

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук, начальника отдела нестандартных теплотехнических измерений АО «Электрогорский научно-исследовательский центр по безопасности атомных электростанций»

Болтенко Эдуарда Алексеевича

на диссертацию Шлепкина Александра Сергеевича

«Экспериментальное определение влияния тепломассообменных процессов в оборудовании реакторной установки и защитной оболочке на работу пассивных систем безопасности ВВЭР», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.9 - «Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность (технические науки)»

Диссертационная работа посвящена исследованию пассивных систем безопасности ВВЭР: система пассивного залива активной зоны из гидроемкостей первой (ГЕ САОЗ) и второй (ГЕ СПЗАЗ) ступеней и система пассивного отвода тепла (СПОТ).

СПОТ необходима для перевода парогенератора в режим конденсации пара первого контура и сброса переданного второму контуру тепла в атмосферу через воздушные теплообменники. Длительность работы СПОТ может быть снижена из-за поступления вместе с паром неконденсирующихся газов. Для обоснования проектной функции СПОТ необходимо доказать, что неконденсирующиеся газы не снизят мощность парогенератора до недопустимых пределов. На эффективность работы СПОТ также оказывают влияние тепломассообменные процессы в оборудовании первого контура. Все сказанное и определяет актуальность темы исследования.

Цель диссертационной работы заключалась в обосновании комплексной работоспособности пассивных систем безопасности АЭС с РУ В-392М. Исследования были направлены на изучение процессов тепло и массообмена, происходящих в элементах реакторной установки в случае аварийной ситуации с разрывом главного циркуляционного контура (ГЦК) и одновременной потерей источников электроснабжения. Предмет исследования - влияние неконденсирующихся газов на работоспособность парогенератора ВВЭР в аварийном режиме с учетом наличия обратных связей между ним и теплообменником СПОТ, а также учет влияния массообменных процессов между объемами защитной оболочки и реакторной установки.

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.

Автореферат диссертации достаточно полно и точно отражает содержание диссертационной работы.

Во введении обоснована перспективность использования систем безопасности, основанных на пассивном принципе, без использования внешних источников энергии и участия в их работе персонала, сформулированы цели и задачи работы, научная новизна, положения, выносимые на защиту, личный вклад автора, практическая ценность результатов, методология и методы исследования, достоверность и обоснованность результатов работы.

В первой главе диссертации проведен обзор работ в области конденсации водяного пара в присутствии неконденсирующихся газов. Рассмотрены результаты работ по обоснованию систем безопасности зарубежных и отечественных проектов АЭС. Обзор выполненных работ показал, что полученные в ходе исследований данные неприменимы для обоснования работоспособности пассивных систем безопасности АЭС с РУ В-392М.

Во второй главе

представлено описание экспериментального стенда ГЕ-2М, использованного для обоснования работоспособности пассивных систем безопасности АЭС с РУ В-392М. Основной целью проведения экспериментов на крупномасштабном теплогидравлическом стенде ГЕ-2М являлась оценка степени снижения конденсационной мощности парогенератора из-за присутствия в его трубном пучке неконденсирующихся газов. Эксперименты проводились с помощью метода стационарных состояний. На первом этапе на вход в парогенератор подавался чистый пар. Далее в этот пар подмешивались неконденсирующиеся газы и одновременно осуществлялся отвод парогазовой смеси из коллектора ПГ. Проводилось сравнение мощности парогенератора при различных концентрациях неконденсирующихся газов с максимально возможной на «чистом паре».

В третьей главе представлены результаты экспериментального исследования работоспособности парогенератора в конденсационном режиме. Главной величиной, определяющей работоспособность парогенератора в аварийном конденсационном режиме, является его мощность. Определено, что парогенератор в конденсационном режиме работоспособен при параметрах, характерных для всех ступеней расхода системы ГЕ СПЗА3. Проведена вторая серия опытов, в которой рассмотрен расширенный перечень сценариев аварийной ситуации. В экспериментах показано, что состав смеси не оказывает значительного влияния на изменение конденсационной мощности ПГ. Показано, что даже в опытах с самыми консервативными параметрами мощность не снижается ниже 82% от значения при работе на чистом паре. Из-за движения сред в контурах возникают отрицательные обратные связи, приводящие к стабилизации мощности ПГ. Благодаря наличию обратных связей, влияние неконденсирующихся газов на процесс теплообмена

частично компенсируется, позволяя сохранить его мощность на уровне достаточном для работы пассивных систем безопасности.

Для учета возможного поступления воздуха из ЗО на работу парогенератора в конденсационном режиме стенд ГЕ-2М был модернизирован путем добавления в его состав имитаторов защитной оболочки и реактора.

В четвертой главе

Описан модернизированный стенд ГЕ-2М с рабочим участком РУ-ЗО, имитирующем реакторную установку и защитную оболочку. Рабочий участок имитирует корпус реактора ВВЭР и представляет собой коаксиальную трубную конструкцию состоящую из двух труб 377*5мм и 325*6мм. Масштабный коэффициент равен 1:144 с сохранением высотных отметок основных элементов корпуса реактора. На рабочем участке расположены два щелевых патрубка высотой 850мм, которые предназначены для моделирования сечений разрыва на входе и выходе реактора. Металлический имитатор защитной оболочки представляет собой теплоизолированный цилиндрический сосуд со сферическим днищем и верхней плоской крышкой. Объем имитатора контеймента 79м³.

В пятой главе представлены результаты экспериментального исследования работоспособности парогенератора, работающего в конденсационном режиме, при наличии всех возможных источников неконденсирующихся газов.

Заключение

Разработана методика проведения экспериментов по обоснованию проектной функции парогенератора в аварийном режиме при наличии процессов массопереноса паровоздушной смеси между защитной оболочкой и реакторной установкой. Осуществлена серия суточных экспериментов на крупномасштабном стенде ГЕ-2М.

Выявлено наличие отрицательных обратных связей между параметрами парогенератора, работающего в конденсационном режиме, и теплообменника СПОТ. Показана степень их влияния на поддержание эффективности работы системы пассивного отвода тепла.

Определено влияние поступающей из защитной оболочки в объем первого контура паровоздушной смеси на работу парогенератора ВВЭР в конденсационном режиме.

Изучена динамика изменения температурных полей в сечениях разрыва, выявлена степень влияния локализации места разрыва главного циркуляционного трубопровода и его геометрических размеров на работоспособность парогенератора.

В результате анализа полученных данных было определено влияние поступающей из защитной оболочки в объем первого контура паровоздушной смеси на работу парогенератора ВВЭР-1200 в конденсационном режиме.

Определена длительность работы парогенератора ВВЭР-1200 в аварийном конденсационном режиме до достижения пороговых значений мощности.

Исследованы процессы, характерные для данного режима. Получены полуэмпирические зависимости, позволяющие с удовлетворительной точностью определить динамику изменения мощности парогенератора, температурный напор между контурами и коэффициент теплопередачи.

Проведено обобщение результатов выполненных исследований в соответствии с поставленными задачами.

Достоверность результатов работы обеспечивается тщательно проработанной методикой проведения экспериментов и обработкой результатов измерений. Эксперименты были проведены в две серии с различной конфигурацией оборудования. Результаты сопоставимы между собой.

Практическая значимость работы. Полученные в работе данные предназначены для использования при проведении расчетного моделирования аварийных процессов, могут быть использованы для расчетного моделирования аварийных процессов в реакторной установке ВВЭР при работе пассивных систем безопасности, а также при разработке перспективных проектов АЭС с ВВЭР.

Научная новизна работы заключается в том, что

впервые экспериментально установлено наличие отрицательных обратных связей между параметрами теплообменного оборудования атомной станции с реакторной установкой В-392М, используемого при работе пассивных систем безопасности. Определено их влияние на процессы передачи тепла между первым и вторым контуром реакторной установки ВВЭР в аварийном режиме.

Получены экспериментальные данные о процессах, происходящих в трубном пучке парогенератора РУ ВВЭР, работающего в конденсационном режиме, после прекращения отвода парогазовой смеси из его «холодного» коллектора. Обнаружена нелинейная зависимость мощности парогенератора от скорости накопления неконденсирующихся газов.

Впервые экспериментально установлено наличие массообменных процессов между объемами защитной оболочки и реакторной установки в случае разрыва главного циркуляционного трубопровода. Определены условия поступления паровоздушной смеси в первый контур.

Всего по теме диссертации А. С. Шлепкина опубликовано 10 печатных работ, в том числе, 6 публикаций в журналах из списка ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ в том числе индексируемых в РИНЦ и международных базах данных).

Автореферат диссертации достаточно полно и точно отражает содержание диссертационной работы. Результаты, основные положения и выводы диссертации в достаточной мере представлены в научных статьях и докладах на международных и российских научных конференциях.

По диссертационной работе существенных замечаний нет.

Содержание диссертации полностью соответствует специальности 2.4.9 - «Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность». Диссертация удовлетворяет требованиям пунктов 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года, №842, с последующими изменениями.

Считаю, что работа выполнена на высоком профессиональном уровне, а автор диссертации Шлепкин Александр Сергеевич заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук.

Официальный оппонент

Начальник отдела нестандартных теплотехнических измерений Управления НИР и НИОКР в области теплофизики АО «ЭНИЦ»

доктор технических наук

Болтенко Эдуард Алексеевич

Телефон: +7 916 233 12 11

21.02.2025

Электронная почта: boltenko@erec.ru

Адрес: 142530, Московская область, г. Электрогорск, ул. Святого Константина, д. 6

АО «ЭНИЦ»

Подпись Э.А. Болтенко заверяю

Ученый секретарь АО «ЭНИЦ»

канд. физ.-мат. наук



Медведева Наталья Юрьевна