disassembly of cores of spent removable part of reactors with liquid metal coolant of submarines // Nuclear Energy and Technology – 2022;

2. Особенности проведения расчетов методом Монте-Карло двумерной тестовой модели защиты ТУК для отработавшего ядерного топлива / Девкина Е.В., Суслов И.Р. // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерно-реакторные константы. – 2022. - № 4. – С. 15-24;

3. Расчет ядерно-опасных зон при разборке реакторов с тяжелым жидкометаллическим теплоносителем / Девкина Е.В. // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерно-реакторные константы. – 2024. - № 3. – С. 104-113.

Личный вклад

Личное участие автора в проведенной работе состоит в следующем:

- проведение верификации методов понижения дисперсии на двумерной тестовой модели защиты ТУК для отработавшего ядерного топлива;

- разработка расчетных моделей;

- выполнение расчетов для обоснования применения дополнительной защиты ТУК при транспортировке и хранении ОВЧ с выгруженным ядерным топливом;

- проведение расчетов полей гамма и нейтронного излучений для определения границ ядерно опасных зон и мест размещения блоков детектирования самоподдерживающейся цепной реакции;

- сравнение результатов расчетов потоков и МЭД нейтронов и гамма-квантов с результатами измерений.

Достоверность полученных результатов

Достоверность результатов расчетных исследований обоснована использованием общепризнанных методов и подходов для оценки радиационной обстановки и подтверждается результатами измерений уровней полей гамма- и нейтронного излучений при проведении работ по разборке реакторов с ТЖМТ.

Замечание к диссертационной работе

- В тексте диссертации отсутствует информация о том, какая именно версия программы MCNP и библиотеки оцененных ядерных данных использовались в расчетах.

- Автор проводит апробацию и верификацию методов понижения дисперсии путем сравнения результатов оценки рассчитываемых функционалов,

полученных с применением различных методов понижения дисперсии с прямым расчётом, а также между собой. Однако в работе отсутствует верификация самих рассчитываемых моделей и результатов расчета прямым аналоговым методом. Остается не ясным, насколько результаты, полученные по программе MCNP, являются достоверными.

- В работе отсутствует описание параметров моделирования, а именно, остается не ясным с каким количеством разыгранных историй проводились как прямые расчеты, так и расчеты с использованием методов понижения дисперсии. Отсутствуют упоминания времени, затраченного на расчет, а также информация об используемых компьютерных мощностях.

- В тексте работы довольно часто употребляется выражение «допустимое значение погрешности», которое, исходя из текста диссертации, принимает разные значения в зависимости от рассматриваемой задачи и используемой оценки. Однако в итоге, остается не ясным, какое значение является допустимым, а какое нет.

- В работе проводились расчеты как переноса нейтронов, так и переноса гамма-квантов. Однако, не совсем понятно насколько универсален алгоритм выбора весовых окон и можно ли использовать единый набор весовых окон для обоих видов излучения.

Заключение

Диссертационная работа Девкиной Елены Владимировны «Повышение точности расчетов для обоснования радиационной безопасности при разборке реакторов с тяжелым жидкометаллическим теплоносителем», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.9 – ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность (технические науки) является законченной научно-исследовательской работой по актуальной теме, содержащей решение задачи, связанной с верификацией и апробацией методов понижения дисперсии для уменьшения статистической погрешности расчетов по обоснованию радиационной безопасности при разборке реакторов с тяжелым жидкометаллическим теплоносителем.

Диссертационная работа соответствует требованиям п.9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24.09.2013 и Изменениям, которые вносятся в Положение о присуждении ученых степеней, утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации №335 от 21.04.2016, а ее автор, Девкина Елена Владимировна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.9 – ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность (технические науки).

Диссертационная работа Девкиной Е.В. «Повышение точности расчетов для обоснования радиационной безопасности при разборке реакторов с тяжелым жидкометаллическим теплоносителем» рассмотрена, а отзыв обсужден и одобрен на заседании кафедры №5 «Теоретической и экспериментальной физики ядерных реакторов» Института ядерной физики и технологий НИЯУ МИФИ. Присутствовало на заседании 10 человек. Результаты голосования: «за» – 10, «против» – 0, «воздержались» – 0, протокол № 525/4 от 9 апреля 2025 г.

Ученый секретарь кафедры №5,
«Теоретической и экспериментальной
физики ядерных реакторов», к.ф.-м.н.,
доцент, тел.: +7 (499) 324 77 77, доб. 8475
e-mail:tbaleeva@mephi.ru


Алеева Т.Б.

Заместитель директора Института ядерной
физики и технологий НИЯУ МИФИ,
д.ф.-м.н., профессор, тел.: +7 (499) 324 77 77,
доб. 8441, e-mail:gvtikhomirov@mephi.ru


Тихомиров Г.В.

Председатель Совета по аттестации и
подготовке научно-педагогических кадров
НИЯУ МИФИ, д.ф.-м.н., профессор
тел.: +7 (499) 324 77 77, доб. 9991
e-mail:nakudryashov@mephi.ru


Кудряшов Н.А.