

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА  
24.1.496.01 на базе Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки Института проблем безопасного  
развития атомной энергетики Российской академии наук

ПО ДИССЕРТАЦИИ  
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 15 января 2025 года № 5

О присуждении Чалому Руслану Васильевичу, гражданство – Российская Федерация, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Программный комплекс СОКРАТ-БН для анализа и обоснования безопасности АЭС с реакторами на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем» по специальности 2.4.9. – «Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность» принята к защите 29 октября 2024 года Решением диссертационного совета 24.1.496.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук, расположенного по адресу: 115191, Москва, ул. Большая Тульская, д. 52. Диссертационный совет создан приказом Минобрнауки России от 22 июня 2023 г. № 1316/нк.

Соискатель Чалый Руслан Васильевич 1978 года рождения в 2004 г. окончил Московский государственный технический университет им. Н.Э Баумана по специальности ядерные реакторы и ядерные энергетические установки, ему присвоена квалификация по специальности инженер-физик.

В период подготовки диссертации соискатель Чалый Руслан Васильевич работал в отделении анализа безопасности ядерных энергетических установок Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук в

должности заведующего лабораторией моделирования перспективных реакторных установок.

Диссертация выполнена в отделении анализа безопасности ядерных энергетических установок Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук.

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

Официальные оппоненты:

Коробейников Валерий Васильевич, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник АО «Государственный научный центр Российской Федерации – Физико-энергетический институт имени А.И. Лейпунского»;

Харитонов Владимир Степанович, кандидат технических наук, доцент кафедры теплофизики (№13) института ядерной физики и технологий НИЯУ МИФИ - Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева» (г. Нижний Новгород) в своем положительном отзыве, подписанном профессором заведующим кафедрой «Атомные и тепловые станции», д.т.н. Дмитриевым С.М., доцентом кафедры «Атомные и тепловые станции», к.т.н. Легчановым М.А и доцентом кафедры «Атомные и тепловые станции», к.т.н. Рязановым Р.Р. профессором заведующим кафедрой «Ядерные реакторы и энергетические установки», д.т.н. Андреевым В.В., профессором кафедры «Ядерные реакторы и энергетические установки», д.т.н. Мельниковым В.И. указала, что диссертация Чалого Р.В. 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, 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».

Соискатель имеет 15 опубликованных работ по специальности 2.4.9., в том числе 2 научные статьи в рецензируемых изданиях из перечня ВАК Минобрнауки России и 4 научные статьи в изданиях, индексируемых в международной базе данных Scopus и входящих в Russian Science Citation Index, 9 свидетельств о регистрации программы. Основные результаты работы докладывались автором и обсуждались на 9 научных конференциях и семинарах.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Моделирование процессов кипения натрия в одномерном двухжидкостном приближении с помощью кода СОКРАТ-БН / И. Г. Кудашов, В. Н. Семенов, Р.В. Чалый, [и др.]//Атомная энергия. – 2011. – Т. 111, № 3. – С. 137-139.
2. Моделирование плавления оболочки твэла и перемещения расплава в ТВС реакторов типа "БН" кодом "СОКРАТ-БН" / И. С. Вожаков, Э. В. Усов, Р.В. Чалый, [и др.]//Вопросы атомной науки и техники. Серия: Математическое моделирование физических процессов. – 2015. – № 4. – С. 15-21
3. Модели теплообмена кода СОКРАТ-БН для расчета кипения натрия в каналах разной геометрии / И. Г. Кудашов, Э. В. Усов, Р.В. Чалый, [и др.] // Атомная энергия. – 2014. – Т. 117, № 5. – С. 261-265.

На автореферат диссертации поступили отзывы из 7 организаций.

#### **1. АО «ОКБМ Африкантов».**

Отзыв подписали главный специалист отдела физических и теплогидравлических расчетов стационарных установок к.т.н. С.Л.Осипов и начальник бюро безопасности А.М.Анфимов.

Отзыв положительный. Замечания:

1. Отсутствуют наименования глав диссертации, поэтому не понятно, соответствует ли содержание главы своему наименованию.

2. Отмечается, что в первой главе формулируется общая постановка задачи. Однако непонятно, что конкретно из представленного обзора инициировало необходимость разработки и аттестации интегрального кода для обоснования безопасности АЭС с РУ БН.

3. Не приведены погрешности расчетного анализа расчетных процессов (теплогидравлических, нейтронно-физических, прочностных, радиационных и т.п.), происходящих в РУ в ходе аварийного режима или суммарной погрешности расчетного анализа.

4. В четвертой главе представлены отдельные результаты демонстрационного расчета тяжелой аварии для РУ БН-1200. Однако, также как и по замечанию 3, отсутствуют погрешности расчетного анализа и самое главное, сравнение с результатами подобных расчетов, например по отечественному коду COREMELT.

## **2. АО ТВЭЛ.**

Отзыв подписали начальник отдела по научно-технической деятельности по ядерному топливу для реакторов на быстрых нейтронах М.В.Храмцов и советник по научно-технической деятельности д.т.н. А.С.Курский.

Отзыв положительный. Замечания:

1. В автореферате буквально одним предложением обозначен выполненный в самой диссертационной работе обзор зарубежных и российских программ, имеющих интегральные характеристики. Это не дает в полной мере оценить преимущества кода СОКРАТ-БН в сравнении с зарубежными аналогами.

2. В автореферате приведены примеры расчетов и валидации различных переходных режимов для реактора типа БН (БН-600, БН-800, БН-1200) с оксидным смешанным уран-плутониевым топливом (МОКС). При этом не указаны возможности адекватного расчета по программе для ЭВМ СОКРАТ-БН для топлива типа СНУП на реакторах БН и, соответственно, возможности по верификации и валидации данной топливной опции.

## **3. НТЦ ЯРБ.**

Отзыв подписал начальник лаборатории отдела экспертизы программ для ЭВМ отделения экспертизы к.т.н. Д.А.Яшников.

Отзыв положительный. Замечания:

1. Расчетный анализ аварии типа УТОР применительно к РУ БН-1200, представленный в главе 4, не сопровождается оценкой погрешности и неопределенностей полученных результатов.

2. Не указаны математический смысл и формула для вычисления параметра  $\varepsilon$  в последнем столбце таблицы 5

3. Применительно к результатам измерений на РУ БН-600 и 800 использованных для валидации программы для ЭВМ «СОКРАТ-БН», вместо корректного термина «эксплуатационные данные» в автореферате использован некорректный «экспериментальные данные».

#### **4. ОКБ «ГИДРОПРЕСС».**

Отзыв подписал заместитель начальника отдела вероятностного анализа безопасности и программных средств к.ф.-м.н. М.А.Увакин.

Отзыв положительный. Замечания:

1. Автором приводится перечень из 9 пунктов свидетельств о регистрации программ для ЭВМ, которые в заметной степени дублируют друг друга, судя по доступной информации. При этом речь в работе идет о создании, верификации и валидации одного интегрального кода. Назначение и роль других программ по тексту автореферата не поясняется, что вызывает непонимание. Возможно, в тексте диссертации этот вопрос раскрыт подробнее

2. Основной результат работы формулируется как «мультифизичный программный комплекс для сквозного единого расчета». Однако, значительная часть результатов валидации приводится не по комплексу в целом, а только по отдельным модулям. Такой подход требует пояснения, поскольку если речь идет о связанном моделировании, то должны быть приведены результаты по программному комплексу в целом (тем более, что это будет соответствовать Порядку о проведении экспертизы программ для ЭВМ).

#### **5. Кольская АЭС.**

Отзыв подписал эксперт по ядерной физике к.т.н. В.А.Адеев.

Отзыв положительный. Замечание:

1. Не для всех обозначений приведены расшифровки. Например, для обозначения аварии УТОР.
2. В табл. 3 указано, что перечисление тестов для верификации всех н/ф модулей, а из текста предыдущего абзаца вытекает, что это тесты только для модуля Syntes.

#### **6. ГНЦ РФ – ФЭИ.**

Отзыв подписал начальник департамента расчетных исследований безопасности АЭС к.т.н. А.А.Перегулов.

Отзыв положительный. Замечания:

1. Существует ли возможность использования в СОКРАТ-БН более точных методов расчета нейтронно-физических характеристик (например Sn метод), а также более современных версий групповых констант?

2. Формулировка научной новизны требует уточнений. Мультифизичный программный комплекс разработан не впервые – существует ПК COREMELT, а до него SIMMER и др. СОКРАТ-БН рассчитывает большее число процессов, чем было в других мультифизичных кодах: не только теплогидравлические нейтронно-физические, термомеханические процессы, но также процессы, связанные с деградацией активной зоны, процессы накопления и переноса ПД, а также

выполняет оценку последствий радиационного загрязнения территорий, прилегающих к АЭС. Расчет с использованием СОКРАТ-БН выполняется в более полной постановке, что снижает консервативность расчетов и является несомненным преимуществом и достоинством данного комплекса.

## 7. ГНЦ НИИАР.

Отзыв подписал эксперт группы научного сопровождения к.т.н. В.Д.Грачев.

Отзыв положительный. Замечание:

Недостаточно полный состав литературных источников, упомянутых в тексте автореферата по отечественным программам, особенно по тематикам, связанным с теплогидравликой и термомеханикой зоны.

По всем замечаниям соискателем были даны детальные разъяснения.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что д.ф.-м.н. В.В.Коробейников и к.т.н. В.С.Харитонов являются известными учеными и признанными специалистами в области экспериментального и теоретического обоснования процессов, протекающих в ядерных энергетических установках, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждения высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е.Алексеева» является одним из ведущих научно-исследовательских институтов в атомной отрасли, где проводятся исследования в области безопасности АЭС. Кроме этого, выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается списком публикаций оппонентов и сотрудников ФГБОУ ВО «НГТУ им. Р.Е.Алексеева», подготовивших заключение по диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- разработки и валидации российского мультифизического программного комплекса (интегральный код СОКРАТ-БН) 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;
- реализации в рамках разработанной программы возможности моделировать аварийные процессы от исходного события до потенциального выхода

- радиоактивных ПД в окружающую среду для оценки последствий радиационного загрязнения прилегающих к АЭС территорий;
- разработки полномасштабной расчетной модели РУ БН, включающей 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;
  - снижения консервативности 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.

Практическая значимость исследования обоснована тем, что разработанный соискателем комплекс СОКРАТ-БН 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.

Оценка достоверности результатов 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.

Личный вклад соискателя состоит в том, что все результаты работы, непосредственно выносимые на защиту диссертации, получены автором лично, либо при его непосредственном участии в процессе взаимодействия с разработчиками отдельных модулей, а именно:

- постановка задач исследований, анализ объекта исследования, анализ существующих и доступных программных решений, систематизация результатов исследований по выбранному направлению;
- проектирование архитектуры нового программного комплекса, обеспечивающего полноценное и адекватное моделирование аварийных режимов;
- интеграция отдельных программных модулей в единый программный комплекс (обеспечение обмена данными, порядок и синхронизация вызова модулей). Доработка отдельных моделей по результатам опытной эксплуатации комплекса для обеспечения устойчивой работы программы, адекватного описания физических процессов с учетом особенностей реакторной установки и повышения точности ее моделирования;

- валидация и верификация разработанного программного комплекса;
- разработка расчетных моделей РУ БН и выполнение расчета представительного сценария для РУ БН

На заседании 15 января 2025 года диссертационный совет принял решение присудить Чалому Р.В. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного электронного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 14 докторов наук по специальности 2.4.9. – «Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность», участвовавших в заседании, из 17 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 15, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель  
диссертационного совета  
академик РАН



Большов Л.А.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
к.т.н.

Калантаров В.Е.

15 января 2025 года.