

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 № 6

О присуждении Рыжову Николаю Игоревичу, гражданство – Российская Федерация, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка методики оценки погрешностей и неопределенностей результатов моделирования аварий на АЭС для программ СОКРАТ» по специальности 2.4.9 – «Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность» принята к защите 1 ноября 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 Рыжов Николай Игоревич 1989 года рождения в 2013 г. окончил Московский физико-технический институт (государственный университет) по направлению подготовки прикладные математика и физика, ему присвоена квалификация (степень) магистр.

В период подготовки диссертации соискатель Рыжов Николай Игоревич работал в отделении анализа безопасности ядерных энергетических установок Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук в должности научного сотрудника.

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:

Морозов Андрей Владимирович, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник АО «Государственный научный центр Российской Федерации – Физико-энергетический институт имени А.И.Лейпунского»;

Карнаухов Валерий Евгеньевич, кандидат технических наук, главный эксперт АО «Всероссийский научно-исследовательский институт по эксплуатации атомных электростанций»;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация АО «Электрогорский научно-исследовательский центр по безопасности атомных электростанций», в своем положительном отзыве, подписанном начальником отдела нестандартных теплотехнических измерений, доктором технических наук Болтенко Э.А. и заместителем директора по научной работе – начальником управления НИР и НИОКР в области теплофизики, кандидатом технических наук Локтионовым В.Д., указала, что диссертация Н.И. Рыжова 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, Рыжов Николай Игоревич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по

специальности 2.4.9 – «Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность».

Соискатель имеет 11 опубликованных работ по специальности 2.4.9, в том числе 3 научные статьи в рецензируемых изданиях из перечня ВАК Минобрнауки России и 3 научные статьи в изданиях, индексируемых в международной базе данных Scopus и входящих в Russian Science Citation Index, 5 свидетельств о регистрации программы. Основные результаты работы докладывались автором и обсуждались на 7 научных конференциях и семинарах.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Evaluation of uncertainties associated with best estimates of parameters in the deterministic analysis of a severe accident / N.I. Ryzhov [et al.] // Nuclear Engineering and Design. – 2023. – Vol. 415. – P. 112741.
2. Модель нуклидной кинетики для расчета тяжелых аварий / Е. А. Долженков, Д. Ю. Томащик, Н. И. Рыжов // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерно-реакторные константы. – 2022. – № 4. – С. 5-14.
3. Estimation of system code SOCRAT/V3 accuracy to simulate the heat transfer in a pool of volumetrically heated liquid on the basis of BAFOND experiments / N.I. Ryzhov [et al.] // Annals of Nuclear Energy. – 2021. – Vol. 151. – P. 107902.
4. Numerical assessment of PARAMETER-SF1 test on oxidation and melting of LWR fuel assembly under top flooding conditions / N.I. Ryzhov [et al.] // Nuclear Engineering and Design. – 2020. – Vol. 369. – P. 110852.
5. Оценка возможности кода СОКРАТ моделировать процессы растворения диоксида уранового топлива жидким цирконием / Н. И. Рыжов [и др.] // Атомная энергия. – 2018. – Т. 125, № 2. – С. 79-85.
6. Двумерный теплогидравлический модуль интегрального кода СОКРАТ-БН: математическая модель и результаты расчетов / Н. И. Рыжов [и др.] // Атомная энергия. – 2016. – Т. 120, № 2. – С. 95-100.

На автореферат диссертации поступили отзывы из 6 организаций.

## **1. АО «ТВЭЛ».**

Отзыв подписал советник по научно-технической деятельности д.т.н. А.С.Курский.

Отзыв положительный. Замечания:

1. В автореферате со ссылкой на информацию в первой главе диссертации обозначено наличие обзора существующих методик анализа неопределенностей при валидации программ ЭВМ, предназначенных для

обоснования безопасности при ПА и ЗПА на РУ. Отсутствие информации в автореферате не дает возможности в полной мере оценить предложенную методику в сравнении с зарубежными аналогами.

2. При описании содержания второй части третьей главы приведен пример моделирования ПА на РУ БН по разработанной автором методике. Однако не указано, для какой конкретно РУ с натриевым теплоносителем рассмотрено нарушение нормальной эксплуатации с мгновенной полной блокировкой проходного сечения одной ТВС при работе РУ на номинальном уровне мощности. Очевидно, что для разных типов РУ типа БН (БОР-60, МБИР, БН-350, БН-600, БН-800, БН-1200) результаты расчетов температур оболочек твэлов будут отличаться.

3. Следовало бы сравнить и прокомментировать разницу в необходимом количестве расчетов согласно разработанной методике: 59 расчетов для ПА на РУ БН и 200 расчетов для ЗПА на РУ ВВЭР-1000 с гильотинным разрывом патрубков и одновременным наложением обесточивания.

## **2. НТЦ ЯРБ.**

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

Отзыв положительный. Замечания:

1. Для оценки двустороннего толерантного интервала параметра, важного для безопасности АС, диссертантом рекомендуется использовать соотношение (7), справедливое для нормального закона распределения значений параметра  $U_{model}$ . При этом в автореферате не указано, с использованием каких критериев согласия следует проверять нормальность распределения указанного параметра, а также не приведены рекомендации о подходах к оценке двустороннего толерантного интервала в случае закона распределения, отличного от нормального.

2. В подписи под рисунком 7 некорректно указано, что обозначению «1» соответствует «приемочный критерий», а обозначению «3» - «Монте Карло расчеты».

## **3. ОКБ «ГИДРОПРЕСС».**

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

Отзыв положительный. Замечания:

- в части обоснования актуальности темы исследования автор ссылается на руководящий документ РД-03-24-2000, который на данный момент находится в статусе «не действующий». Требуется пояснение, почему отсутствует ссылка на актуальный документ;

- на стр. 3 автореферата автор указывает, что «в настоящее время довольно глубоко проработана методика оценки неопределенностей

теплогидравлических расчетов в области ПА». При этом, одной из задач работы является «разработка методики оценки погрешностей и неопределенностей на стадии моделирования ПА». Из автореферата не понятно, откуда появилась такая задача и в чем преимущества предлагаемой методики по сравнению с разработанными ранее;

- согласно рис. 3 в методике оценки погрешностей заложено допущение о том, что результаты расчета заведомо находятся дальше от «истинного» значения, чем эксперимент. Является ли данное допущение консервативным в контексте реалистического подхода, применяемого для ЗПА (ТА)?

- редакционные замечания: в таблице 1 приведены значения величины  $U_{input+D}$ , но в тексте отсутствует описание данного параметра; на рис. 7 неверно указана нумерация в подрисуночной надписи; отсутствует ссылка на РБ-166-20.

#### **4. Кольская АЭС.**

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

Отзыв положительный. Замечания:

1. В реферате указано, что реалистическая оценка параметра может быть использована в качестве исходных данных для других расчетов. Современные комплексы программ обоснования безопасности, как правило, состоят из многих частей, описывающих различные физические процессы. Расчеты могут быть сопряженными или последовательно выполняемыми. Для каждого процесса может применяться своя аттестованная программа известной точности. В этом случае погрешность итогового результата не может быть просто выражена через погрешности отдельных модулей. Разработка методики для оценки погрешности и неопределенности расчета итогового параметра безопасности для была бы полезна.

2. На рис. 7 перепутаны обозначения кривых 1 и 3.

#### **5. ГНЦ РФ - ФЭИ.**

Отзыв подписал начальник Департамента расчетных исследований безопасности АЭС к.т.н. А.А. Перегудов.

Отзыв положительный. Замечания:

В автореферате, не приводятся сравнения созданной автором методики для оценки погрешностей с другими известными способами. В отрасли имеется не менее 5 аттестованных кодов по анализу неопределенности. Не ясно, в чем разработанная автором методика отличается от других методик, в чем ее преимущество?

#### **6. ГНЦ НИИАР.**

Отзыв подписал старший научный сотрудник к.т.н. А.В.Алексеев.

Отзыв положительный. Замечания:

1. В «Основных результатах» рекомендуется привести для валидации каких ПрЭВМ применялась разработанная методика (кроме СОКРАТ).

2. Не приведено отличие неопределенностей, получаемых по разработанной для ЗПА реалистичной методике от консервативной (хотя бы одного примера).

3. Рекомендуется привести сколько использовано экспериментальных тестов в режиме ЗПА для валидации при аттестации указанных версий ПрЭВМ СОКРАТ и для скольких из них использована разработанная методика.

4. Для расчета средних и среднеквадратичных отклонений для непрерывных параметров можно использовать интегралы (например, по времени; в дополнение к формулам (15) и (16)).

5. Для параметра №3 таблицы 1 нет названия в тексте, в отличие от № 1 и №2.

6. Перед рисунком 7 написано «на рисунке 7 изображен ... температуры чехла ТВС 2-ого ряда», тогда как в подписи рисунка «температура оболочек твэл ТВС 2-ого ряда».

По всем замечаниям соискателем были даны детальные разъяснения.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что д.т.н. А.В.Морозов и к.т.н. В.Е.Карнаухов являются известными учеными и признанными специалистами в области экспериментального и теоретического исследования процессов, протекающих в ядерных энергетических установках, математического моделирования и анализов неопределенностей при моделировании физических процессов, Акционерное общество «Электрогорский научно-исследовательский центр по безопасности атомных электростанций» 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 АО «ЭНИЦ», подготовивших заключение по диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

– разработана методика оценки погрешностей и неопределенностей на этапе валидации программ для ЭВМ, которая применима как для программ для ЭВМ, предназначенных для моделирования ПА с использованием консервативного подхода, так и для программ для ЭВМ, предназначенных для моделирования

ЗПА с использованием реалистического подхода. Методика валидации учитывает неопределенности экспериментальных измерений и неопределенности расчётов на количественном уровне;

- разработана методика оценки погрешностей и неопределенностей на этапе моделирования ПА с использованием консервативного подхода. Методика учитывает результаты валидации и особенности консервативного подхода;
- разработана методика оценки погрешностей и неопределенностей на этапе моделирования ЗПА с использованием реалистического подхода. Методика учитывает результаты валидации и особенности реалистического подхода.

Практическая значимость исследования обоснована тем, что разработанная методика в части получения оценок погрешностей и неопределенностей при моделировании ЗПА вошла в РБ-166-20 в качестве приложения №4. Методика успешно используется в ОКБ «Гидропресс» и ИБРАЭ РАН для анализа безопасности АЭС с РУ ВВЭР. Методика была внедрена в практику моделирования проектных аварий на РУ БН в ОКБМ им. Африкантова и в ИБРАЭ РАН. Разработанная методика валидации была успешно внедрена в практику валидации программ для ЭВМ СОКРАТ-БН/В1 (Аттестационный паспорт №412 от 08.12.2016), СОКРАТ-БН/В2 (Аттестационный паспорт №472 от 20.11.2019), СОКРАТ-В1/В2 (Аттестационный паспорт №564 от 19.08.2022), СОКРАТ/В3 (Аттестационный паспорт №521 от 09.07.2021), которые успешно прошли экспертизу в НТЦ ЯРБ.

Достоверность результатов диссертационного исследования подтверждена при обсуждении на многочисленных международных и российских конференциях и семинарах, включением её в руководство по безопасности РБ-166-20 и использованием известных общепризнанных методов статистического анализа.

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

- методика обобщения оценки модельной погрешности ПрЭВМ при валидации;
- методика оценки погрешностей и неопределенностей результатов расчетов параметров, важных для безопасности, при анализах ПА и ЗПА, учитывающая результаты валидации;
- расчетная модель эксперимента для QUENCH-06;

– анализы неопределенностей и погрешностей на демонстрационных примерах.

На заседании 15 января 2025 года диссертационный совет принял решение присудить Н.И.Рыжову 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.