

# **ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 75.1.077.01**

**созданного на базе акционерного общества**

**«Государственный научный центр Российской Федерации –**

**Физико-энергетический институт имени А.И. Лейпунского»**

**(принадлежность - Госкорпорация «Росатом»)**

**по диссертации на соискание ученой степени**

**кандидата технических наук**

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 12 февраля 2025 года № 8

О присуждении Мишину Вячеславу Александровичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Вычислительный комплекс для расчетного сопровождения измерений, выполненных на энергетических быстрых реакторах» по специальности 2.4.9 – Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность принята к защите 27 ноября 2024 года (протокол №3) диссертационным советом 75.1.077.01, созданным на базе акционерного общества «Государственный научный центр Российской Федерации – Физико-энергетический институт имени А.И. Лейпунского» (Госкорпорация «Росатом») (далее – АО «ГНЦ РФ – ФЭИ»), расположенного по адресу: 249033, г. Обнинск, Калужской обл., пл. Бондаренко, 1. Диссертационный совет создан приказом Минобрнауки России № 663/нк от 09.07.2024.

Соискатель Мишин Вячеслав Александрович, дата рождения – 22 августа 1995 года.

В 2019 г. Мишин В.А. окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Обнинский институт атомной энергетики – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» по направлению подготовки

14.05.01 - «Ядерные реакторы и материалы», ему присвоена квалификация инженер-физик.

В 2024 году Мишин В.А. окончил аспирантуру АО «ГНЦ РФ – ФЭИ», успешно сдав кандидатские экзамены.

В период подготовки диссертации соискатель Мишин Вячеслав Александрович работал в департаменте расчетных исследований безопасности АЭС Отделения ядерной энергетики АО «ГНЦ РФ – ФЭИ». В настоящее время занимает должность младшего научного сотрудника.

Диссертация выполнена в Департаменте расчетных исследований безопасности АЭС Отделения ядерной энергетики АО «ГНЦ РФ – ФЭИ».

Научный руководитель – Перегудов Антон Александрович, кандидат технических наук по специальности 05.14.03. «Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации», начальник департамента расчетных исследований безопасности АЭС Отделения ядерной энергетики АО «ГНЦ РФ – ФЭИ».

Официальные оппоненты:

Семенов Владимир Николаевич, доктор физико-математических наук, заместитель заведующего отделением анализа безопасности ядерных энергетических установок Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук;

Увакин Максим Александрович, кандидат физико-математических наук, заместитель начальника отдела, начальник группы акционерного общества «Ордена трудового красного знамени и ордена труда ЧССР Опытно-конструкторское бюро «ГИДРОПРЕСС»

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – акционерное общество «Государственный научный центр — Научно-исследовательский институт атомных реакторов», в своем положительном отзыве, подписанном заместителем председателя НТС отделения «Реакторный Исследовательский Комплекс» (РИК) , заместителем начальника отделения РИК по научной работе – начальником физико-технического

департамента, кандидатом технических наук Бурукином А.В. и начальником управления перспективных разработок отделения РИК, доктором технических наук Жемковым И.Ю., указала, что диссертация В.А. Мишина соответствует паспорту специальности 2.4.9 – Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность и отвечает требованиям п.п. 9-11, 13, 14 «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 технических наук. Автор диссертационной работы, Мишин Вячеслав Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.9 – Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность.

Соискатель имеет пять опубликованных научных статей по специальности 2.4.9 в рецензируемых изданиях из перечня ВАК Минобрнауки России, одно свидетельство о регистрации программы. Основные результаты работы докладывались автором и обсуждались на пяти международных и восьми межведомственных мероприятиях.

Работы по теме диссертации:

1. Мишин, В.А. CROSSER – программный модуль подготовки групповых констант для инженерных расчетов быстрых реакторов / В.Н. Кошечев, И.В. Тормышев, В.А. Мишин, А.А. Перегудов, К.Ф. Раскач, М.Ю. Семенов, А.А. Якунин // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерно-реакторные константы. — № 4. — 2020.—С. 16-25 (авторство не разделено).

2. Мишин, В.А. Сравнительный анализ расчетно-экспериментальных расхождений нейтронно-физических характеристик реактора БН-800 / М.Ю. Семенов, Г.М. Михайлов, А.А. Перегудов, В.А. Мишин, Я.В. Дьяченко, С.Б. Белов, А.Е. Кузнецов, В.А. Желтышев, Е.П. Ляпин, Г.Ю. Дубовой // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерно-реакторные константы. — № 1. — 2022. — С. 30-39 (авторство не разделено).

3. Мишин, В.А. Состояние разработки баз данных ядерных констант для расчетов быстрых реакторов на основе РОСФОНД и БНАБ-РФ / Г.Н. Мантуров,

С.В. Забродская, А.А. Зуйков, Ю.В. Левченко, Н.А. Мелега, В.А. Мишин, Д.В. Панова, А.А. Перегудов, О.О. Перегудова, М.Ю. Семенов, М.Н. Слюняев, К.В. Тыклеева // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерно-реакторные константы. — № 3. — 2022.— С. 19-26 (авторство не разделено).

4. Мишин, В.А. Расчетно-экспериментальный анализ нейтронно-физических характеристик активной зоны БН-800 в период перехода на загрузку смешанным оксидным уран-плутониевым топливом / Д.А. Клинов, М.Ю. Семенов, Г.М. Михайлов, А.А. Перегудов, В.А. Мишин, Н.В. Соломонова, А.Н. Крюков, М.Р. Фаракшин, С.Б. Белов, А.Е. Кузнецов, В.Н. Игнатъев, Г.Ю. Дубовой // Атомная энергия. — Т. 135. — Вып. 1-2. — 2023. — С. 3-10 (авторство не разделено).

5. Мишин, В.А. Анализ точности расчета распределения энерговыделения в БН-800 / Д.А. Клинов, М.Ю. Семенов, Г.М. Михайлов, А.А. Перегудов, В.А. Мишин, В.В. Изотов, А.Н. Крюков, М.Р. Фаракшин, С.Б. Белов, А.В. Киселев, А.Е. Кузнецов, Е.П. Ляпин // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерно-реакторные константы. — № 1. — 2024.— С. 65-71 (авторство не разделено).

На автореферат диссертации поступило семь отзывов:

1. Лукьянова Д.А., кандидата технических наук, начальника отдела разработки систем специального назначения АО «Научно-технический центр «Диапром». Отзыв положительный, имеются замечания: 1.В качестве научной новизны диссертационного исследования в автореферате указано создание «инструмента, позволяющего проводить высокоточные прогнозные расчеты нейтронно-физических характеристик активной зоны реактора БН-800 с МОКС-топливом для обоснования его безопасности при эксплуатации». Однако создание инструментария по осуществлению авторского сопровождения эксплуатации энергоблока № 4 Белоярской АЭС в первую очередь является показателем практической значимости диссертационного исследования. Научную новизну, по мнению автора настоящего отзыва, в первую очередь, имеют указанные выше результаты комплекса расчетных исследований и приведенные в разделе автореферата Теоретическая и

практическая значимость работы. 2. Указано, что «цель работы состоит в разработке, аттестации и внедрении вычислительного комплекса...». Однако в автореферате нет упоминания об проведении аттестации вычислительного комплекса BNcode. Означает ли это, что одну из составляющих цели диссертации не удалось достигнуть. 3. Не указано на каких языках и каких средах программирования реализованы основные блоки вычислительного комплекса BNcode, также не указано в какой операционной системе функционирует комплекс BNcode. 4. В автореферате указано, что одной из особенностей BNcode является использование теплогидравлического кода MIF-2 для расчета полей температур. Подобные расчеты проводятся и с использованием кода ГЕФЕСТ800. Проводилось ли сравнение результатов расчета полей температур по BNcode и ГЕФЕСТ800? Если проводилось, то какие результаты сравнения?

2. Фаракина М.Р., кандидата технических наук, начальника отдела АО «ОКБМ Африкантов» и Белова С.Б. начальника бюро АО «ОКБМ Африкантов». Отзыв положительный, имеются замечания: 1. При перечислении выполненных автором работ указывается на проведение расчётов с подтверждением соблюдения пределов и условий безопасной эксплуатации. По существу, в диссертационной работе выполнен анализ нейтронно-физических характеристик активной зоны при нормальной эксплуатации, режимы с нарушением нормальной эксплуатации не затрагивались. Поэтому корректно было бы указать на подтверждение непревышения эксплуатационных пределов. 2. В автореферате упоминается о перспективном использовании вычислительного комплекса BNcode для сопровождения реактора БН-600. При этом не представлена информация о его преимуществах по сравнению с ранее разработанным для сопровождения экспериментов на БН-600 кодом ModExSys. 3. Представленные в автореферате результаты оценки полной методической поправки к диффузионному расчёту значения  $K_{эфф}$  относятся к состоянию активной зоны с погруженными РО СУЗ (в начале цикла), т.е. включают погрешность расчёта эффективности поглотителя. Было бы целесообразно дополнительно представить данные по погрешностям расчёта критических

параметров без наложения неопределённости эффективности РО СУЗ (по запасу реактивности в начале цикла или Кэфф в конце цикла).

3. Фомина Р.В., кандидата технических наук, доцента отделения ЯФиТ ИАТЭ НИЯУ МИФИ. Отзыв положительный, имеются замечания: 1. Отсутствует обоснование применения гомогенного по шестигранной призме состава ТВС при разработке бенчмарк-моделей. 2. Не приводятся данные по составу используемого в моделировании МОКС-топлива.

4. Варивцева А.В., кандидата технических наук, заместителя директора по научной и инновационной деятельности АО «ИРМ». Отзыв положительный, имеются замечания: 1. Заявленная тема диссертации шире той задачи, которую автор решает в действительности. В диссертации рассматривается только реактор БН-800, тогда как в теме говорится о энергетических быстрых реакторах в целом. Возможно было дополнить название диссертационной работы словами «на примере реактора БН-800» или др. 2. В тексте автореферата используются сокращения (НФ, ТГ), значения которых не пояснены, хоть они и понятны специалистам в данной области. 3. При описании научной новизны следовало бы сделать более выраженный акцент на тот факт, что с применением BNcode и реализованного в нем метода Монте-Карло, был впервые рассчитан переход активной зоны реактора БН-800 на полную загрузку МОКС топливом.

5. Моисеева А.В., кандидата физико-математических наук, научного руководителя проекта БРЕСТ-ОД-300 АО «НИКИЭТ». Отзыв положительный, имеются замечания: 1. Автор отмечает, что база данных БД-800 включает в себя результаты измерений нейтронно-физических характеристик реактора БН-800. Из представленного в автореферате описания не ясно, каким образом осуществляется наполнение БД-800 новой экспериментальной информацией: база данных ведется только пользователем или реализуется автоматизированная передача информации от АЭС. 2. При разработке системы BNcode автором было принято решение не использовать специализированную систему управления базами данных (СУБД), а разработать собственную базу данных, представляющую структурированный набор директорий и файлов. В

настоящее время объем сформированной базы данных из 11 микрокампаний составляет 500 Гб. Хотелось бы обратить внимание на то, что по мере дальнейшего развития системы BNcode объем накопленной информации может увеличиться в разы. Выполнение поисковых запросов, управление информацией на гигантских объемах данных станет длительной и трудоемкой задачей без применения специализированной СУБД. 3. В третьей главе диссертационной работы приведены результаты расчетного анализа эффективности РО СУЗ с использованием прецизионных программ ММКК и ММКС в условно-критической постановке и сравнение с программами ГЕФЕСТ и JARFR. В представленном в автореферате описании не отмечено, учитывались ли пространственные эффекты в местах расположения детекторов, где определяется реактивность, при сопоставлении результатов расчета с экспериментальными данными. 4. В четвертой главе приводится сравнение результатов расчетов поля энерговыделения с экспериментальными значениями, полученными методом гамма-сканирования. Следовало бы уточнить, проводилось ли сравнение аксиальной неравномерности в ТВС для верификации расчета трехмерного распределения энерговыделения. 5. В заключительной части автореферата приведены результаты оценок методических поправок для инженерных кодов. Из текста следует, что указанные значения больше похожи на оцененные погрешности, которые получаются путем сравнения с экспериментами или кросс-верификацией с прецизионным кодом. Из представленного описания не ясно, как предлагается использовать данные поправки в расчетах инженерной программой.

6. Невиницы В.А., кандидата технических наук, руководителя отделения быстрых и высокотемпературных реакторов НИЦ «Курчатовский Институт». Отзыв положительный, имеется замечание: Как утверждается в описании реализованной методики, 1) расчет изменения состава активной зоны в процессе ее эксплуатации осуществляется с использованием многогруппового расчета на основе диффузионного приближения в связке с программой по расчету изотопной кинетики (TRIGEX; CARE); 2) расчет величины критичности, эффективности стержней СУЗ, а также эффектов реактивности

осуществляется с использованием метода Монте-Карло (ММКК; ММКС); 3) работа реактора на мощности рассчитывается с использованием связанного расчета диффузионной программы и программы расчета теплогидравлики (TRIGEX; MIF- 2); Однако нигде в автореферате не приводится описания алгоритма и критериев согласования исходных данных при передаче их от одного модуля к другому. В частности, не понятно, как осуществляется учет поправок при передаче данных.

7. Селезнева Е.Ф., доктора технических наук, ведущего научного сотрудника, НИЦ «Курчатовский Институт». Отзыв положительный, имеется замечание: В то же время не могу не отметить, что формулировка научной новизны в автореферате требует уточнения. Существуют другие программные комплексы (например, ГЕФСТ800, JARFR), которые также были использованы для сопровождения активной зоны РУ БН-800 в период ее перехода на полную загрузку МОКС-топливом. Автору необходимо было сделать более четкий акцент на том, что для подтверждающих расчетов эксплуатации активной зоны РУ БН-800 впервые был использован метод Монте-Карло, реализованный в созданном комплексе BNcode. Подобные расчеты снижают консервативность и являются достоинством данного комплекса.

По всем замечаниям соискателем были даны детальные разъяснения.

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что д.ф.м.н. В.Н. Семенов и к.ф.м.н. М.А. Увакин являются известными учеными и признанными специалистами в области математического моделирования процессов, протекающих в ядерных энергетических установках с различными теплоносителями.

Выбор ведущей организации обосновывается тем, что акционерное общество «Государственный научный центр — Научно-исследовательский институт атомных реакторов» является одним из ведущих научно-исследовательских институтов в атомной отрасли, где проводятся исследования в ключевых направлениях развития ядерной энергетики России, осуществляются исследования по направлению реакторов с натриевым теплоносителем. Кроме этого, выбор официальных оппонентов и ведущей



организации обосновывается списком публикаций оппонентов и сотрудников АО «ГНЦ НИИАР», подготовивших заключение по диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- создана универсальная вычислительная платформа для оперативной обработки, хранения, расчетного анализа данных нейтронно-физических реакторных экспериментов, позволяющая интегрировать в себя современные нейтронно-физические и теплогидравлические программы;
- осуществлен сбор и анализ информации о выполненных измерениях в реакторе БН-800: структурирование информации, анализ ее достаточности, отбор достоверной информации, заполнение базы данных;
- получены результаты расчетного анализа измерений, выполненных на реакторе БН-800 с использованием набора программ для ЭВМ, интегрированных в разработанную платформу;
- выполнены оценки полной методической составляющей погрешности нейтронно-физических характеристик для проектных программ JARFR и TRIGEX при переходе на полную загрузку МОКС-топливом.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики обоснована тем, что созданный расчетно-вычислительный комплекс внедрен в подразделения АО «ГНЦ РФ – ФЭИ» для сопровождения реактора БН-800. С его помощью проводился независимый контроль ядерной безопасности при переходе активной зоны реактора БН-800 на МОКС-топливо. Универсальность подхода позволяет применять данный комплекс не только для перспективных установок на быстрых нейтронах МБИР и БН-1200М, но и для быстрых реакторов со свинцовым и свинцово-висмутовым теплоносителями БРЕСТ и СВБР соответственно.

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

аттестовать в Ростехнадзоре нейтронно-физические коды и библиотеки реакторных констант, применяемые для обоснования безопасности РУ и АЭС с реакторами на быстрых нейтронах.

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

Полученные данные обладают большой ценностью для лицензирования реактора БН-800 с активной зоной с энергетическим плутонием, а также перспективного коммерческого реактора БН-1200М.

Достоверность результатов нейтронно-физических и теплогидравлических расчетов получены с помощью аттестованных Ростехнадзором программ TRIGEX, ММКК, ММКС, MIF-2, CARE, CONSYST, интегрированных в BNcode, с использованием системы констант БНАБ-93, БНАБ-РФ и РОСФОНД.

Личный вклад соискателя состоит в том, что все результаты работы, непосредственно выносимые на защиту диссертации, получены автором лично. Автором непосредственно:

- разработаны программные модули вычислительного комплекса BNcode для обработки, хранения, расчетного анализа данных нейтронно-физических измерений, выполненных на энергетическом реакторе БН-800;
- осуществлен сбор и анализ информации о выполненных измерениях на реакторе БН-800 – структурирование информации, анализ ее достаточности, отбор достоверной информации, заполнение баз данных;
- проведен расчетный анализ выполненных измерений на реакторе БН-800;
- определены для инженерных программ методические поправки нейтронно-физических характеристик в переходный период и при полной загрузке МОКС-топлива в БН-800;
- разработаны серии бенчмарк моделей выполненных измерений в реакторе БН-800 с целью верификации проектных и разрабатываемых кодов нового поколения;

- согласован объем перегрузок топлива РУ БН-800 перед началом каждой микрокампании с проведением подтверждающих расчетов эксплуатации активной зоны в предстоящей микрокампании с подтверждением соблюдения пределов и условий безопасной эксплуатации;
- даны рекомендации по использованию методических поправок в программах JARFR и ГЕФЕСТ800 для расчета основных нейтронно-физических характеристик реактора БН-800.

Диссертационный совет пришел к выводу, что диссертация Мишина В.А. является законченной научно-квалификационной работой, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842.

На заседании 12 февраля 2025 года диссертационный совет принял решение за разработку вычислительного комплекса для расчетного сопровождения измерений, выполненных на энергетических быстрых реакторах, имеющего важное значение для развития атомной энергетики, присудить Мишину Вячеславу Александровичу ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного электронного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек (в том числе участвовал дистанционно 1 человек), из них 15 докторов наук по специальности диссертации, участвовавших в заседании, из 17 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 15, против – 0, не голосовали – 0.

Председатель  
диссертационного совета

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Троянов  
Владимир Михайлович

Морозов  
Андрей Владимирович

12 февраля 2025 года