



«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе  
ФГБОУ ВО «НГТУ им. Р.Е. Алексеева»

д.ф.-м.н., профессор

Куркин А.А.

«08» ноября 2024 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу

Чалого Руслана Васильевича

«Программный комплекс СОКРАТ-БН для анализа и обоснования безопасности АЭС с реакторами на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.9 – «Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность»

### Актуальность темы исследования

Рассматриваемая диссертационная работа посвящена проблеме расчетного обоснования безопасности быстрых реакторов – созданию интегрального программного комплекса (интегрального кода) СОКРАТ-БН, предназначенного для комплексного анализа безопасности атомных электростанций (АЭС) с реакторами на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем (РУ БН) в условиях нарушения нормальной эксплуатации (ННЭ), проектных (ПА) и запроектных аварий (ЗПА), включая тяжелые аварии (ТА) с плавлением активной зоны.

На момент начала разработки программы для расчетного обоснования безопасности в РУ БН использовались аттестованные расчетные программы ограниченные либо по моделируемым режимам, либо по описываемым процессам в рамках единого расчета. Использование таких программ для комплексного моделирования РУ связано с адекватным выбором граничных условий при учете взаимного влияния различных физических процессов: расчеты становятся либо избыточно консервативными, либо требуют большое количество итераций. Устоявшейся практикой для решения подобных задач для РУ типа ВВЭР является использование мультифизических программных комплексов, например аттестованных кодов КОРСАР, СОКРАТ. Для РУ БН подобные аттестованные комплексы отсутствовали. Среди неаттестованных программ преобладали зарубежные коды (SIMMER, SAS), которые не в полной мере были адаптированы к моделированию отечественных РУ, а российские программы (COREMELT) также не охватывали все важные явления в комплексе. Таким образом,

задача создания подобного комплекса, а также его последующая аттестация для быстрых реакторов являлась, безусловно, актуальной задачей.

### **Новизна исследования и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Новизна диссертационной работы заключается в том, что автором впервые разработан, валидирован и аттестован программный комплекс для реакторов на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем, который в рамках сквозного единого расчета позволяет моделировать: теплогидравлические, нейтронно-физические процессы, термомеханику топлива, процессы накопления и переноса ПД и процессы, связанные с деградацией активной зоны

Автором диссертации получены новые научные и практические результаты:

- программный комплекс позволил моделировать аварийные процессы от исходного события до потенциального выхода источника радиоактивных ПД в окружающую среду для оценки последствий радиационного загрязнения прилегающих к АЭС территорий;

- программный комплекс позволил впервые разработать полномасштабную расчетную модель РУ БН, включающую описание тракта циркуляции натрия по 1-му, 2-му контурам РУ, по натриевому контуру системы аварийного расхолаживания, воздушного теплообменника и циркуляцию водного теплоносителя в пределах парогенератора;

- программный комплекс позволил снизить консервативность расчета переноса и выхода ПД в окружающую среду за счет учета обратных связей гидродинамического и теплового состояния параметров первого контура и элементов оборудования, включая газовую систему компенсации давления.

### **Значимость для науки и производства (практики) полученных автором диссертации результатов**

Практическая значимость диссертационной работы Чалого Руслан Васильевича заключается в том, что программный комплекс уже используется главным конструктором РУ БН АО «ОКБМ Африкантов» для расчетного анализа и обоснования безопасности РУ на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем БН-600, БН-800 и обоснования проекта БН-1200.

### **Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и заключений**

Достоверность полученных результатов и выводов диссертационного исследования подтверждается успешно выполненной процедурой валидации и верификации программы, а также положительным заключением экспертизы ФБУ «НТЦ ЯРБ» о возможности

использования программы для анализа безопасности объектов использования атомной энергии – АЭС с РУ-БН.

**Оценка содержания диссертации, ее завершенность в целом, замечания по диссертации**

Диссертация выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой логически завершенный научный труд, а выносимые на защиту положения обладают научной новизной и в достаточной степени обоснованы. Диссертация состоит из 4 глав.

В первой главе выполнен анализ специфики аварий на РУ БН, представлены наиболее важные явления, влияющие на безопасность реактора в условиях аварий, приведена информация о существующих программных решениях и экспериментальных установках, для валидации программ.

Во второй главе представлена общая структура программного комплекса СОКРАТ-БН, информация по каждому программному модулю, по выполненным автором доработкам программы для задач моделирования РУ БН.

В третьей главе представлены результаты валидации и верификации программы, включающие аналитические тесты, кросс-верификацию с другими программами, валидацию на отдельных явлениях и интегральных экспериментах.

В четвертой главе представлен демонстрационный расчет представительного сценария тяжелой аварии с не санкционируемым извлечением регулирующих и компенсирующих стержней из активной зоны, в результате которого происходит разрушение и плавление активной зоны. По результатам расчета продемонстрирована связанная работа всех модулей программы СОКРАТ-БН.

Диссертационная работа Чалого Руслана Васильевича не дает оснований для принципиальных критических замечаний, однако по работе можно сделать ряд замечаний различного характера.

**Замечания:**

- 1) В первой главе диссертации представлены явления, влияющие на безопасность. В процессах на стадии деградации активной зоны не рассмотрены процессы на стадии долговременного удержания расплава в конструкции «поддон».
- 2) Во второй главе описан диффузионный нейтронно-физический модуль SYNTES, который предназначен для моделирования процессов на стадии деградации и плавления активной зоны, но валидация этого модуля ограничена только стационарными процессами. В четвертой главе присутствует сравнение с расчетом с трехмерным н/ф модулем кода COREMELT, но данный код также

не аттестован. Для полноценного доказательства применимости такого подхода к моделированию нейтронно-физических процессов на стадии деградации активной зоны целесообразно было бы расширить верификационную базу, например, за счет кросс-верификации с аттестованными кодами.

- 3) В третьей главе на странице 120 на рисунке 3.14 обрезана надпись на оси ординат
- 4) Ссылки на литературу 9 и 50 дублируют друг друга.
- 5) В работе присутствуют незначительные опечатки.

Отмеченные замечания не снижают общую положительную оценку диссертационной работы.

#### **Соответствие автореферата основным положениям диссертации**

Автореферат диссертационной работы Чалого Руслан Васильевича полностью соответствует основным положениям диссертации и в полном объеме отражает основное содержание работы и выводы.

#### **Подтверждение опубликованных основных результатов диссертации в научной печати**

Все результаты диссертационного исследования опубликованы в рецензируемых научных изданиях, докладывались на российских и международных конференциях и подробно изложены в списке публикаций автора.

#### **Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней**

Диссертационная работа Чалого Руслана Васильевича «Программный комплекс СОКРАТ-БН для анализа и обоснования безопасности АЭС с реакторами на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем» является научно-квалификационной работой, содержащей глубокий анализ феноменологии исследуемых физических процессов и явлений, описание нового разработанного программного комплекса СОКРАТ-БН, результаты его комплексной верификации и валидации, а также демонстрацию его применения к расчетам полномасштабных реакторных установок.

Диссертационная работа Чалого Руслана Васильевича «Программный комплекс СОКРАТ-БН для анализа и обоснования безопасности АЭС с реакторами на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем» соответствует паспорту специальности 2.4.9 – «Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность» и отвечает требованиям п. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842 (в редакции Постановления от 26.05.2020 № 751), предъявляемым к диссертациям

на соискание ученой степени кандидата наук. Автор диссертационной работы Чалый Руслан Васильевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.9 – «Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность».

Отзыв составлен на основании положительного заключения заседания кафедры «Ядерные реакторы и энергетические установки» и кафедры «Атомные и тепловые станции» (протокол № 3 от 07.11.2024) по результатам рассмотрения диссертации и автореферата, а также личного выступления Чалого Р.В.

Кафедра «Атомные и тепловые станции»


Зав. кафедрой, д.т.н., профессор

 С.М. Дмитриев

Доцент, к.т.н.

М.А. Легчанов

Доцент, к.т.н.

 Р.Р. Рязанов

Кафедра «Ядерные реакторы и энергетические установки»

Зав. кафедрой, д.т.н., профессор

 В.В. Андреев

Д.т.н., профессор

 В.И. Мельников

Подписи С.М. Дмитриева, М.А. Легчанова, Р.Р. Рязанова, В.В. Андреева и В.И. Мельникова заверяю.

Ученый секретарь Ученого Совета НГТУ

 И.Н. Мерзляков

07.11.2024

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева»

Адрес: ул. Минина, 24, г. Нижний Новгород, 603155, Российская Федерация

Телефон: +7(831)436-63-07

E-mail: [nntu@nntu.ru](mailto:nntu@nntu.ru)

Сайт: <https://www.nntu.ru>