

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Нерсисяна Нарека Сааковича

«Моделирование измерения реактивности на критическом стенде с быстрым спектром нейтронов»

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

Актуальность и цели работы

В связи с созданием во ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» (НИТИ) критического стенда (КС) и сборки (БКС), моделирующего активную зону малогабаритного газоохлаждаемого реактора на быстрых нейтронах (РБН), возникла задача разработки, верификации программ для ЭВМ для сопровождения и анализа проводимых на нем нейтронно-физических экспериментов. Прежде всего это относится к измерениям реактивности, так как эти измерения важны не только для проектируемых систем, но и для эксплуатации КС. Результаты измерений реактивности требуют априорного и апостериорного расчетного анализа и расчетного моделирования самого процесса измерения. Перечисленные выше вопросы рассматриваются в диссертации, поэтому она является **актуальной**.

Целью работы было создание математического и программного обеспечения для сопровождения экспериментов на КС, начиная с оцененных нейтронных данных для стационарных нейтронно-физических расчетов и заканчивая оценкой результатов, полученных по точечной модели кинетики. Для этого в диссертации **решен ряд задач**. Опираясь на имеющийся в НИТИ программный комплекс (ПК) САПФИР_95&RC, созданный и неоднократно аттестованный для реакторов типа ВВЭР и транспортных реакторов, был разработан ПК САПФИР_95РФ&RC для расчета реакторов на быстрых нейтронах и, в частности, для рассматриваемой сборки БКС. При этом особо следует отметить нестационарную двухгрупповую программу расчета

реактора, которая применялась для моделирования измерения реактивности.

Цели, поставленные в диссертации достигнуты.

Содержание работы

Во введении приведено общее описание работы, обоснована актуальность проведенных исследований, сформулирована цель работы, представлена информация о научной новизне, описана достоверность представленных результатов, реализация и внедрение результатов работы и практическая ценность работы, изложены основные положения, выносимые на защиту, приведен личный вклад автора, а также дана информация об апробации и основных публикациях по теме работы.

В первой главе приводится постановка задачи, даются определения рассчитанной, измеренной реактивности и реактивности, полученной в результате расчетного моделирования согласно документу РБ-075-12, и представлен обзор основных направлений работы. Приводятся возможности КС НИТИ по определению эффективности ОР СУЗ. Указываются проблемы интерпретации измерений реактивности для ее связи с реактивностью представляемой в единицах $k_{эф}$. В обзоре изложены, в основном, работы НИТИ по нейтронно-физическому расчету транспортных реакторов. В качестве инструмента для нестационарного нейтронно-физического расчета малогабаритной сборки, рассмотренной в диссертации, предложено использовать комплекс программ САПФИР с уточненным расчетом коэффициентов диффузии с целью уточнения пространственного расчета.

Во второй главе осуществляется подготовка и верификация нейтронно-физической модели для расчета малогабаритного РБН.

Вначале были проведены двумерные спектральные расчеты соответствующих систем по программе САПФИР-РФ, при этом для сравнения полученных результатов использовалась программа MCU-FR. Для этой цели базы данных САПФИР-РФ и MCU-FR были сближены путем использования в САПФИР-РФ оцененных данных РОСФОНД -2010, которая используется в

MCU-FR. Для быстрой области спектра в отличии от тепловой и промежуточной, это важно. После этого была разработана методика получения малогрупповых диффузионных констант для использования в программе RC. Название «малогрупповые» условно, так как число групп начинается с 26 в разбиение БНАБ, что ранее малогрупповыми константами не считалось. Для решения нестационарных задач разработана двухгрупповая модель.

В третьей главе описаны и обоснованы две методики определения реактивности на КС. Методики отличаются расчетной интерпретацией сигнала ионизационной камеры (ИК). Первая основана на том, что сигнал пропорционален плотности нейтронного потока от всего рассматриваемого объема. Вторая отождествляет изменение сигнала ИК с изменением мощности (плотности потока нейтронов) в ближайшей к ИК точке. В обоих случаях сигнал ИК считается измеренной реактивностью в единицах $\beta_{эф}$. При измерениях методом сброса для реактивностей начиная с некоторой величины вводится так называемая «пространственная поправка», которая связывает реактивность с эффективным коэффициентом размножения. В диссертации рассматриваются такие по величине реактивности, для которых при их измерении методом сброса определиться с «пространственной» поправкой сложно. Тем не менее, предложенный подход, который опирается на разумные предположения, дает удовлетворительное согласие при интерпретации измеренных величин.

Рассмотрено влияние погрешности параметров запаздывающих нейтронов на погрешность определения величины реактивности, рассчитанной по формуле ОРУК. Установлено, что наборы констант запаздывающих нейтронов, а также 6 или 8 групповое представление слабо влияют на результаты расчета.

В четвертой главе рассмотрены измерения реактивности с внешним источником нейтронов. Использование внешнего источника нейтронов позволяет получить устойчивый сигнал детектора и проводить измерения в

слабо подкритическом на запаздывающих нейтронах состоянии. Это способствует более надежному измерению характеристик ОР СУЗ. Выполненный в диссертации анализ проделанных измерений с привлечением нестационарной полномасштабной двухгрупповой модели расчета позволил дать рекомендации по использованию результатов измерений с источником нейтронов и согласованию с аналогичными результатами, полученными без его использования.

В **Заключении** содержатся основные выводы диссертации. Они соответствуют полученным в ней результатам.

Научная новизна, практическая ценность, достоверность результатов и личный вклад автора

Научная новизна работы заключается в следующем: верифицирована база оцененных нейтронных данных программы для ЭВМ САПФИР-РФ для расчета реакторов на быстрых нейтронах. Предложена схема получения диффузионных многогрупповых констант для программы RC, включая двухгрупповой нестационарный расчет, при этом для верификации использована аттестованная программа для ЭВМ MCU-FR.

К практической ценности можно отнести верификацию программного обеспечения на основе программы для ЭВМ САПФИР-РФ для расчета систем с быстрыми нейтронами. Верификация программы для ЭВМ и последующее ее использование для расчета другого по типу спектра реактора важны не только для расчета быстрых систем, но и для систем, для которых это программное обеспечение применялось ранее. Кроме того, к практической ценности можно отнести развитые в диссертации способы расчета измеренной реактивности и ее расчетного моделирования.

Достоверность полученных результатов и выводов подтверждается, в том числе неоднократной аттестацией регулирующим органом семейства программ для ЭВМ САПФИР&RC для реакторов типа ВВЭР и транспортных реакторов, которая является предыдущей версией программы для ЭВМ

САПФИР_95РФ&RC, использованием для верификации аттестованной программы для ЭВМ MCU-FR, АП №501 от 14.12.2020 года и результатов измерений.

Апробация работы является представительной. По результатам выполненной научно-квалификационной работы было опубликовано 7 работ в научных журналах, 5 из которых в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень научных изданий ВАК. Результаты также докладывались на отраслевой научно-технической конференции «Нейтроника–2022», г. Обнинск, 31 мая – 3 июня 2022 г. На конкурсе молодых ученых, проводившемся в рамках отраслевой научно-технической конференции «Нейтроника -2024», диссертант с докладом по теме диссертации занял первое место.

Личный вклад автора является определяющим в работе. Сама работа является разноплановой, что потребовало от автора продемонстрировать высокую квалификацию в различных областях нейтронно-физического расчета в целях получения конечного результата.

На защиту выносятся следующие положения:

1. Двухэтапная методика для расчетов малогабаритных газоохлаждаемых реакторов на быстрых нейтронах на основе комплекса программ САПФИР_РФ&RC, включая определение границы групп в малогрупповой (эффективной двухгрупповой) модели, обеспечивающая высокую точность расчета при меньшем количестве затраченного времени.

2. Результаты верификации разработанных (многогрупповой и малогрупповой) моделей а.з. малогабаритного газоохлаждаемого РБН в части сопоставления с реперной моделью программы MCU-FR и моделирования экспериментов по оценке эффективности РО СУЗ.

3. Результаты оценки влияния методических погрешностей измерения реактивности методом ОРУК на результаты эффективности РО СУЗ с выделением четырех основных факторов: постоянного внешнего ИН.

4. Обоснование выбора параметров запаздывающих нейтронов из библиотек БНАБ-78 и РОСФОНД для наилучшего согласия с результатами измерений реактивности на КС.

Положения, выносимые на защиту обоснованы результатами, полученными в диссертации.

Замечания по диссертационной работе

1. Следует более подробно (но коротко) пояснить использование 26 групповой и 299 групповой систем констант БНАБ-РФ. Обе эти групповые структуры совместно с программой CONSYST-RF могут обеспечить нейтронно-физический расчет БКС (п.2.2.2, стр. 37).

2. На библиотеку (систему оцененных нейтронных данных) РОСФОНД следует ссылаться с указанием версии. Государственную регистрацию имеет РОСФОНД-2010.

3. В формуле (9), стр. 58 и других формулах ОРУК отсутствует внешний источник нейтронов, необходимый для расчетного анализа в главе 4.

4. В формуле (9), стр. 58 отсутствует подстрочный индекс k , который показывает к какому конечному критическому состоянию относится функция ценности нейтронов деления.

5. В документе РБ-061-11 рекомендуется использовать библиотеку (систему) оцененных нейтронных данных РОСФОНД, данные которой, как и любой другой системы, согласованы. РОСФОНД-2010 имеет свои наборы констант и других данных запаздывающих нейтронов. Согласно упомянутому РБ-061-11 следует дать пояснения о том, почему эти данные не используются.

Заключение

Высказанные выше замечания не снижают высокого уровня проведенной диссертантом работы, особенно следует отметить комплексный подход к решению поставленной задачи и широкий охват ее диссертантом, от оценки ядерных данных до обоснования конкретно измеренной реактивности. Из этого следует, что диссертационная работа **Нерсисяна Нарека Сааковича**

«Моделирование измерения реактивности на критическом стенде с быстрым спектров нейтронов» является завершенной научно-квалифицированной работой. Полученные автором результаты являются новыми, обоснованными и достоверными. Работа вносит существенный вклад в развитие физики, техники и обоснования безопасности быстрых реакторов с газовым теплоносителем.

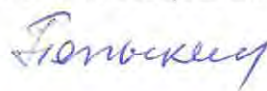
Диссертационная работа соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям и установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней» (утверждено Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842 с изменениями и дополнениями), а ее автор, **Нерсисян Нарек Саакович**, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.4.9 – «Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность».

Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Официальный оппонент,

кандидат физико-математических наук (01.01.03 – Математическая физика), старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник отдела экспертизы программ для ЭВМ отделения экспертизы ФБУ «НТЦ ЯРБ»

Попыкин Александр Иванович



тел.: +7 (499) 753-05-24, e-mail: popykin@secnrs.ru

«27» февраля 2025 г.

Подпись Попыкина А.И. удостоверяю:

Ученый секретарь ФБУ «НТЦ ЯРБ», к.т.н.



В.А. Гремячкин

«27» февраля 2025 г.

Федеральное бюджетное учреждение «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности» (ФБУ «НТЦ ЯРБ»)

107140, г. Москва, вн. тер. г. муниципальный округ Красносельский,
ул. Малая Красносельская, дом 2/8, корпус 5;

тел.: +7 (499) 264-00-03; факс: +7 (499) 264-28-59; secnrs@secnrs.ru