

Утверждаю
Заместитель директора –
научный руководитель



_____ А.Л. Ижутов
« 22 » _____ 01 _____ 2025 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Акционерного общества «Государственный научный центр –
Научно-исследовательский институт атомных реакторов» (АО «ГНЦ НИИАР»)
на диссертационную работу Мишина Вячеслава Александровича
«Вычислительный комплекс для расчетного сопровождения измерений,
выполненных на энергетических быстрых реакторах», представленную на
соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
2.4.9 – «Ядерные энергетические установки, топливный цикл и радиационная
безопасность»

Актуальность работы заключается в необходимости разработки вычислительного комплекса для научного сопровождения реакторов БН, включающего в себя наиболее совершенные методы математического моделирования и реализующие их компьютерные коды, который бы учитывал достоинства и недостатки существующих кодов сопровождения и позволял удовлетворять актуальные потребности реакторов БН-600, БН-800 и БН-1200.

Цель работы состоит в разработке, аттестации и внедрении вычислительного комплекса для расчетного сопровождения измерений, выполненных на действующем реакторе БН-800. В перспективе комплекс будет использоваться для сопровождения реактора БН-600 и проектируемого реактора БН-1200М. Разработанный вычислительный комплекс позволит:

- 1) сделать вывод о точности расчетного прогнозирования нейтронно-физических характеристик реактора БН-800 в переходный период эксплуатации и с полной загрузкой МОКС-топливом;
- 2) расширить область применения и завершить процедуру верификации программ TRIGEX, JARFR, MMKKENO и MMKS для реактора БН-800 с МОКС-топливом;
- 3) сохранить и структурировать уникальную экспериментальную информацию, полученную при эксплуатации реактора БН-800;

4) проводить независимый расчетный контроль повышенной точности для обоснования безопасности реактора БН-800 в процессе его эксплуатации.

Достижение цели работы будет способствовать повышению точности расчетного прогнозирования нейтронно-физических характеристик и безопасности работы действующих реакторов БН.

Для достижения поставленной цели были решены следующие научно-технические задачи:

1) создана универсальная вычислительная платформа для обработки, хранения, расчетного анализа данных нейтронно-физических реакторных экспериментов, позволяющая интегрировать в себя современные нейтронно-физические и теплогидравлические программы;

2) осуществлен сбор и анализ информации о выполненных измерениях в реакторе БН-800 (структурирование информации, анализ ее достаточности, отбор достоверной информации, заполнение базы данных);

3) созданы расчетные модели различных состояний реактора БН-800;

4) проведен расчетный анализ измерений, выполненных на реакторе БН-800 с использованием набора программ для ЭВМ, интегрированных в разработанную платформу;

5) проведена оценка методической составляющей погрешности нейтронно-физических характеристик для программ JARFR и TRIGEX при переходе реактора БН-800 на полную загрузку МОКС-топливом;

6) сопровождение эксплуатации РУ БН-800 в части работ научного руководителя (рассмотрение и согласование эксплуатационной и проектной документации на ТВС и активную зону; согласование перегрузок ТВС перед началом каждой микрокампании (МК) с проведением подтверждающих расчетов).

В диссертационной работе на защиту вынесены следующие положения:

- Вычислительный комплекс BNcode для расчетного сопровождения реактора БН-800 и анализа проводимых на нем измерений.

- Математические модели для различных состояний активной зоны реактора БН-800.

- Бенчмарк модели переходных состояний загрузки МОКС-топливом, для верификации проектных программ и программ нового поколения.

- Результаты расчетного анализа и оценка точности определения характеристик активной зоны БН-800 в переходный период и с полной загрузкой МОКС-топливом.

Научная новизна работы

Впервые создан инструмент, позволяющий проводить независимые от

эксплуатирующей организации точные прогнозные расчеты нейтронно-физических характеристик реактора БН-800 с МОКС-топливом для обоснования его безопасности при эксплуатации на мощности, при проведении перегрузки штатных и экспериментальных ТВС, когда возникает необходимость рассмотрения нестандартных расчетных ситуаций повышенной сложности.

Достоверность и апробация результатов

Результаты расчетов получены с помощью аттестованных программ TRIGEX, ММКК, ММКС, MIF-2, CARE, CONSYST, интегрированных в VNcode, с использованием систем констант БНАБ-93, БНАБ-РФ и РОСФОНД.

По материалам диссертации опубликовано 5-ть работ в рецензируемых журналах из перечня ВАК. Основные результаты диссертационной работы были представлены на 5-ти международных и 8-ми межведомственных мероприятиях.

Практическая значимость работы

- Созданный расчетный комплекс внедрен в АО «ГНЦ РФ – ФЭИ» для сопровождения реактора БН-800. С его помощью проводился контроль ядерной безопасности при переходе активной зоны реактора БН-800 на МОКС-топливо. Универсальность реализованного подхода позволяет применять данный комплекс для перспективных РУ на быстрых нейтронах (МБИР, БН-1200М) и быстрых реакторов со свинцовым и свинцово-висмутовым теплоносителями (БРЕСТ, СВБР).

- С помощью разработанной гибкой оболочки комплекса были созданы бенчмарк модели реальных состояний реактора, с применением которых удалось завершить верификацию программ TRIGEX, JARFR, ММККЕНО и ММКС для БН-800 с МОКС-топливом и перейти к процедуре их аттестации в Ростехнадзоре.

- Использование точных методов расчетного моделирования при анализе измеренных данных в реакторе БН-800 позволили снизить погрешности прогнозирования нейтронно-физических характеристик его активной зоны при переходе на полную загрузку МОКС-топливом.

- Полученные данные обладают большой ценностью для лицензирования реактора БН-800 с активной зоной на энергетическом плутонии.

Диссертация состоит из введения, 4-х глав и заключения. Общий объем диссертации 124 страницы, в том числе 48 рисунков и 18 таблиц. Список литературы содержит 47 наименований.

Первая глава посвящена созданию расчетного комплекса VNcode. В главе показано, из каких программных модулей состоит комплекс, на базе чего основан, какие были написаны программы-связки для интеграции различных расчетных кодов в VNcode. Описан интерфейс входных и выходных данных, приведены

примеры работы комплекса.

Вторая глава посвящена описанию расчетных моделей, которые используются в BNcode для моделирования реактора БН-800. Показана схема проведения вычислений по отслеживанию состава активной зоны в процессе выгорания топлива и формированию базы данных загрузок реактора. Описан процесс создания бенчмарк моделей, описывающих переход активной зоны реактора БН-800 на полную загрузку МОКС-топливом. Представлена оценка методической составляющей погрешности основных проектных характеристик реактора с МОКС-топливом.

Разработана Базовая модель активной зоны реактора БН-800, так называемый «скелет» расчетной модели комплекса BNcode. Каждая ТВС или сборка в модели описывается уникально – отдельным расчетным типом пакета. В аксиальном направлении каждый пакет разбит на ряд уникальных физических зон, в радиальном представляет шестигранную призму гомогенного состава. Расчетная модель включает: 1234 пакета; 30850 физических зон; 25 расчетных слоев; 39 изотопов. Ведется работа по расширению функционала BNcode на реактор БН-600.

С помощью BNcode было просчитано порядка 110 состояний реактора БН-800, сформирована база данных загрузок реактора. Специальный модуль выгорания в BNcode позволяет отслеживать составы активной зоны реактора в процессе ее эксплуатации.

В третьей главе приводятся результаты расчетного анализа измерений, выполненных в активной зоне реактора БН-800 с 1 по 11 МК. Сделаны выводы о точности расчетного предсказания нейтронно-физических характеристик активной зоны.

В четвертой главе представлены результаты анализа экспериментов по измерению поля энерговыделения в реакторе БН-800, которые были выполнены в 2022 году.

Максимальное расхождение относительного энерговыделения в ТВС активной зоны не превышает 4 %.

Основные научные результаты:

В рамках диссертационной работы разработан, аттестован и внедрен в опытную эксплуатацию вычислительный комплекс для расчетного сопровождения реактора БН-800 – BNcode.

Особенностью комплекса является использование для нейтронно-физических расчетов прецизионных методов моделирования, для расчета полей температур при выводе реактора на мощность – теплогидравлического кода.

Основные полученные результаты представлены в публикациях:

1) Создан вычислительный комплекс VNcode, представляющий интегрированную платформу, которая имеет развитые возможности расчетного моделирования, гибкий, удобный и современный интерфейс. Комплекс зарегистрирован в Реестре программ для ЭВМ Федерального Института промышленной собственности.

2) Сделан вывод о точности расчетного прогнозирования нейтронно-физических характеристик. Полученные экспериментально–расчетные расхождения, соответствуют современным требованиям к программному обеспечению подобных расчетов.

3) Созданы бенчмарк модели реальных состояний реактора, использование которых позволило завершить верификацию программ TRIGEX, JARFR, ММКК и ММКС применительно к БН-800 с МОКС-топливом и аттестовать их.

4) Оценены методические поправки, которые рекомендуется использовать при расчете проектных характеристик реактора БН-800 с МОКС-топливом с помощью инженерных кодов. При расчете критичности поправка составляет + 1,8 %, эффективности РО СУЗ – 11 %, энерговыделения ~ 2 %, темпа падения реактивности за МК ~ – 2 %.

5) Разработана универсальная вычислительная платформа, с помощью которой осуществлен сбор, структурирование и анализ достаточности информации о выполненных измерениях в реакторе БН-800.

6) С помощью VNcode проведено сопровождение эксплуатации РУ БН-800 в части работ научного руководителя – рассмотрена и согласована эксплуатационная и проектная документация на ТВС и активную зону; согласован объем перегрузок ТВС перед началом каждой МК, для чего проводились расчеты эксплуатации реактора в предстоящей МК, подтверждающие соблюдение пределов и условий безопасной эксплуатации.

Замечания

1. В название и Цели работы заявлена *“разработка, аттестация и внедрение вычислительного комплекса для расчетного сопровождения измерений, выполненных на действующем реакторе БН-800”*. Однако в тексте диссертации написано – *“Вычислительный комплекс VNcode для расчетного сопровождения реактора БН-800 и анализа проводимых на нем измерений”* и *“расчетного прогнозирования нейтронно-физических характеристик и безопасности работы действующих реакторов БН”*. Таким образом, название и цель работы немного не соответствуют представленной работе – существенно её сужает.

2. BNcode заявлен как “современный расчетно-вычислительный комплекс, созданный для сопровождения действующих реакторов БН” и, что BNcode можно применять “для перспективных установок на быстрых нейтронах МБИР и БН-1200М, но и для быстрых реакторов со свинцовым и свинцово-висмутовым теплоносителями БРЕСТ и СВБР”. Как и чем это обосновано?

3. “Базовая расчетная модель включает 1234 пакета, 30850 физических зон и 25 расчетных слоев”, т.е. каждый пакет, даже нетопливный, описывается 25-тью ФЗ. Необходимо ли столько уникальных ФЗ, при том, что модель гомогенная?

4. Присутствуют жаргонизмы – точность вместо погрешности, активная зона вместо реактора, стабильность использования, среднее значение расчета величины, в качестве топлива используют уран-235 и др.

Указанные замечания не умаляют высокий научный уровень и практическую значимость диссертационной работы. Изложенные замечания в большей степени относятся к изложению материала и точности формулировок.

Представленных в диссертации и автореферате данных достаточно для понимания личного вклада соискателя в получение основных результатов работы.

Заключение

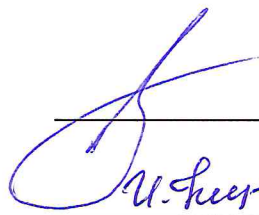
Изложенные в диссертационной работе методы, подходы, результаты и выводы могут быть рекомендованы к использованию в научных учреждениях атомной отрасли для исследований, проводимых по ядерным энерготехнологиям нового поколения, в том числе в АО «ГНЦ РФ–ФЭИ», АО «ОКБМ Африкантов», НИЦ «Курчатовский институт», АО «НИКИЭТ», АО «ГНЦ НИИАР» и др.

Диссертационная работа Мишина Вячеслава Александровича на тему «Вычислительный комплекс для расчетного сопровождения измерений, выполненных на энергетических быстрых реакторах» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая полностью соответствует требованиям пп. 9–11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842 (в действующей редакции), а ее автор В.А. Мишин заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.9 – «Ядерные энергетические установки, топливный цикл и радиационная безопасность».

Отзыв на диссертационную работу Мишина В.А. подготовлен на основании заключения, сделанного по итогам обсуждения в формате ВКС диссертации и

автореферата на расширенном заседании отделения «Реакторный Исследовательский Комплекс» АО «ГНЦ НИИАР» (РИК), протокол заседания № 2 от 17 января 2025 года.

Заместитель председатель НТС РИК,
заместитель начальника отделения РИК
по научной работе – начальник
физико-технического департамента, к.т.н.

 А.В. Бурукин

Секретарь НТС РИК

 И.В. Киселева

Эксперты:

Начальник управления перспективных
разработок отделения РИК, д.т.н.

 И.Ю. Жемков

Подписи А.Л. Ижутова, А.В. Бурукина, И.В. Киселевой, И.Ю. Жемкова, заверяю:

Ученый секретарь АО «ГНЦ НИИАР»

 Д.А. Корнилов

Почтовый адрес: Россия, 433510, Ульяновская область, г. Димитровград, Западное шоссе, д. 9, Акционерное общество «Государственный научный центр – Научно-исследовательский институт атомных реакторов» (АО «ГНЦ НИИАР»)

Телефон: 8 (84235) 9-83-83

Адрес электронной почты: niiar@niiar.ru

Официальный сайт: <http://www.niiar.ru>