



Утверждаю

Заместитель директора –
научный руководитель

А.Л. Ижутов

» _____ 2018 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

АО «Государственный научный центр – Научно-исследовательский институт атомных реакторов» (АО «ГНЦ НИИАР»)

на диссертационную работу Мосуновой Настасьи Александровны на тему:
«Развитие научно-методических основ и разработка интегрального программного комплекса для моделирования реакторных установок на быстрых нейтронах с жидкометаллическими теплоносителями»,

представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.03 — Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации.

Структура работы

Диссертационная работа состоит из введения, семи глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, словаря терминов и списка литературы (284 наименования), списка иллюстративного материала. Диссертационная работа изложена на 333 страницах, содержит 69 таблиц и 91 рисунок.

Актуальность темы диссертационной работы

Целью диссертационной работы является разработка интегрального программного комплекса для моделирования процессов, протекающих в реакторных установках (РУ) на быстрых нейтронах с натриевым, свинцовым и свинцово-висмутовым теплоносителями, с твэлами с оксидным или нитридным топливом в режимах нормальной эксплуатации и нарушений нормальной эксплуатации, включая расчетный анализ отдельных режимов реакторных установок с жидкометаллическим теплоносителем БРЕСТ-ОД-300 и БН-1200.

Одной из наиболее важных задач, решение которых позволит добиться долговременного и устойчивого развития атомной энергетики, является создание ядерного энергетического комплекса с замыканием топливного цикла на базе реакторов на быстрых нейтронах (РБН) с жидкометаллическим теплоносителем. В этой связи актуальной является задача обоснования безопасности РБН с использованием современного расчетного инструментария, созданию, верификации и применения которого и посвящена

диссертационная работа Н.А. Мосуновой. Если для РУ с натриевым теплоносителем накоплен многолетний опыт исследований и эксплуатации (РУ БН-600, БОР-60), то создание реакторной установки БРЕСТ-ОД-300 с тяжелым жидкометаллическим теплоносителем определило особую актуальность работы.

Общая методология и методика исследования

Работа выполнена на единой методической основе разработки современного прикладного программного обеспечения, существенный вклад в разработку которой внесен лично автором диссертации. Методика включает этапы разработки моделей и программ, тестирования и верификации с использованием доступной экспериментальной информации, с оценкой погрешностей расчета статистическими методами.

Степень обоснованности и достоверности

Основные результаты диссертационной работы формулируются на основе анализа проведённых автором содержательных проблемно-ориентированных расчетов.

Положения, выносимые на защиту, прошли апробацию на различных российских и международных научных конференциях, опубликованы в 33 печатных работах, из них 15 – в ведущих реферируемых отечественных и зарубежных журналах из списка ВАК при Минобрнауки России.

Научная новизна полученных результатов

Несомненной научной новизной обладают следующие результаты работы, полученные лично автором или под его непосредственным руководством:

– Разработан интегральный программный комплекс ЕВКЛИД/V1, включающий модели основных процессов и явлений для описания режимов нормальной эксплуатации и нарушений нормальной эксплуатации РУ на быстрых нейтронах с натриевым, свинцовым или свинцово-висмутовым теплоносителем (теплогидравлический модуль, модуль описания поведения ТВЭЛ с оксидным или нитридным топливом и газовым подслоем, нейтронно-физический модуль в диффузионном и кинетическом приближениях, модули расчёта выгорания топлива и остаточного энерговыделения).

– Для теплогидравлического модуля разработана система замыкающих соотношений для расчета теплогидравлических процессов в контурах РУ на быстрых нейтронах с натриевым, свинцовым или свинцово-висмутовым теплоносителем при нормальной эксплуатации и нарушениях нормальной эксплуатации, модели, описывающие поступление водяного пара в тяжёлый жидкометаллический теплоноситель.

– Для твэльного модуля развиты и адаптированы механистические физико-математические модели для оксидного и смешанного нитридного уран-плутониевого топлива.

– Создана база данных по свойствам материалов и теплоносителей, проведен анализ и выбор наиболее надёжных теплофизических свойств жидкого свинца.

– Разработана методика интеграции отдельных программных модулей в составе многофункциональных программных комплексов, реализованные в виде интегрирующей оболочки.

– Разработаны матрицы верификации модулей, входящих в состав программного комплекса ЕВКЛИД/V1, для моделирования режимов нормальной эксплуатации и нарушений нормальной эксплуатации действующих и проектируемых РУ с натриевым теплоносителем и проектируемых РУ с тяжёлым жидкометаллическим теплоносителем (свинец или свинец-висмут).

– Разработана методика оценки погрешностей результатов расчётов, получаемых с помощью программных комплексов, соответствующая современным подходам к анализу неопределённостей и чувствительности и включающая оценку неопределённостей, обусловленных точностью используемых моделей физических процессов, входных данных, и вычислительных неопределённостей.

– С использованием программного комплекса ЕВКЛИД/V1 выполнены верификационные расчёты аналитических задач и экспериментов из матриц верификации, определены погрешности расчёта параметров, важных для оценки безопасности РУ.

– Выполнено моделирование отдельных режимов нормальной эксплуатации (стационарный режим работы на номинальном уровне мощности) и нарушений нормальной эксплуатации (режимы с отказом средств воздействия на реактивность или вводом положительной реактивности) РУ БН-1200 и БРЕСТ-ОД-300.

– Впервые проведен анализ аварии для РУ БРЕСТ-ОД-300, вызванной гильотинным разрывом трубки парогенератора.

Значимость полученных автором результатов для науки и производства

Практическая значимость результатов диссертационного исследования и рекомендации по использованию результатов и выводов работы:

– Разработан интегральный программный комплекс для моделирования процессов, протекающих в РБН с натриевым, свинцовым и свинцово-висмутовым теплоносителями с оксидным или нитридным топливом в режимах нормальной эксплуатации и нарушений нормальной эксплуатации.

- Программный комплекс ЕВКЛИД/V1 представлен на аттестацию в Ростехнадзор.
- Разработанные матрицы верификации и методику оценки погрешностей можно рекомендовать для использования при верификации, экспертизе и аттестации других расчетных кодов.

Внутреннее единство структуры работы

Диссертационная работа носит целостный и законченный характер.

Диссертация написана технически грамотным языком, хорошо иллюстрирована графическим материалом, содержит значительное количество теоретических и экспериментальных данных, позволяющих решить поставленные в работе задачи. Основные выводы и рекомендации в диссертационной работе сформулированы четко и грамотно.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

– Разработанный интегральный программный комплекс может и должен использоваться для проведения прикладных расчетов по анализу безопасности действующих (БН-600, БН-800, БОР-60) и проектируемых (БН-1200, БРЕСТ-ОД-300, МБИР) РУ на быстрых нейтронах.

– Программный комплекс ЕВКЛИД/V1 необходимо внедрять для использования в организациях Госкорпорации «Росатом» (АО «ОКБМ Африкантов», АО «ГНЦ НИИАР», АО «НИКИЭТ», АО «ВНИИНМ», АО «ГНЦ РФ - ФЭИ»), Частном учреждении «ИТЦП «ПРОРЫВ».

Соответствие содержания диссертации специальности

Содержание диссертации полностью соответствует паспорту специальности 05.14.03 – Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации – в части создания программных комплексов для моделирования нейтронно-физических, химических, тепловых, гидравлических и механических процессов, обеспечивающих расчетное обоснование облика и безопасного функционирования объектов ядерной техники.

Замечания по диссертационной работе

– В диссертационной работе рассматривается номинальный режим работы РБН, который *“подразумевает постоянство тепловыделения в а.з. и постоянство расхода теплоносителя”*. Но, при работе РБН в номинальном режиме изменяется тепловыделение за счет выгорания топлива в активной зоне, наработки плутония в зонах воспроизводства, перемещения РО СУЗ.

– Представлен достаточно подробный список явлений “для корректного расчёта характеристик РУ в режимах нарушений нормальной эксплуатации”. Но не приведены такие важные “явления”, как изменение аксиальных и радиальных размеров элементов РБН (ТВЭЛ, ТВС, напорный коллектор, приводы РО СУЗ и т.д.) в зависимости от температуры; искривление сборок (ТВЭЛОВ) за счет температурного градиента и распухания, изменения расхода теплоносителя (гидродинамический эффект реактивности).

– В главе 2 автор рассматривает различные приближения, реализованные в расчетном коде ЕВКЛИД/V1, используемые для решения нейтронно-физической задачи (G1 и G7 опции), однако ни в последующих главах не приводятся влияния использования этих приближений на точность расчета.

– В параграфе 4.11 рассмотрены результаты параллелизации программных модулей теплогидравлического расчета и ТВЭЛЬНОГО модуля, однако не приведены результаты по параллельным вычислениям диффузионного нейтронно-физического модуля при использовании G1 и G7 опций, а также не приводятся данные по полному ускорению расчетного кода ЕВКЛИД/V1.

Указанные замечания не снижают высокий уровень и положительную оценку представленной на отзыв диссертации.

Заключение

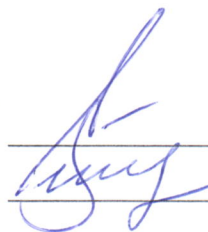
В целом диссертация Мосуновой Н.А. «Развитие научно-методических основ и разработка интегрального программного комплекса для моделирования реакторных установок на быстрых нейтронах с жидкометаллическими теплоносителями» представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу, выполненную на актуальную тему обладающую высокой степенью новизны и практической значимостью полученных результатов.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации, а результаты работы достаточно полно представлены в опубликованных Мосуновой Н.А. работах.

На основании вышеизложенного считаем, что диссертация «Развитие научно-методических основ и разработка интегрального программного комплекса для моделирования реакторных установок на быстрых нейтронах с жидкометаллическими теплоносителями» удовлетворяет требованиям пунктов 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утверждённого Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям, представленным на соискание ученой степени доктора наук, а её автор, Мосунова Настасья Александровна, заслуживает присуждения ей ученой степени доктора технических наук.

Отзыв на диссертацию подготовлен на основании заключения, сделанного в результате обсуждения диссертации и автореферата на заседании отделения «Реакторный исследовательский комплекс» АО «ГНЦ НИИАР», протокол заседания № 17 от 18 сентября 2018 года.

Заместитель начальника отделения РИК по научной работе,
начальник физико-технического департамента
Секретарь заседания



А.В. Бурукин

О.В. Ишунина

Эксперты:

Научный руководитель по ядерной безопасности
реакторной установки БОР-60,
эксперт-начальник лаборатории, д.т.н.



И.Ю. Жемков

Подписи А.В. Бурукина, О.В. Ишуниной, И.Ю. Жемкова заверяю:

Ученый секретарь АО «ГНЦ НИИАР»



Ю.А. Валиков

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>