

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 520.009.07 НА БАЗЕ  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «КУРЧАТОВСКИЙ  
ИНСТИТУТ» (ПРИНАДЛЕЖНОСТЬ – ПРАВИТЕЛЬСТВО РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ) ПО ДИССЕРТАЦИИ ОСИПОВА АЛЕКСЕЯ МИХАЙЛОВИЧА  
**«МОДЕЛИРОВАНИЕ АВАРИЙНЫХ ПРОЦЕССОВ С НАРУШЕНИЕМ  
ТЕПЛОТВОДА В ХРАНИЛИЩЕ ОТРАБОТАВШЕГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА  
РБМК» НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК**

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 24.11.2020 г., № 5

О присуждении ОСИПОВУ Алексею Михайловичу, гражданину РФ, учёной степени кандидата технических наук.

Диссертация «Моделирование аварийных процессов с нарушением теплоотвода в хранилище отработавшего ядерного топлива РБМК» по специальности 05.14.03 – «Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации» принята к защите 22.09.2020 г. (протокол № 3) диссертационным советом Д 520.009.07 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» (Правительство РФ) (далее – «НИЦ «Курчатовский институт»), 123182 г. Москва, пл. академика Курчатова, д. 1 (утвержден Приказом Минобрнауки России № 258/нк от 28.02.2020 г.).

**Соискатель** – Осипов Алексей Михайлович 1990 года рождения.

Диссертационная работа Осипова А.М. «Моделирование аварийных процессов с нарушением теплоотвода в хранилище отработавшего ядерного топлива РБМК» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.03 «Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации» выполнена в Курчатовском комплексе атомной энергетики (ККАЭ) НИЦ «Курчатовский институт».

В период подготовки диссертации Осипов А.М. работал в должностях: инженера-исследователя, младшего научного сотрудника, научного сотрудника. В настоящее время работает начальником Отдела теплофизики ядерных установок Отделения канальных реакторов ККАЭ НИЦ «Курчатовский институт».

В 2013 году Осипов А.М. с красным дипломом окончил Национальный исследовательский университет «МЭИ», кафедру общей физики и ядерного синтеза Института тепловой и атомной энергетики с присвоением степени магистра по направлению «Ядерная энергетика и теплофизика».

С 2014 по 2019 гг. Осипов А.М. проходил обучение на заочном отделении аспирантуры НИЦ «Курчатовский институт». По окончании ему была присвоена квалификация «Исследователь. Преподаватель-исследователь». За время обучения в аспирантуре сдал кандидатские экзамены по иностранному языку (оценка «хорошо»), истории и философии науки (оценка «отлично»), а также экзамен по специальности 05.14.03 – «Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации» (оценка «отлично»). Диплом об окончании аспирантуры №А-33 выдан 05.07.2019 г. в НИЦ «Курчатовский институт».

**Научный руководитель** – Гольцев Александр Олегович, доктор технических наук, начальник лаборатории топливных циклов и расчетных методик Отделения канальных реакторов ККАЭ НИЦ «Курчатовский институт».

**Официальные оппоненты:**

- Щукин Николай Васильевич, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры теоретической и экспериментальной физики ядерных реакторов Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (ФГАОУ ВО НИЯУ «МИФИ»), г. Москва;
- Долганов Кирилл Сергеевич, кандидат технических наук, заведующий лабораторией анализа запроектных аварий на АЭС Отделения анализа безопасности ядерных энергетических установок Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт проблем безопасного развития атомной энергетики» Российской академии наук (ФГБУН «ИБРАЭ» РАН), г. Москва

дали положительные отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация** – Акционерное Общество «Всероссийский научно-исследовательский институт по эксплуатации атомных электростанций (АО «ВНИИАЭС»), г. Москва, в своём положительном заключении, подписанном доктором технических наук, профессором, научным руководителем Соловьевым С.Л.,

кандидатом технических наук, руководителем департамента активных зон канальных и быстрых реакторов Дружининым В.Е., кандидатом технических наук, заместителем руководителя департамента, начальником отдела Шмониным Ю.В. и утверждённом генеральным директором, кандидатом технических наук Тухветовым Ф.Т., указала, что диссертационная работа Осипова А.М. посвящена важной и актуальной задаче обоснования безопасного хранения отработавшего топлива в бассейнах хранилища отработавшего ядерного топлива реакторов РБМК при возникновении запроектных исходных событий, приводящих к ухудшению теплоотвода. Такими исходными событиями могут быть как полное длительное обесточивание электростанции с прекращением работы системы охлаждения, так и полное обезвоживание бассейнов хранилища в результате воздействия природных или техногенных явлений повышенной интенсивности.

Повышенный интерес к задаче обеспечения безопасности хранилища отработавшего топлива дополнительно обусловлен приближением конца срока эксплуатации энергоблоков с реакторами РБМК, когда удельная тепловая нагрузка на места хранения ОЯТ должна быть увеличена.

Ведущая организация дала положительную оценку диссертации и заключила, что работа Осипова А.М. представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную на высоком научном уровне. Диссертация полностью соответствует паспорту специальности 05.14.03 – Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации (технические науки). Все результаты, полученные в диссертации, являются достоверными, а используемые методы исследования обоснованными. Цели и задачи исследования полностью соответствуют полученным результатам. Выводы работы достаточно обоснованы и аргументированы. Личный вклад автора представляется значительным. Содержание автореферата диссертации полно и точно отражает содержание диссертационной работы. Текст диссертации и автореферата написан ясным языком.

Диссертация А.М. Осипова полностью удовлетворяет требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (ред. от 01.10.18, с изм. от 26.05.2020), предъявляемым к диссертационным работам, представленным на соискание ученой степени кандидата наук, а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата

технических наук по специальности 05.14.03 – Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации.

По теме диссертации было опубликовано более 10 научных работ, в том числе 4 научные статьи в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК:

1. Осипов А.М., Гольцев А.О., Ильин А.В., Федосов А.М., Брагин Е.Ю. Экспериментальное исследование нагрева систем с низкими тепловыми потоками // Атомная энергия. 2019. Том 126, вып. 2, стр.76-80.
2. Осипов А.М., Гольцев А.О., Ильин А.В., Федосов А.М., Захарова Л.Н., Расчетное моделирование систем с низкими тепловыми потоками // Атомная энергия. 2019. Том 126, вып. 6, стр. 307-311.
3. Осипов А.М., Гольцев А.О., Невиница В.А., Фомиченко П.А. Предварительный расчетный анализ эффектов реактивности при нагреве стенда АСТРА // Атомная энергия. 2015. Том 119, вып.3, стр.134-138.
4. Осипов А.М., Гольцев А.О., Ильин А.В., Федосов А.М., Брагин Е.Ю. Некоторые особенности моделирования систем с низкими тепловыми потоками с помощью программы Relap5// "Вестник МЭИ" № 2, стр. 19-25, 2020 г.

По своему содержанию все публикации посвящены разработке методов расчета аварийного режима для хранилища отработавшего ядерного топлива реакторов РБМК, связанного с ухудшением теплоотвода. В статьях излагается краткое описание численного решения поставленных задач, приводятся экспериментальные данные по исследованию нагрева и испарения воды из открытой водной системы с внутренним источником тепла, а также результаты верификации и кросс-верификации результатов моделирования.

На автореферат поступило 4 отзыва, все положительные.

1. Отзыв из Акционерного общества «Ордена Ленина научно-исследовательского и конструкторского института энерготехники имени Н.А. Доллежала» (АО «НИКИЭТ»). Отзыв составил кандидат технических наук, ведущий инженер отдела экспериментальных теплофизических и комплексных испытаний АО «НИКИЭТ» Крылов С.Г. Отзыв содержит два замечания: «1) В тексте отсутствует описание системы автоматического сбора экспериментальных данных, разработанной автором, в том числе отсутствует информация о применяемых средствах измерения и о наличии действующих свидетельств о поверке. 2) Не описана процедура определения погрешностей результатов эксперимента, а также их

значения».

2. Отзыв из Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (НИЯУ «МИФИ»). Отзыв составил доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой Загребаяев А.М. Отзыв не содержит замечаний.
3. Отзыв из Федерального бюджетного учреждения «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности» (ФБУ «НТЦ ЯРБ»). Отзыв составил старший научный сотрудник Жылмаганбетов Н.М. Отзыв содержит одно замечание: «В качестве исходных данных для проведения моделирования аварий в ХОЯТ РБМК, связанных с нарушением теплоотвода, используется мощность остаточного энерговыделения ОТВС. Однако в автореферате не отражено, каким образом она определялась: с использованием программных средств или с использованием данных измерений остаточного энерговыделения в ХОЯТ РБМК».
4. Отзыв из Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» (ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ»). Отзыв составил доктор технических наук, профессор Комов А.Т. Отзыв содержит три замечания:  
«1) На стр. 10 в порядке комментария к рис.2 автор пишет, что при уменьшении количества окислителя энерговыделение за счет парокциркониевой, паро-стальной реакции разнесено во времени. А на этом рисунке показана зависимость энерговыделения от температуры. Следовало бы в этих комментариях дать дополнительные разъяснения о связи энерговыделения и времени. 2) В разработанной автором расчетной модели для описания процессов испарения и конденсации на горизонтальной и вертикальной поверхностях автор использует формулы без какого-либо обоснования целесообразности их применения в данном случае. А это делать необходимо, принимая во внимание большое количество различных подходов и рекомендуемых формул для применения. 3) К сожалению по автореферату можно сделать и другие замечания, в том числе и редакционного характера. Так на стр.12 на рис.3 позиция 5,6 указана ошибочно: измерения температуры воды в экспериментальном и

контрольном сосудах - это Рис. 3а и 3б. Объем воды указан с некорректной точностью до третьего разряда после запятой. На Рис. 4 следовало бы указать погрешность измерения температуры, тем более что на этой же странице оценка этой погрешности выполнена.».

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что

– Щукин Н.В. является одним из ведущих специалистов в области развития современных методов расчета реакторов и моделирования нейтронно-физических и теплогидравлических процессов на реакторах и объектах хранения отработавшего ядерного топлива;

– Долганов К.С. имеет обширный опыт анализа безопасности объектов использования атомной энергии в ходе запроектных аварий, в том числе тяжелых, с использованием современных программных кодов.

Оба официальных оппонента имеют многочисленные публикации по тематике близкой к тематике представленной диссертационной работы.

Выбор ведущей организации обосновывается тем, что Акционерное Общество «Всероссийский научно-исследовательский институт по эксплуатации атомных электростанций (АО «ВНИИАЭС»), г. Москва, является одной из основных российских организаций, занимающихся вопросами эксплуатации атомных электрических станций, связанных как с эксплуатацией реакторных установок, так и транспортировкой и хранением отработавшего ядерного топлива. Сотрудники АО «ВНИИАЭС» имеют большое количество публикаций по моделированию, расчетам и верификации состояния объектов использования атомной энергетики в ходе аварийных процессов.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований в диссертации **разработаны:**

– расчетная модель для анализа начальной стадии запроектной аварии с нарушением теплоотвода в хранилище отработавшего ядерного топлива (ХОЯТ) РБМК-1000, учитывающая процесс испарения недогретой до кипения жидкости и её конденсацию на элементах конструкции здания ХОЯТ;

– методология стадийного анализа развития запроектной аварии на ХОЯТ РБМК-1000;

– расчетные модели хранилища отработавшего ядерного топлива для программы RELAP5, учитывающие реальное размещение отработавших тепловыделяющих сборок (ОТВС) в ХОЯТ, разогрев элементов здания хранилища и применение противоаварийной мобильной техники для управления запроектными авариями;

– численный код для проведения расчетного анализа начальной стадии аварийного процесса с нарушением теплоотвода в ХОЯТ РБМК-1000, а также ПС для подготовки файла исходных данных по результатам расчета первой стадии аварии для моделирования запроектной аварии по программе RELAP5;

– теплофизический стенд для проведения экспериментов по нагреву и испарению открытых водных систем с низкими тепловыми потоками.

С помощью развитых методов исследования **получены следующие результаты:**

– проведен анализ первой стадии аварийного процесса в хранилище отработавшего топлива РБМК-1000 с учетом процесса испарения недогретой до кипения жидкости и её конденсации на элементах конструкции здания ХОЯТ;

– получены экспериментальные данные по исследованию нагрева открытой водной системы с низкими тепловыми потоками;

– определены характерные времена достижения критериев приемлемости физических барьеров безопасности в ходе аварийного процесса, связанного с нарушением теплоотвода в ХОЯТ;

– показано, что достигаемый уровень температур в обезвоженном ХОЯТ опасен началом высокотемпературной реакцией окисления циркониевых оболочек твэл и стальных элементов конструкции ХОЯТ, связанной с выделением большого количества водорода и тепла, которое может иметь решающее значение в ходе развития аварийного процесса.

В работе **исследованы** роль процесса испарения недогретой до кипения жидкости на первой стадии аварийного процесса с разогревом воды в пеналах и бассейнах ХОЯТ, влияние высокотемпературной реакции окисления циркониевых оболочек твэл и стальных элементов конструкции ХОЯТ на развитие аварийного процесса и уровень достигаемых температур, а также эффективность противоаварийной мобильной техники для организации охлаждения аварийно обезвоженного хранилища отработавшего ядерного топлива РБМК-1000.

**Показано, что:**

– испарение из пеналов и отсеков с ОТВС на первой стадии аварии в ХОЯТ приводит к существенному снижению уровня воды до начала кипения;

– в случае отсутствия каких-либо управляющих действий по ходу запроектной аварией на хранилище отработавшего ядерного топлива, уровень достигаемых температур может приводить к серьезным повреждениям конструкции здания ХОЯТ и оболочек твэл, следовательно, и выходу активности в окружающую среду;

– использование введенной в проект хранилища противоаварийной мобильной техники для предотвращения критического роста температур в отсеках с ОТВС приводит к эффективному снижению температуры топлива, оболочек твэл и строительных конструкций ХОЯТ.

**Теоретическая значимость** исследований определяется следующим:

– предложена методология стадийного анализа длительной запроектной аварии в хранилище отработавшего ядерного топлива РБМК-1000, связанной с нарушением теплоотвода;

– разработаны рекомендации для моделирования нагрева и испарения открытых водных систем с низкими тепловыми потоками;

– предложена расчетная модель для описания процессов испарения и конденсации для открытых и закрытых водных систем с внутренними источниками тепла.

**Практическая значимость** исследований определяется следующим:

– результаты научного исследования входят в материалы технического обоснования Руководства по управлению запроектными авариями на ХОЯТ Ленинградской, Курской и Смоленской атомных станциях. Имеются акты о внедрении;

– разработан теплофизический стенд и получены экспериментальные данные по исследованию процессов испарения и конденсации открытых водных систем с низкими тепловыми потоками.

**Достоверность результатов,** научных положений и выводов основана на применении хорошо известных безразмерных параметров и моделей при описании отдельных явлений, использовании проверенных методов анализа и расчётных средств моделирования, многократно апробированных при решении подобных задач безопасности, а также на верификации и кросс-верификации результатов моделирования. Материалы, представленные в диссертации, апробированы на российских и международных

конференциях и семинарах, а также опубликованы в журналах, входящих в Перечень ВАК.

**Личный вклад** автора заключается в подготовке, проведении и обработке результатов эксперимента по нагреву и испарению открытой водной системы с внутренним источником тепла, разработке расчетных моделей и оценке вклада энерговыделения за счет высокотемпературной реакции окисления в ходе разогрева ОТВС в ХОЯТ. Автор внес определяющий вклад в постановку и решение задач о безопасности хранилища отработавшего топлива в ходе запроектной аварии с нарушением теплоотвода. При непосредственном участии автора был разработан численный код для анализа начальной стадии аварии с нарушением теплоотвода в ХОЯТ, и лично автором была разработана программа подготовки файла исходных данных для проведения расчетов по программе RELAP5. Все публикации по теме диссертации подготовлены при непосредственном участии автора. Автор лично участвовал в апробации большинства результатов исследования на научных семинарах, школах и конференциях.

Диссертационный совет пришел к выводу, что диссертация Осипова А.М. «Моделирование аварийных процессов с нарушением теплоотвода в хранилище отработавшего ядерного топлива РБМК», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.03 – «Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации», представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 в действующей редакции.

На заседании 24 ноября 2020 г. диссертационный совет принял решение присудить Осипову А.М. ученую степень кандидата технических наук по специальности 05.14.03 – «Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации».

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 8 докторов наук по специальности диссертации, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, проголосовал:

за присуждение ученой степени – 15 ,

