

ОТЗЫВ

**Кандидата технических наук, руководителя Проектного Офиса по
управлению проектом ВВЭР-С АО «Концерн Росэнергоатом»**

Мохова Виктора Аркадьевича

на автореферат диссертационной работы

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 трубчатки парогенератора ВВЭР, работающего в аварийном конденсационном режиме.

Работа выполнена в Государственном научном центре Российской Федерации – Физико-энергетическом институте имени А.И. Лейпунского, г. Обнинск.

Актуальность темы исследования

Сооружаемые в настоящее время атомные электростанции оснащаются как активными, так и пассивными системами безопасности (ПСБ). Современные подходы к обеспечению безопасности АЭС с реакторными установками (РУ) ВВЭР-1200 нового поколения предусматривают продление автономной работы СБ до 72 часов.

Однако уже к концу первых суток с момента начала аварии с разрывом трубопровода первого контура с наложением полного обесточивания на АЭС

конденсационная мощность парогенератора снижается из-за накопления в трубчатке ПГ неконденсирующихся газов, что может привести к сокращению длительности эффективной работы парогенератора и пассивных систем безопасности и, как следствие, к ухудшению теплоотвода от активной зоны к конечному поглотителю.

Таким образом, поддержание эффективного теплоотвода от первого контура к парогенератору, работающего в режиме конденсации пара, в течение более длительного времени, чем предусмотрено в проекте РУ ВВЭР-1200, является **актуальной задачей**, для решения которой в диссертационном исследовании рассматриваются, предложенные Генеральным проектировщиком атомных станций, две концептуальные технологии удаления неконденсирующихся газов из трубного пучка парогенератора.

Первая концепция предполагает использование системы теплообменников-конденсаторов, которые подключаются параллельно к гидроёмкостям второй ступени и размещаются в межбололочном пространстве защитной оболочки. Вторая концепция основана на процессе контактной конденсации пара на струях недогретой жидкости. В результате этого происходит снижение давления в гидроёмкостях и создаётся движущий напор для отвода парогазовой смеси из трубчатки парогенератора.

Обоснование работоспособности предложенных проектантом концепций систем удаления неконденсирующихся газов из парогенератора позволит повысить уровень безопасности энергоблоков АЭС.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в том, что:

1. Соискателем впервые были получены экспериментальные данные о влиянии вида теплообменной поверхности, состава парогазовой среды, ее давления, температуры и других факторов на эффективность функционирования рассмотренных в работе систем удаления неконденсирующихся газов из парогенератора, работающего в конденсационном режиме, для условий, имеющих место через 24 ч

после начала аварии с гильотинным разрывом главного циркуляционного трубопровода и полным обесточиванием АЭС с ВВЭР-1200;

2. Были получены 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 и методы исследования

В основу исследований легли актуальные представления и методики моделирования процессов конденсации пара в теплообменниках поверхностного и смешивающего типов. В качестве методологической базы соискатель использовал нормативные документы, материалы 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, 3 – в других изданиях, а также представлены в виде докладов на шести научно-технических конференциях в период 2014–2024 гг.

Личный вклад соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации, заключается в проведении экспериментов, в обработке и анализе полученных экспериментальных данных, на основе которых была проведена расчетная оценка. В работе отмечено, что при поддержке сотрудников лаборатории 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 объеме. Структура диссертации согласуется с поставленными задачами и не вызывает вопросов.

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. 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. Приведен всесторонний анализ результатов экспериментов, предложена зависимость для определения

интенсивности конденсации пара на струе жидкости в присутствии неконденсирующихся газов, применимая в широком диапазоне параметров.

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

В заключении представлены основные выводы по результатам диссертационной работы.

К диссертационному исследованию имеются следующие **вопросы и замечания**:

1) В автореферате не указано, с помощью каких расчетных кодов проводилось расчетное моделирование исследованных в экспериментах процессов. Также не ясно, приводилась ли оценка снижения консерватизма расчетного моделирования соответствующих сценариев аварий с разрывом ГЦТ РУ типа ВВЭР с учетом применения уточненных данных по конденсации, полученных автором.

3) В автореферате отсутствует список сокращений и условных обозначений

5) Перечень опубликованных работ, приведенный в автореферате, не полный: перечислены только 4 работы, входящих в перечень ВАК, при этом в тексте автореферата указаны 7 публикаций в печатных изданиях и доклады на 6 конференциях.

Отмеченные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационного исследования.

Диссертация А.Р. Сахипгареева представляет собой законченную научно-квалификационную работу. Автореферат отражает основные положения диссертационной работы. 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).

**Кандидат технических наук,
руководитель Проектного Офиса
по управлению проектом ВВЭР-С
АО «Концерн Росэнергоатом»
Мохов Виктор Аркадьевич**

«19» февраля 2025 г.

В.А. Мохов

Акционерное общество «Российский концерн по производству электрической и тепловой энергии на атомных станциях» (АО «Концерн Росэнергоатом»),
Ферганская ул., д. 25, Москва, 109507
Тел.: +7 (916) 509-34-58,
Электронная почта: mokhov-va@rosenergoatom.ru



Подпись В.А. Мохова удостоверено
у ? секретари ИТС АО «Росэнергоатом»

Д.Г. Борисенко