

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 25 сентября 2024 года № 6

О присуждении Томащiku Дмитрию Юрьевичу, гражданство – Российская Федерация, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Модуль CONT\_TH для расчета теплогидравлических параметров атмосферы в герметичном ограждении РУ с водяным теплоносителем при тяжелых авариях» по специальности 2.4.9 – «Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность» принята к защите 9 июля 2024 года Решением диссертационного совета (протокол № 4) 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 Томащик Дмитрий Юрьевич 1969 года рождения в 1993 г. с отличием окончил Московский инженерно-физический институт по специальности ядерные реакторы и ядерные энергетические установки, ему присвоена квалификация инженера-физика.

В период подготовки диссертации соискатель Томащик Дмитрий Юрьевич работал в отделении анализа безопасности ядерных энергетических установок Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук в должности старшего 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 технических наук Киселев Аркадий Евгеньевич, заведующий отделением анализа безопасности ядерных энергетических установок Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

Болтенко Эдуард Алексеевич, доктор технических наук, старший научный сотрудник, начальник отдела нестандартных измерений АО «Электрогорский научно-исследовательский центр по безопасности атомных электростанций»;

Казанцев Анатолий Александрович, кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник АО «Государственный научный центр Российской Федерации – Физико-энергетический институт имени А.И. Лейпунского»

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» (г. Москва) в своем положительном отзыве, подписанном заведующим кафедрой АЭС, к.т.н. Хвостовой М.С., профессором кафедры АЭС, д.т.н. Проскуряковым К.Н и доцентом кафедры АЭС, к.т.н. Воробьевым Ю.Б., указала, что диссертация Томащика Д.Ю. 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 Томащик Дмитрий Юрьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.9 – «Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность».

Соискатель имеет 56 опубликованных работ по специальности 2.4.9, в том числе по теме диссертации – 10 работ, включая 4 статьи в журналах из перечня ВАК, в том числе 3 статьи в журнале «Nuclear Engineering and Design» (электронное издание), 1 статья в журнале «Nuclear Technology» (электронное издание), 4 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ, 1 доклад в сборнике МНТК-2018 «Безопасность, эффективность и экономика атомной энергетики» (электронное издание), 1 тезисы доклада в сборнике научно-технической конференции «Теплофизика реакторов нового поколения (Теплофизика – 2024)» (200 экз.). Апробация результатов научного исследования подтверждена публичными докладами на 5 российских и международных конференциях и семинарах.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. F. Mascari, D.Y. Tomashchik et al, OECD/NEA/CSNI/WGAMA PERSEO benchmark: Main outcomes and conclusions, Nuclear Engineering and Design 405 (2023) 112220.
2. V. B. Morozov, A. E. Kiselev, A. A. Kiselev, D. Y. Tomashchik [et al., 6 auth.] Issues of Safety Assessment of New Russian NPP Projects in View of Current Requirements for the Probability of a Large Release // Nuclear Technology. – 2021. – Vol. 207, No. 2. – P. 204-216.
3. NUMERICAL ASSESSMENT OF PARAMETER-SF1 TEST ON OXIDATION AND MELTING OF LWR FUEL ASSEMBLY UNDER TOP FLOODING CONDITIONS Tomashchik D.Y., Dolganov K.S., Kiselev A.E., Ryzhov N.I., Yudina T.A. Nuclear Engineering and Design. 2020. T. 369. C. 110852.
4. POST-TEST ANALYSES OF THE CORA-15 BUNDLE TEST WITH THE SYSTEM CODES ATHLET-CD AND SOCRAT Stuckert J., Austregesilo H., Bals C., Hollands T., Kiselev A., Tomashchik D., Yudina T. Nuclear Engineering and Design. 2019. T. 342. C. 320-335.

На автореферат диссертации поступили отзывы из 10 организаций.

#### 1. АО «ТВЭЛ».

Отзыв подписали Главный эксперт к.т.н. В.Ю.Волков, старший вице-президент по научно-технической деятельности к.т.н. А.В.Угрюмов.

Отзыв положительный. Замечания:

1. При описании системы уравнений (1) непонятно как выбирался диаметр капель и производилось ли автором разбиение на группы по размеру капель, так как от этого будет зависеть испарение воды или конденсация пара.

2. При моделировании экспериментов на установке PANDA автор использует недостаточное разбиение нодализационной модели, не позволяющее учитывать неравномерность датчиков в пространстве без пояснения по тексту.
3. При моделировании герметичного ограждения ВВЭР-1000 автор приводит сравнение с CFD кодом STAR-CCM+ только по давлению, что не позволяет в полной мере судить о соответствии остальных переменных. Так, на рисунках 14 и 15 видно отличие результатов по высоте в области РУ (ячейка R2).

## **2. ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова».**

Отзыв подписал ведущий научный сотрудник к.т.н. В.С.Грановский.

Отзыв положительный. Замечания:

Несмотря на ограниченный объем автореферата, в него следовало включить краткие сведения:

- о влиянии/невлиянии на нодализацию спринклеров и рекомбинаторов;
- о модели рекомбинатора;
- о массообмене на поздней стадии тяжелой аварии между водородной атмосферой внутри ЯР и парогазовой атмосферой под оболочкой контейнента;
- об учете выхода на поздней стадии тяжелой аварии пара, газа и аэрозолей из ловушки расплава.

## **3. Кольская АЭС.**

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

Отзыв положительный. Замечание:

При численном анализе теплогидравлического отклика ГО АЭС с ВВЭР-1000 при ТА, при большой течи теплоносителя первого контура использовалась упрощенная геометрическая модель энергоблока, теплообмен с конструкциями 1 и 2 контура не моделировался. Это ставит под сомнение полученные результаты кросс верификации с CFD кодом STAR-CCM+.

## **4. Севастопольский государственный университет.**

Отзыв подписал доцент кафедры «Ядерные энергетические установки» к.т.н. Ю.В.Браславский.

Отзыв положительный, без замечаний.

## **5. ОКБ ГИДРОПРЕСС.**

Отзыв подписал ведущий инженер-конструктор к.т.н. А.В.Николаева.

Отзыв положительный. Замечания:

- в автореферате в качестве личного вклада соискателя указана разработка

матрицы валидации моделей и модуля CONT TH. Сама матрица валидации в автореферате не описана;

- для величин, представленных в уравнениях, не приведены размерности, что снижает информативность описания;
- необходимо дать пояснения на основе чего принято приращение скоростей, температур и массы капель на уровне не более, чем 0,5% за внутренний шаг интегрирования при решении линеаризованных уравнений тепло- и массообмена спринклерных капель.

## 6. Курская АЭС.

Отзыв подписал начальник смены реакторного цеха Г.В.Чичикин.

Отзыв положительный. Замечания:

Основным недостатком данной работы можно считать используемую геометрическую модель ГО, построенную по открытым источникам без учета особенностей планировки ГО и используемых систем безопасности в проектах РУ В-187, В-338, В-320 с реакторами ВВЭР-1000. Также в работе отсутствует информация по моделированию процессов истечения теплоносителя из РУ в ГО с описанием распределения давления, температуры и состава газовой среды в помещениях ГО для проектов АЭС-2006 и АЭС с ВВЭР-ТОИ, отличающихся своей планировкой, расположением оборудования первого контура в них, измененной по отношению к проектам ВВЭР-1000 концепции построения систем безопасности и их составу. Кроме вышесказанного, также в работе не показаны расчетные возможности модуля при моделировании аварии, характерной для обоснования безопасности реакторных установок с водяным теплоносителем - гильотинный разрыв главного циркуляционного трубопровода реакторной установки (Ду850), при котором динамика протекания аварии, а следовательно и скорости протекания процессов массопереноса, теплообмена существенно выше, чем для аварий с разрывом трубопровода системы САОЗ (Ду280).

## 7. АО «Атомэнергопроект».

Отзыв подписал эксперт Научно-конструкторского управления к.т.н. В.Г.Сидоров.

Отзыв положительный. Замечания:

1. В описании модели на стр. 15 сказано, что учитывается следующий процесс: «перенос и осаждение капель жидкости из атмосферы помещений», однако в уравнениях, приведенных в разделе 1.3 нет уравнения переноса капельной влаги. В результате суммарная масса сконденсировавшейся в объеме воды остается в этом объеме (ер. уравнение (1.3) и 1.40). Таким образом, описание движения многофазной смеси ограничивается расчетом движения парогазовой смеси. Однако вкладом объемного конденсата в контейнментную теплогидравлику нельзя пренебрегать для отдельных случаев.



2. Для расчета объемной конденсации используется упрощенная модель, требующая пояснения. Формула для расчета интенсивности объемной конденсации (1.40) содержит переменные, имеющие отношение к интенсивности движения газовой среды, однако размерности левой и правой частей различаются. В эту формулу входит коэффициент  $k$ , определяемый в зависимости от скорости газовой среды. Если ориентироваться на диапазон изменения  $k$ , то скорости газовой среды должны находиться в диапазоне от 10 до 100 м/с. Для контейнента это очень большие скорости, в основном, скорости среды меньше. Как объемная конденсация рассчитывается при малых скоростях?

3. Стр. 16: «мелкодисперсная фаза и конденсат на стенах моделируются эффективным образом (рассчитывается равновесное состояние без учета динамики изменения толщины конденсатной пленки). Толщина пленки конденсата вносит значительное термическое сопротивление в процессе конденсации парогазовой среды на стенке, требуется обоснование корректности, используемой в программном модуле модели.

4. На стр. 43 утверждается: «В ходе валидации устанавливаются возможности отдельных моделей описывать процесс или явление в условиях, характеризующих моделируемый режим, полнота набора моделей в коде, а также адекватность взаимодействия моделей для описания протекания совокупности процессов и их взаимовлияния.» В этом предложении содержится правильное утверждение о необходимости валидации моделей по отдельным явлениям на простых экспериментах, но никаких таких валидационных тестов не приведено. Автор сразу переходит к экспериментам на интегральном стенде, при рассмотрении которых отсутствует анализ чувствительности и неопределенности.

5. В частности, предложенная в диссертации упрощенная модель смешанной конвекции требует валидации на экспериментальных данных отдельных экспериментов.

## 8. НТЦ ЯРБ.

Отзыв подписали г.н.с. к.ф.-м.н. А.А.Строганов, с.н.с. А.Ш.Курбонмамадов, главный специалист В.М.Хлобыстов.

Отзыв положительный. Замечания:

1. Отсутствие явного моделирования течения Стефана может быть одним из ограничений модели CONT\_TH, особенно в случаях интенсивной конденсации пара на холодных стенках, а также в случаях когда эти течения играют существенную роль в формировании распределения температуры и состава газовой фазы в ГО;

2. Не приведено описание ограничений применимости модуля CONT\_TH, обусловленных реализованными в его составе математическими методиками;

3. В разделе автореферата «Практическая ценность результатов» указано, что модуль CONT\_TH аттестован в составе программы для ЭВМ СОКРАТ-

V1/V2 для расчета давления, температуры и состава газовой атмосферы в помещениях ГО. При этом в аттестационном паспорте программы ЭВМ СОКРАТ/V1/V2 не указаны погрешности определения температуры в ГО, что свидетельствует о недостаточности верификационных данных и/или отсутствии обоснованных погрешностей результатов расчетов температуры в ГО по модулю CONT\_TH;

4. Не представлена информация о влиянии неопределенностей исходных данных, а также допущений и упрощений, принятых при разработке модуля CONT\_TH, на получаемые результаты расчетов параметров в ГО;

5. Имеется ряд незначительных погрешностей изложения в тексте автореферата. Так, по его содержанию ясно, что практическая значимость работы определяется, в том числе и результатами количественной оценки динамики изменения мольной доли водорода в пароводородной смеси в течение тяжелой аварии с плавлением активной зоны (Рис. 13), важными по отношению к вопросам взрывобезопасности, связанным с пароциркониевой реакцией. Однако на стр. 3, отмечено, что «газовый состав атмосферы ГО принципиально важен по соображениям пожаробезопасности». В ссылках на основные публикации автора по теме диссертации №№ 5, 9 и 10 его фамилия отсутствует в приведенном перечне авторов, хотя допустимо было бы привести его в такой форме: 5. V.B.Morozov, A.E.Kiselev, A.A.Kiselev, Tomashchik D.Y. [et al., 6 auth.] Issues of Safety Assessment of New Russian NPP Projects in View of Current Requirements for the Probability of a Large Release // Nuclear Technology. - 2021. - Vol. 207, No. 2. - P. 204-216; 10. Л.А.Большов (RU), М.А.Затевахин (RU), Д.Ю.Томащик и др. (всего 32 автора).

## 9. Ленинградская АЭС.

Отзыв подписал заместитель главного инженера по безопасности и надежности В.А.Евгеньев.

Отзыв положительный. Замечания:

К недостаткам автореферата можно отнести отсутствие в автореферате результатов анализа ТА с помощью кода СОКРАТ и разработанного к нему модуля CONT\_TH, в рамках ВАБ второго уровня, РУ с ВВЭР-1200 (В-491, В-392М) как референтных блоков для главного, на настоящий момент, экспортного продукта ГК «РОСАТОМ». Однако данное замечание нивелируется проведенным аналогичным анализом для РУ с ВВЭР-1000 и ВВЭР-ТОИ имеющие схожие пассивные системы безопасности, и не влияет на положительную оценку исследования Д.Ю.Томащика.

## 10. АО «Концерн Росэнергоатом».

Отзыв подписали и. о. заместителя директора Департамента по эксплуатации АЭС и управления ядерным топливом - руководителя Управления по эксплуатации АЭС с реакторами ВВЭР О.А.Айдемиров, главный технолог Департамента по эксплуатации АЭС и управления ядерным топливом С.Е.Мальков.

Отзыв положительный. Замечания:

Недостатком данной работы можно считать используемую геометрическую модель ГО, построенную по открытым источникам без учета особенностей ГО и используемых систем безопасности в проектах АЭС с РУ В-187, В-338, В-320 с реакторами ВВЭР-1000. В работе также отсутствует информация по моделированию процессов истечения теплоносителя из РУ в ГО с описанием распределения давления, температуры и состава газовой среды в помещениях ГО для проектов АЭС-2006 и АЭС с ВВЭР-ТОИ, отличающихся своей компоновкой, расположением оборудования первого контура, измененной по отношению к проектам ВВЭР-1000 концепции построения систем безопасности и их составу. Также в работе не показаны расчетные возможности модуля при моделировании аварии, характерной для обоснования безопасности реакторных установок с водяным теплоносителем - гильотинный разрыв главного циркуляционного трубопровода реакторной установки (Ду850), при котором динамика протекания аварии, а следовательно и скорости протекания процессов массопереноса, теплообмена существенно выше, чем для аварий с разрывом трубопровода системы САОЗ (Ду280).

По всем замечаниям соискателем были даны детальные разъяснения.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что д.т.н. Э. А. Болтенко и к.т.н. А.А. Казанцев являются известными учеными и признанными специалистами в области экспериментального и теоретического обоснования процессов, протекающих в ядерных энергетических установках, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» 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 «НИУ МЭИ», подготовивших заключение по диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- в рамках единого подхода по моделированию процессов для интегрального кода СОКРАТ реализован согласованный расчет теплогидравлических параметров РУ и герметичном ограждении (ГО) реакторов с водяным теплоносителем, решен вопрос о согласовании свойств теплоносителя для контурной гидравлики и в ГО, в том числе в метастабильных областях;



- разработана модель течения газовой фазы, учитывающая импульс, передаваемый газу за счет процессов теплообмена;
- развита модель образования и разрушения стратифицированных слоев за счет плавучести и импульса, не требующая усложнения пространственной дискретизации расчетной области, ее использование формализовано в оригинальной методике построения расчетных схем;
- разработана универсальная модель спринклерной системы, учитывающая взаимодействие капель с конструкциями и ограничение перемешиваемости газовой фазы каплями спрея;
- разработана и проверена на экспериментальных данных универсальная методика моделирования теплообменника-конденсатора с использованием базовых теплогидравлических моделей модуля.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что разработанная соискателем модель позволяет в составе интегрального кода проводить согласованный расчет протекания тяжелых аварий в первом контуре и ГО на АЭС с водяным теплоносителем.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- модуль CONT\_TH аттестован в составе кода СОКРАТ-В1/В2 для расчета давления, и состава газовой атмосферы в помещениях ГО при запроектных авариях, включая тяжелые аварии, на энергоблоках АЭС с ВВЭР;
- проведено сопряжение теплогидравлических моделей CONT\_TH с моделями поведения РВ в ГО и получены реалистичные оценки выбросов РВ при обосновании безопасности энергоблоков ВВЭР-440 проектов В-179 и В-213, ВВЭР-1000 проектов В-338 и В-320, ВВЭР-ТОИ в рамках ВАБ второго уровня, а также в задачах аварийного реагирования;
- разработанные модели расчета теплогидравлических параметров могут использоваться в составе других программ для ЭВМ, предназначенных для расчета давления, температуры и состава газовой атмосферы в помещениях ГО РУ с водой под давлением.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что результаты и выводы, полученные в рамках диссертационного исследования, подтверждаются использованием информации из различных отраслей науки и техники, взаимно дополняющей и подтверждающей принятые решения, детализацией моделирования различных процессов и степени их взаимосвязи на основе анализа влияния на целевые параметры расчета, результатами верификации и валидации

разработанных моделей и модуля в целом на экспериментах по исследованию отдельных явлений и интегральных экспериментах, результатами кросс-верификации с аттестованным CFD кодом на примере ГА «большая течь первого контура с отказом активных систем безопасности» на АЭС с РУ ВВЭР-1000, аттестацией кода СОКРАТ с модулем CONT\_TH в Ростехнадзоре.

Личный вклад соискателя состоит в:

- разработке всех материалов, составляющих основу представленной диссертации, начиная от постановки задачи и до обоснования приемлемости полученных результатов моделирования явлений на объектах разного масштаба;
- выполнении анализа феноменологии и взаимной зависимости протекающих процессов с выделением наиболее «узких» мест при моделировании, обычно возлагаемых на пользователей;
- проведении квалификации экспериментальных данных, необходимых для валидации совокупности физических моделей.

На заседании 25 сентября 2024 года диссертационный совет принял решение присудить Томащук Д.Ю. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного электронного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 15 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 – 16, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель  
диссертационного совета  
д.ф.-м.н.



Матвеев Л.В.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
к.т.н.

Калантаров В.Е.

25 сентября 2024 года.