

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора физико-математических наук, доцента, профессора кафедры атомных электрических станций ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» Мелихова Олега Игорьевича на диссертационную работу Сахипгареева Азамата Радиковича «Экспериментальное обоснование технологии удаления неконденсирующихся газов для обеспечения работоспособности парогенератора ВВЭР в конденсационном режиме», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.4.9 – «Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность»

Диссертационная работа А.Р. Сахипгареева посвящена исследованию процессов теплообмена при конденсации пара из парогазовой смеси на струях свободно падающей жидкости и внутри пучка вертикальных оребренных труб, охлаждаемых воздухом, применительно к обоснованию проектных функций перспективных систем удаления неконденсирующихся газов из парогенератора ВВЭР, работающего в аварийном конденсационном режиме.

Актуальность темы исследования

В настоящее время атомные электростанции оснащаются активными и пассивными системами безопасности (ПСБ). Современные подходы к обеспечению безопасности АЭС с реакторными установками (РУ) ВВЭР нового поколения предусматривают продление автономной работы ПСБ до 72 часов.

На АЭС с РУ ВВЭР в случае запроектной аварии вследствие разрыва главного циркуляционного трубопровода и одновременной потери источников электроснабжения, охлаждение активной зоны осуществляется парогенераторами, функционирующими в конденсационном режиме. В течение аварии их мощность снижается из-за накопления неконденсирующихся газов, что приводит к сокращению длительности эффективной работы парогенераторов и пассивных систем безопасности, а также ухудшению теплоотвода от активной зоны.

Поэтому исследования процессов, приводящих к удалению неконденсирующихся газов из трубчатки парогенератора в аварийном режиме, является актуальной задачей. Для ее решения диссертантом рассмотрены две

технологии удаления неконденсирующихся газов из трубного пучка парогенератора.

Первая предполагает использование системы теплообменников-конденсаторов, которые подключаются к гидроёмкостям второй ступени и размещаются в межбололочном пространстве защитной оболочки. Вторая технология основана на процессе контактной конденсации пара на струях недогретой жидкости, что снижает давление в гидроёмкостях и создает движущий напор для отвода парогазовой смеси из парогенератора.

Обоснование работоспособности этих технологий удаления неконденсирующихся газов из парогенератора позволит повысить уровень безопасности энергоблоков АЭС.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в том, что соискателем впервые были получены экспериментальные данные о влиянии различных факторов на эффективность функционирования рассмотренных в работе систем удаления неконденсирующихся газов из парогенератора, работающего в конденсационном режиме, для условий, имеющих место через 24 часа после начала аварии с гильотинным разрывом главного циркуляционного трубопровода и полным обесточиванием АЭС с ВВЭР-1200. Также им были разработаны обобщающие зависимости для расчетной оценки процесса конденсации пара в теплообменниках смешивающего и поверхностного типов, применимые для указанных выше условий.

Теоретическая и практическая значимость

Результаты, полученные соискателем в ходе проведенного диссертационного исследования, собраны в базу экспериментальных данных, которая предназначена для использования при разработке перспективных проектов атомных станций с водо-водяными энергетическими реакторами.

Методология исследования основана на современных представлениях о процессах тепломассообмена при конденсации пара в теплообменниках поверхностного и смешивающего типов и включает в себя экспериментальные методы и теоретическое обобщение полученных опытных данных.

В ходе диссертационного исследования соискатель опирался на нормативные документы, материалы авторитетных национальных и международных конференций, а также публикации в рецензируемых изданиях.

Основные результаты диссертационного исследования А.Р. Сахипгареева изложены в 7 печатных изданиях: 4 публикации в журналах, входящих в перечень ВАК, и 3 публикации – в других изданиях, а также представлены в виде докладов на 6 научно-технических конференциях.

Личный вклад соискателя в получение результатов, изложенных в диссертации, заключается в проведении экспериментов, в обработке и анализе полученных экспериментальных данных, на основе которых были проведены расчетные оценки. При поддержке коллег соискатель разработал методики проведения исследований и программы экспериментов; постановка цели и задач исследования осуществлялась совместно с научным руководителем.

Структура диссертации

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка использованных литературных источников. Текстовая часть сопровождается иллюстративным материалом в необходимом для понимания объеме. Список литературных источников насчитывает 94 позиции.

Во **введении** обосновывается актуальность темы диссертации, определяются цель и задачи исследования, показана научная новизна выполненной работы и ее теоретическая и практическая значимость.

Первая глава диссертации посвящена обзору конструкций пассивных систем безопасности, применяемых в существующих и разрабатываемых реакторных установках с водой под давлением. Представлен анализ факторов, ограничивающих длительность автономного функционирования ПСБ в рассмотренных проектах реакторов. Рассмотрены перспективные способы продления длительности функционирования ПСБ реакторов ВВЭР. Приведен обзор литературных источников, посвященных исследованию процессов теплообмена при конденсации пара в теплообменниках поверхностного и смешивающего типов.

Во **второй главе** приведено описание экспериментальной установки с рабочими участками «Устройство удаления газов» и «Конденсация на струях», сооруженных для исследования теплообмена при конденсации пара в теплообменниках поверхностного и смешивающего типов в присутствии неконденсирующихся газов, применительно к работе пассивных систем безопасности в диапазоне параметров, характерном для аварии с разрывом главного циркуляционного трубопровода и одновременной потерей источников электроэнергии. Приведено описание методик проведения опытов.

В **третьей главе** диссертации представлены результаты экспериментального исследования влияния неконденсирующихся газов на работу вертикального воздухоохлаждаемого теплообменника-конденсатора устройства удаления газов.

Исследования контактной конденсации пара в присутствии неконденсирующихся газов на диспергируемой струе недогретой жидкости представлено в **четвертой главе**. Эксперименты выполнялись с подачей струи в объем имитатора гидроемкости системы ГЕ-2.

В **пятой главе** представлены результаты расчетной оценки эффективности рассматриваемых систем удаления неконденсирующихся газов из парогенератора, работающего в конденсационном режиме, при их применении на АЭС с ВВЭР. Проанализирована возможность переноса данных, полученных на экспериментальной установке, на натурный объект.

В **заключении** представлены основные выводы по результатам диссертационной работы.

Автореферат отражает основные положения диссертационной работы.

К диссертационному исследованию имеются следующие **замечания**:

1) В четвертой главе диссертации описано выполненное соискателем исследование конденсации парогазовой смеси на фрагментирующейся струе недогретой воды в имитаторе гидроемкости второй ступени. В том числе представлены гидродинамические исследования эволюции и распада струи. К сожалению, в этом тексте отсутствует даже упоминание о числе Вебера, которое является ключевым параметром, характеризующим исследуемый процесс. На

рисунке 4.1 на стр. 95 отчетливо наблюдается варикозный режим распада струи, реализующийся при малых числах Вебера. Диссертант включил в список литературы классическую книгу В.Г. Левича «Физико-химическая гидродинамика», в которой детально анализируется процесс распада струи. Диссертанту следовало бы использовать данную книгу при своем анализе распада струи, в частности, вычислить диапазон чисел Вебера для своих экспериментов и определить режим распада струи. Это позволило бы ему соотнести свои результаты с результатами других исследователей, что усилило бы выводы диссертационной работы.

2) Выводы по главе 2 на стр. 70 не являются выводами. Это – аннотация описанной в данной главе работы.

3) На странице 33 работы указано, что в проекте ВВЭР-ТОИ в состав ПСБ входит система пассивной фильтрации, которая фактически отсутствует в указанном проекте.

4) На стр. 81 упоминается о расчетах кодом RELAP5 экспериментов соискателя, и на рисунке 3.10 приводится сопоставление расчетных и экспериментальных данных. При этом дается ссылка на публикацию [82], одним из соавторов которой является соискатель. Возникает вопрос, кто является автором расчетов? Если соискатель, то следовало бы хотя бы одну главу диссертации посвятить этим расчетам. Если расчеты делал не соискатель, то следовало бы указать автора этих расчетов.

5) В работе отсутствует список сокращений и условных обозначений.

6) В тексте рукописи встречаются в небольшом количестве опечатки, орфографические и пунктуационные ошибки, например, на стр. 44 «теплопроводность межфазное трение и геометрические струй капель...».

Отмеченные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационного исследования.

Диссертация А.Р. Сахипгареева представляет собой законченную научно-квалификационную работу. Тема и содержание диссертации соответствует паспорту научной специальности 2.4.9 – Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность.

Диссертация Сахипгареева Азамата Радиковича «Экспериментальное обоснование технологии удаления неконденсирующихся газов для обеспечения работоспособности парогенератора ВВЭР в конденсационном режиме» удовлетворяет требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. (ред. от 25.01.2024 г.) № 842.

Считаю, что соискатель Сахипгареев Азамат Радикович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.9 – Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность (технические науки).

Официальный оппонент,
доктор физико-математических наук,
профессор кафедры атомных
электрических станций
Федерального государственного
бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский
университет «МЭИ»
Мелихов Олег Игоревич

«19» 02 2025 г.

Мелихов О.И. Мелихов

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» (ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»)
Адрес: 111250, Россия, г. Москва, ул. Красноказарменная, д. 14, стр. 1.
Тел.: +7 (495) 3627351
Электронная почта: MelikhovOI@mpei.ru

Людмила *Уростоверева*
ЗАМЕСТИТЕЛЬ НАЧАЛЬНИКА
ПО РАБОТЕ С ПЕРСОНАЛОМ
Л.И. ПОЛЕВАЯ

