

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 75.1.077.01

созданного на базе акционерного общества

«Государственный научный центр Российской Федерации –

Физико-энергетический институт имени А.И. Лейпунского»

(принадлежность - Госкорпорация «Росатом»)

по диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 16 апреля 2025 года № 12

О присуждении Шлепкину Александру Сергеевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Экспериментальное определение влияния тепломассообменных процессов в оборудовании реакторной установки и защитной оболочке на работу пассивных систем безопасности ВВЭР» по специальности 2.4.9 – Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность принята к защите 18 декабря 2024 года (протокол № 6) диссертационным советом 75.1.077.01, созданным на базе акционерного общества «Государственный научный центр Российской Федерации – Физико-энергетический институт имени А.И. Лейпунского» (Госкорпорация «Росатом») (далее – АО «ГНЦ РФ – ФЭИ»), расположенного по адресу: 249033, г. Обнинск, Калужской обл., пл. Бондаренко, 1. Диссертационный совет создан приказом Минобрнауки России № 663/нк от 09.07.2024.

Соискатель Шлепкин Александр Сергеевич, дата рождения – 9 декабря 1989 года.

В 2014 году окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» Обнинский институт атомной энергетики – филиал федерального государственного автономного

образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» по направлению подготовки 140404 – «Атомные электрические станции и установки», ему присвоена квалификация инженер.

В 2018 году Шлепкин А.С. окончил аспирантуру АО «ГНЦ РФ – ФЭИ», успешно сдав кандидатские экзамены. В связи с изменением номенклатуры научных специальностей в 2023 году Шлепкин А.С. успешно пересдал экзамены кандидатского минимума по специальности 2.4.9.

В период подготовки диссертации соискатель Шлепкин Александр Сергеевич работал в отделении ядерной энергетики АО «ГНЦ РФ – ФЭИ». В настоящее время занимает должность младшего научного сотрудника.

Диссертационное исследование выполнено в отделении ядерной энергетики АО «ГНЦ РФ – ФЭИ».

Научный руководитель – Морозов Андрей Владимирович, доктор технических наук по специальности 05.14.03. «Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации», доцент, ученый секретарь АО «ГНЦ РФ – ФЭИ».

Официальные оппоненты:

- Болтенко Эдуард Алексеевич, доктор технических наук, старший научный сотрудник, начальник отдела нестандартных теплотехнических измерений АО «Электрогорский научно-исследовательский центр по безопасности атомных станций»;
- Лобанов Павел Дмитриевич, доктор технических наук, старший научный сотрудник федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт теплофизики имени С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем безопасного развития атомной энергетики

Российской академии наук (ИБРАЭ РАН) – представила положительный отзыв на диссертацию Шлепкина А.С.

Отзыв подписали: Долганов К.С., заведующий отделением анализа безопасности ядерных энергетических установок, доктор технических наук; Рыжов Н.И., научный сотрудник лаборатории моделирования перспективных реакторных установок.

В отзыве отмечено, что диссертация Шлепкина А.С. соответствует паспорту специальности 2.4.9 – Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность и отвечает требованиям пп. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842 (в действующей редакции), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук. Автор диссертационной работы, Шлепкин Александр Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.9 – Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность.

Соискатель имеет шесть опубликованных научных статей по специальности 2.4.9 в рецензируемых изданиях из перечня ВАК Минобрнауки России. Основные результаты работы докладывались автором и обсуждались на шести международных и двенадцати отраслевых научно-технических конференциях.

Работы по теме диссертации:

1. Шлепкин, А.С. Экспериментальное исследование тепломассообменных процессов при работе парогенератора ВВЭР в аварийном конденсационном режиме/ А.С. Шлепкин, А.В. Морозов, Д.С. Калякин, А.С. Сошкина // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. – 2017. – № 1. – С. 29–41. (авторство не разделено).

2. Шлепкин, А.С. Исследование работы модели парогенератора ВВЭР в конденсационном режиме при различных параметрах аварийного процесса /

А.С. Шлепкин, А.В. Морозов, Д.С. Калякин, А.С. Сошкина // Теплоэнергетика. – 2017. – № 5. – С. 16–23. (авторство не разделено).

3. Шлепкин, А.С. Обобщение экспериментальных данных по влиянию неконденсирующихся газов на конденсационную мощность модели парогенератора / А.С. Шлепкин, А.В. Морозов // Известия высших учебных заведений. Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерно-реакторные константы. – 2018. – № 3. С. 147–157. (авторство не разделено).

4. Шлепкин, А.С. Экспериментальные теплофизические исследования в обоснование работоспособности пассивных систем безопасности ВВЭР нового поколения / А.С. Шлепкин, А.В. Морозов, Д.С. Калякин, А.П. Сорокин // Атомная энергия. – 2019. – Т. 127. – Вып. 1. – С. 13–17.

5. Шлепкин, А.С. Актуальные теплофизические проблемы и пути совершенствования пассивных систем охлаждения активной зоны реактора ВВЭР / А.В. Морозов, Д.С. Калякин, А.Р. Сахипгареев, А.С. Шлепкин, А.С. Сошкина // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерно-реакторные константы. – 2022. – № 4. – С. 119–130.

6. Шлепкин, А.С. Исследование влияния тепломассообменных процессов на работу пассивных систем безопасности ВВЭР в случае аварийной ситуации / А.С. Шлепкин // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерно-реакторные константы. – 2023. – № 1. – С. 197–213.

На автореферат диссертации поступило восемь отзывов:

1. Касатова М.В., инженера-конструктора 1 категории отдела нестационарной теплогидравлики АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС». Отзыв отрицательный, замечания следующие: 1) В разделе 3.1 и 3.3 диссертации автор акцентирует внимание на том, что в период работы первой ступени ГЕ-2 накопление неконденсирующихся газов максимально и оказывает наихудшее воздействие на работу ПГ в конденсационном режиме. Но в этот период (первая ступень ГЕ-2 длится около 5000 секунд) ПГ еще не работает в конденсационном режиме. Происходит снижение давления в ПГ за счет работы СПОТ ПГ. В этот период второй контур передает тепло первому контуру. 2) В

работе не приведено объяснение результатов, представленных на рисунке 3.8 диссертации. В опыте 13 самая маленькая концентрация неконденсирующихся газов согласно таблице 3.1. Однако перепад температур между контурами в зависимости от массы накопленных газов для опыта 13 увеличивается медленнее, чем для опыта 12, но быстрее чем для опыта 14. Кроме того объяснение, данное в абзаце после рисунка 3.8, совершенно не объясняет влияние скорости накопления газов в ПГ на изменение перепада температур. 3) В разделе 3.4 диссертации сказано «Из рисунка 3.9 видно, что наибольшая скорость роста значения $\Delta t'$ характерна для опыта № 14 (таблица 3.1), в котором конденсационная мощность ПГ уменьшалась наиболее быстро. И напротив, наименьшее изменение показателя теплообмена наблюдается в опыте № 13 с минимальным изменением мощности ПГ.». Однако, из рисунка 3.9 видно, что наименьшее изменение этого показателя наблюдается для опыта 11, а не 13. 4) В разделе 4.3 указано, что при разрыве холодной нитки ГЦТ среда из ЗО напрямую поступает в трубный пучок ПГ. Поэтому трубный пучок ПГ будет быстро отравлен. И в этом сценарии авария будет преодолеваться без участия одного из каналов СПОТ ПГ. На основании этого утверждения моделируется разная конфигурация рабочего участка для разрыва на горячие и холодные нитки ГЦТ. Во-первых, это не очевидное заявление, которое требует обоснования. Гидрозатвор холодной нитки может заполниться конденсатом, который будет препятствовать поступлению газа из защитной оболочки в ПГ. Во-вторых, при разрыве горячей нитки среда из защитной оболочки также может напрямую поступать в ПГ. Горячая нитка короче холодной. Для отравления ПГ неконденсирующимся газам необходимо преодолеть меньшее расстояние, заполнить меньший объем, чем при разрыве холодной нитки. В-третьих, как раз при разрыве горячей нитки парогенератор этой петли не будет работать в режиме конденсации пара. Потому что этот пар не сможет поступить в трубчатку ПГ из реактора, а конденсат не сможет вернуться в реактор. Мешает разрыв горячей нитки. В-четвертых, а вообще-то все каналы СПОТ ПГ могут работать, даже при отравлении одного из ПГ. Потому что все ПГ связаны

между собой общим коллектором по пару. Будет увеличена конденсационная мощность трех оставшихся ПГ. В связи с замечанием 4 возникают сомнения в правильности моделирования рабочего участка для разрыва на горячей и холодной нитки ГЦК.

2. Шмелькова Ю.Б., доктора технических наук, заместителя начальника отдела по техническим вопросам ОИТА ВВЭР ККАЭ НИЦ «Курчатовский институт». Отзыв положительный, имеются замечания: 1) Стр. 11, таблица 1 – На основании каких данных были выбраны значения концентраций газов для исследования? 2) Стр. 12, рисунок 4 – график изменения эквивалентной суммы не соответствует графикам изменения концентраций газов для эксперимента № 9. При этом в тексте указано, что в эксперименте № 9 для приготовления ПГС использовался только гелий, но на графике виден рост концентрации азота. 3) Стр. 13 – требуется пояснение, как определяется относительный температурный напор и входящие в него величины.

3. Сотрудниками федерального бюджетного учреждения «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности» (ФБУ «НТЦ ЯРБ»): Козловой Н.А., кандидатом технических наук, ведущим научным сотрудником отдела безопасности атомных станций и инновационных ядерных установок; Курбонмамадовым А.Ш., старшим научным сотрудником отдела безопасности атомных станций и инновационных ядерных установок; Гайнановым Д.К., младшим научным сотрудником отдела безопасности атомных станций и инновационных ядерных установок. Отзыв положительный, имеются замечания: 1) В главе 5 автореферата указано, что в ходе экспериментальных исследований учтены все возможные источники неконденсирующихся газов, влияющие на работу ПГ в конденсационном режиме. Однако в тексте автореферата отсутствует четкий перечень и детальное описание этих источников, включающее количественную оценку вклада каждого источника неконденсируемых газов, поступающих в первый контур. 2) В автореферате отсутствует детальное описание пределов применимости предложенных полуэмпирических зависимостей для расчета

характеристик работы ПГ. 3) Выводы, сформулированные на основе результатов экспериментов, относительно длительной эффективной работы ПГ в конденсационном режиме после прекращения отвода парогазовой смеси из ПГ, не содержат заключения о возможности переноса полученных выводов на реальный энергоблок.

4. Харитонов В.С., кандидата технических наук, доцента кафедры теплофизики ИЯФиТ НИЯУ МИФИ. Отзыв положительный, имеются замечания: 1) Ключевой величиной, определяемой в экспериментах, является конденсационная мощность парогенератора. На основании ее изменения делаются выводы о работоспособности систем безопасности атомной станции. Тем не менее в тексте автореферата нет описания того, каким способом измерялся этот безусловно важный показатель. 2) В работе утверждается, что в случае разрыва «горячей» ветки ГЦК в разрыв поступает больше паровоздушной смеси из защитной оболочки, чем в случае разрыва «холодной» нитки. При этом в автореферате объяснения этому факту не приводится.

5. Байрамова А.Н., доктора технических наук, профессора кафедры «Тепловая и атомная энергетика» имени Андрющенко А.И. СГТУ имени Гагарина Ю.А. Отзыв положительный, имеются замечания: 1) В чем конкретно заключается механизм, при котором возможно попадание паро-газовой смеси в поток теплоносителя первого контура в аварийном режиме через образовавшуюся течь ГЦТ? Т.к., давление внутри ГЦТ все еще будет сохраняться избыточным. 2) Что подразумевает понятие «Конденсационная мощность парогенератора»? 3) На каком основании был выбран расход неконденсируемых газов для подмешивания в пар при подаче на вход модельного парогенератора, согласно данным табл.1 автореферата? 4) В связи с чем в экспериментах 3 и 4 (табл.1 автореферата) при равных концентрациях подмешиваемых газов отвод ПГС разный? 5) В связи с чем на графике рис. 3 «просела» точка для эксперимента №3, в то время как по логике вещей она должна находиться немного выше точки для эксп. №2 и немного ниже точки для эксп. №4? 6) На стр. 12 (внизу) и стр. 13 (вверху) автореферата сказано, что

мощность СПОТ не снижается в ходе аварийного процесса. Но если неконденсируемые газы в относительно больших концентрациях приводят к снижению конденсационной мощности парогенератора (как это видно из рис.3 опыт №1), то, очевидно, снизится % и мощность СПОТ, что приведет к снижению эффективности расхолаживания. 7) Как изменится эффективность расхолаживания за счет системы СПОТ при снижении конденсационной мощности ПГ до 59 %?

6. Слепова М.Т., кандидата технических наук, начальника отдела технической диагностики филиала АО «Концерн Росэнергоатом» «Нововоронежская атомная станция». Отзыв положительный, имеются замечания: 1) Из текста автореферата неясно, как в экспериментах моделировалась работа гидроемкостей СПЗАЗ, которые в случае аварии подают раствор борной кислоты как под, так и на активную зону реактора. 2) Как в опытах учитывалась работа нескольких теплообменников системы пассивного отвода тепла, расположенных по окружности на внешней поверхности защитной оболочки? 3) В работе не проведена оценка массы воздуха поступившего в объем оборудования стенда из имитатора защитной оболочки в ходе экспериментов.

7. Горбунова В.А., доктора технических работ, доцента, профессора кафедры «Атомные электрические станции» ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» Отзыв положительный, имеются замечания: 1) В автореферате автор утверждает о полученных полуэмпирических зависимостях, позволяющих рассчитать основные параметры работы парогенератора ВВЭР. Почему речь идет о полуэмпирических, а не эмпирических зависимостях? Далее по тексту автореферата проведены эмпирические формулы (2, 3, 8), но не указан диапазон их использования. 2) В своей работе автор проводит эксперименты по добавлению в пар газов и оценивает влияние их концентрации на теплообмен, связанный с мощностью парогенератора, но из автореферата не понятно, как экспериментально он добивается равномерного распределения газов по объему

пара. 3) Парогенератор ПГВ-1000М относится к горизонтальному типу теплообменных аппаратов, в то время как исходя из рисунка 2 в автореферате модель парогенератора, использованная в экспериментах, является вертикальной.

8. Ташлыкова О.Л., доктора технических наук, профессора Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина». Отзыв положительный, имеются замечания: 1) Рассматривался ли вопрос очистки удаляемых газов от радиоактивных аэрозолей? Может быть, целесообразно использование для их сбора и удержания пассивных газгольдеров? 2) Было бы полезно более детально описать оценку погрешностей методов исследований.

По всем замечаниям соискателем были даны детальные разъяснения.

Выбор официальных оппонентов – докторов технических наук Э.А. Болтенко и П.Д. Лобанова – обусловлен их признанным научным авторитетом и специализацией в области экспериментальных исследований процессов, происходящих в ядерных энергетических установках с водяным теплоносителем.

Выбор ведущей организации объясняется тем, что ИБРАЭ РАН является одним из ведущих научно-исследовательских центров России, который специализируется на исследованиях тепломассопереноса в задачах анализа безопасности в объектах использования атомной энергии.

Дополнительными основаниями для выбора стали: научные публикации официальных оппонентов; публикационная активность сотрудников ИБРАЭ РАН; профильные исследования специалистов института, подготовивших заключение по диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- Созданы методики экспериментального определения параметров работы парогенератора ВВЭР в аварийном конденсационном режиме.

- Разработаны подходы к учету влияния массопереноса паровоздушной смеси между защитной оболочкой и реакторной установкой на функционирование пассивных систем безопасности ВВЭР.

- Выполнена масштабная программа экспериментов с последующей обработкой полученных данных.

- Установлено наличие отрицательных обратных связей между параметрами теплообменного оборудования АЭС с реакторной установкой В-392М и определено влияние выявленных связей на процессы теплопередачи между контурами ВВЭР в аварийных режимах.

- Исследованы особенности массопереноса между объемами защитной оболочки и реакторной установки при аварии типа LOCA и определены условия поступления паровоздушной смеси в первый контур.

- Впервые получены данные о процессах в трубном пучке парогенератора ВВЭР-1200 в конденсационном режиме. В частности, выявлена и количественно оценена нелинейная зависимость мощности парогенератора от скорости накопления неконденсирующихся газов, а также исследованы особенности работы оборудования при прекращении отвода парогазовой смеси из «холодного» коллектора.

Практическая значимость проведенного исследования обусловлена тем, что:

- полученные в ходе исследования результаты позволили устранить замечания экспертов НТЦ ЯРБ, что позволило получить лицензию Ростехнадзора на физический пуск и эксплуатацию энергоблока №6 Нововоронежской АЭС;

- сформирован массив экспериментальных данных, предназначенный для использования при верификации расчетных моделей аварийных процессов в ВВЭР-1200 и применения при анализе работы пассивных систем безопасности. Полученные результаты имеют значение для перспективных проектов АЭС с реакторами типа ВВЭР.

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

- разработана методика экспериментальных исследований;
- выполнены пуско-наладочные испытания и экспериментальные исследования на стенде ГЕ-2М;
- проведен анализ экспериментальных данных и выявлены отрицательные обратные связи между параметрами парогенератора и теплообменника СПОТ, включая оценку их влияния на поддержание мощности в аварийном конденсационном режиме;
- исследовано влияние массообменных процессов в разрыве имитатора главного циркуляционного трубопровода на параметры пассивных систем безопасности ВВЭР-1200 с РУ В-392М;
- определена длительность работы парогенератора ВВЭР в аварийном режиме до достижения пороговых значений мощности;
- обоснована работоспособность парогенератора ВВЭР-1200 в аварийном конденсационном режиме с учётом всех источников неконденсирующихся газов.

Диссертационный совет пришел к выводу, что диссертация Шлепкина А.С. является законченной научно-квалификационной работой, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842.

На заседании 16 апреля 2025 года диссертационный совет принял решение за выполнение экспериментальных работ по обоснованию комплексной работоспособности пассивных систем безопасности ВВЭР-1200, имеющих важное значение для развития атомной энергетики, присудить Шлепкину Александру Сергеевичу ученую степень кандидата технических наук по специальности 2.4.9 – Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность.

При проведении тайного электронного голосования диссертационный совет в количестве 13 человек (в том числе присутствовали дистанционно 2 человека), из них 13 докторов наук по специальности диссертации, участвовавших в заседании, из 17 человек, входящих в состав совета, проголосовал: за присуждение учёной степени – 12, **против** присуждения учёной степени – 1, не голосовали – 0.

Протокол о результатах тайного электронного голосования утвержден открытым голосованием единогласно.

Председатель
диссертационного совета



[Handwritten signature]
16.04.2025
[Handwritten signature]

Троянов
Владимир Михайлович

Ученый секретарь
диссертационного совета

Морозов
Андрей Владимирович

16 апреля 2025 года