

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

д.т.н. Хасанова Ирека Равильевича на диссертационную работу Лебедченко Ольги Сергеевны на тему «Теплофизические основы пассивных технологий систем пожарной безопасности АЭС с водо-водяными реакторами», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.10.1. Пожарная безопасность (технические науки).

Актуальность темы исследования

Атомные электростанции (АЭС) являются объектами повышенной опасности в связи с возможным загрязнением окружающей среды радионуклидами, сохраняющими длительный срок (до нескольких тысяч лет) свою активность. Поэтому научные исследования, направленные на повышение безопасной эксплуатации АЭС очень важны.

В действующем в настоящее время проекте «АЭС-2006» защита от аварий и пожаров осуществляется, в том числе, и с помощью пассивных систем, которые предусматривают минимальное влияние человеческого фактора на показатели безопасности. Также снижается влияние отказов активных систем защиты на показатели безопасности. Пассивные методы широко применяются и для обеспечения пожарной безопасности АЭС.

Однако, до настоящего времени, системы пассивной противопожарной защиты зданий АЭС с водо-водяными реакторами не рассматривались комплексно. Для разработки эффективно работающей системы пассивной противопожарной защиты зданий АЭС необходима разработка комплекса методов и методик расчета тепломассообмена, позволяющих обосновать параметры систем пассивной противопожарной защиты АЭС с водо-водяными реакторами, в том числе, и для выполнения безопасного останова и расхолаживания реакторной установки.

Особенно важно для оценки эффективности системы пассивной противопожарной защиты зданий АЭС с водо-водяными реакторами учитывать реальный режим пожара, который зависит от объемно-планировочных решений, вида и количества горючей нагрузки пожарных зон и отсеков.

Критически важным для предотвращения катастрофических последствий пожаров является сохранение работоспособности оборудования для безопасного останова и расхолаживания реакторной установки, в первую очередь, каналов системы безопасности (СБ). В связи с этим проблема разработки теплофизических основ для обоснования комплексной системы пассивной противопожарной защиты зданий АЭС с водо-водяными реакторами, в которых расположено оборудование для безопасного останова и расхолаживания реакторной установки (в том числе каналы СБ), является актуальной.

Структура и содержание работы

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации, степень ее научной и практической значимости, формулируются цели, задачи, объект и предмет исследования.

В первой главе приведен литературный обзор источников по теме диссертационного исследования.

Выявлены основные причины пожаров на АЭС. Показано, что такие пожары, чаще всего, являются результатом либо аварии, сопровождающейся разливом масла, выбросом водорода, или короткого замыкания. Развитие аварии приводит к разрушению активных систем противопожарной защиты, например, системы противодымной защиты или автоматических установок пожаротушения. Это позволило сделать вывод, что противопожарная защита должна обеспечиваться, в первую очередь, пассивными мерами.

Показано, что уровень пассивной пожарной безопасности должен обеспечивать выполнение общих критериев безопасности на всех стадиях жизненного цикла АЭС во всех режимах эксплуатации.

Приведен состав комплексной системы пассивной противопожарной защиты, а также методы и методики расчета, необходимые для обоснования ее основных параметров.

Во второй главе представлены математические модели и результаты расчета и анализа параметров систем системы пассивной противопожарной защиты.

Проведено обоснование пределов огнестойкости пожарных зон трех АЭС с водо-водяными реакторами в условиях реального пожара с учетом вида пожарной нагрузки, объемно-планировочных решений каждой АЭС, материалов ограждающих конструкций и их обработки огнезащитным составом.

Впервые сформулированы требования к температуре вспучивания огнезащитных составов, используемых для обработки наружных поверхностей кабелей систем безопасности.

Получены теоретические зависимости времени наступления короткого замыкания кабеля от расстояния от горящего соседнего кабельного канала. Это позволило определить время от начала пожара до наступления короткого замыкания, если кабели работают под нагрузкой, или после их включения в работу.

Проведена проверка обеспечения безопасной эвакуации персонала из реакторного здания АЭС с водо-водяными реакторами с учетом полученных новых данных по токсичности пожарной нагрузки – кабели не распространяющие горение. Доказано, что необходима защита персонала от циановодорода, который выделяется при терморазложении изоляции кабелей, содержащей антипирены.

В третьей главе представлены результаты теоретической и экспериментальной оценки работоспособности кабелей каналов систем

безопасности АЭС с водо-водяными реакторами. Выполнена теоретическая и экспериментальная оценка работоспособности кабелей с использованием огнезащиты и без нее.

Теоретическая и экспериментальная оценка работоспособности кабелей каналов систем безопасности АЭС с водо-водяными реакторами проводилась с учетом как стандартных, так и рассчитанных реальных температурных режимов пожара.

Предложен метод, методика, а также приведены результаты математического моделирования работоспособности силовых и сигнальных кабелей каналов.

Разработан экспериментальный метод и методика проведения экспериментов по исследованию работоспособности силовых и сигнальных кабелей каналов СБ АЭС в условиях реального температурного режима пожара без и с учетом обработки наружной поверхности изоляции огнезащитным вспучивающимся составом

Показано, что при реальном температурном режиме пожара короткое замыкание кабелей происходит до момента вспучивания огнезащитных покрытий. Определена критическая температура в помещении пожара, приводящая к короткому замыканию для кабелей распространяющих и не распространяющих горение.

Предложена методика обоснования эффективности применения огнезащитных составов для кабелей с учетом реальных режимов пожара.

В четвертой главе выполнены исследования токсичности силовых и сигнальных кабелей не распространяющих горение, используемых на АЭС, в условиях реального режима пожара.

Экспериментальная оценка токсичности газовой среды помещения при терморазложении силовых и сигнальных не распространяющих горение кабелей проведена в условиях воздействия характерного для пожара в помещении теплового потока на изоляцию вышеуказанных кабелей, изготовленную из полимеров с огнезащитными добавками.

Получены зависимости парциальной плотности оксида углерода и циановодорода, а также удельных массовых коэффициентов образования оксида углерода и циановодорода, образующихся при горении кабелей, от времени проведения экспериментов.

Проведенные эксперименты показали наличие сильнейшего токсиканта циановодорода в газовой среде помещения при пожаре в случае терморазложения изоляции кабелей с огнезащитными добавками в значениях выше критических, что оказывает отрицательное воздействие на здоровье людей и на их возможность самостоятельно эвакуироваться. Персонал, приводящий реакторную установку в безопасное состояние и который не покидает пункт управления во время возможного пожара, должен иметь средства индивидуальной защиты от циановодорода.

Выявлено, что изоляция современных не распространяющих горение кабелей, содержащая антипирены, имеет не только низкую удельную скорость выгорания, но и повышает токсичность продуктов горения этих кабелей. Поэтому при расчете пожарного риска в помещениях АЭС, в которых находятся данные кабели, необходимо учитывать время блокирования путей эвакуации циановодородом.

В пятой главе разработаны аналитические решения для основных модельных задач натекания водорода, позволяющие получить размеры взрыво- и пожароопасных зон, коэффициенты участия всей массы водорода в горении и взрыве. Расчеты показали, что в СП 12 131 30.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» величина коэффициента участия водорода в горении и взрыве существенно завышена.

Разработана зонная модель расчета концентраций водорода при его натекании в помещение большого объема с использованием угла полураскрытия колонки. Расчет объемных концентраций водорода с использованием предложенной зонной модели и полевой модели показал удовлетворительную сходимость. Проведенная валидация используемых моделей на экспериментальных данных, приведенных в литературных источниках, подтвердила удовлетворительную точность расчета.

С использованием разработанной зонной модели натекания водорода в нижнюю часть помещения большого объема определено критическое значение числа Рейнольдса, в зависимости от размеров помещения, диаметра отверстия натекания и расхода водорода, при котором резко увеличивается опасность возникновения горения и взрыва во всем объеме помещения.

Показано, что при небольших величинах массового расхода водорода существует длительный промежуток времени, в течение которого пожаро- и взрывоопасные зоны водородно-воздушной смеси ограничены областью конвективной колонки, образующейся над источником натекания водорода. При этом их высота слабо меняется, т.е. эти зоны являются «квазистационарными». Это может привести к тому, что датчики концентрации водорода в подкупольном пространстве реакторного здания могут не обнаружить водород в верхней точке купола при пороге чувствительности в 2 % об, в случае, если число Рейнольдса превышает 5000. При этом по высоте конвективной колонки образуются водородно-воздушные смеси, находящиеся в пожаро- и взрывоопасных концентрационных пределах.

В заключении диссертации отражены основные результаты проведенных исследований в виде обоснованных и соответствующих содержанию диссертации выводов.

Автореферат в полной мере отражает суть диссертационного исследования и соответствует требованиям ВАК России к авторефератам диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук.

Научная новизна работы не вызывает сомнений и заключается в следующем:

разработаны методики расчета параметров систем ППЗ по проекту «АЭС-2006» для ВВЭР-1200, которые позволили обосновать температурные режимы реального пожара в основных зданиях АЭС с учетом новых данных по свойствам горючей нагрузки и определить фактические пределы огнестойкости ограждающих конструкций пожарных зон и безопасные расстояния между элементами конструкций, в том числе кабельных коробов;

разработан новый метод и методика определения работоспособности силовых и сигнальных кабелей (в том числе с огнезащитой из вспучивающихся составов), используемых на АЭС, в условиях стандартных и рассчитанных реальных температурных режимов пожара, что позволило определить времена прогрева изоляции кабелей от начала пожара до момента потери работоспособности кабелей, в том числе, до наступления короткого замыкания;

получены результаты экспериментальных исследований работоспособности силовых и сигнальных кабелей, в том числе с использованием вспучивающего огнезащитного покрытия, позволяющие определить температуру и время наступления короткого замыкания кабелей каналов СБ АЭС в условиях реального температурного режима пожара;

получены результаты экспериментальных исследований токсичности силовых и сигнальных кабелей, используемых на АЭС, в условиях реального температурного режима пожара, которые необходимы для определения выполнения условия безопасной эвакуации персонала АЭС и выбора средств индивидуальной защиты для персонала, приводящего реакторную установку в безопасное состояние;

разработана математическая зонная модель натекания водорода в помещение, а также получены аналитические решения модельных процессов натекания водорода, позволяющие выявить не предусмотренное технологическим процессом образование взрывопожароопасной водородно-воздушной смеси и определить необходимую степень чувствительности приборов контроля концентрации водорода в гермозоне реакторного здания АЭС.

Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций диссертации обусловлена применением современных методов и средств исследований. Экспериментальные исследования выполнялись с использованием измерительного оборудования, прошедшего поверку и откалиброванного для соответствующих условий. Для апробации численного метода решались тестовые задачи и проводилось сравнение экспериментальных и расчетных данных.

Теоретическая и практическая значимость работы

Рассчитаны параметры систем пассивной противопожарной защиты по проекту «АЭС-2006», включающие: оценку пределов огнестойкости конструкций в пожарных зонах, определение безопасных расстояний между кабельными каналами и условий безопасной эвакуации людей из реакторного здания АЭС, определение параметров средств индивидуальной защиты органов дыхания обслуживающего персонала от воздействия опасных факторов пожара с использованием предложенных в диссертационном исследовании методик. Полученные результаты расчета режима реального пожара в основных зданиях АЭС с учетом новых данных по свойствам горючей нагрузки (кабели не распространяющие горение) позволяют определить требования к средствам индивидуальной защиты для персонала, выполняющего безопасный останов реакторной установки, с обязательной защитой от циановодорода.

Результаты теоретического и экспериментального моделирования работоспособности силовых и сигнальных кабелей, используемых на АЭС, в условиях реального и стандартных режимов пожара, полученные с использованием созданных экспериментальных и численных моделей выявили необходимые условия для сохранения работоспособности кабелей каналов системы безопасности АЭС при пожарах и позволили обосновать эффективность применения огнезащитных составов для кабелей с учетом реальных режимов пожара.

Полученные значения удельных массовых коэффициентов выделения циановодорода и оксида углерода, массового коэффициента поглощения кислорода при терморазложении изоляции не распространяющих горение кабелей, содержащей антипирены, позволяют расширить существующую базу данных типовой пожарной нагрузки и проводить расчет времени блокирования путей эвакуации. Результаты экспериментальных исследований токсичности не распространяющих горение силовых и сигнальных кабелей, используемых на АЭС, в условиях реального температурного режима пожара показали, что значения парциальной плотности циановодорода и оксида углерода могут достигать значений превышающей критические.

Результаты исследования представляют ценность для обеспечения водородной безопасности АЭС, например, позволяют спрогнозировать образование локальной взрывопожароопасной водородно-воздушной смеси при не предусмотренном технологическим процессом натекании водорода с использованием предложенного комплекса математических моделей и аналитических решений. Полученные результаты численных экспериментов могут быть использованы для определения мест расположения концентрационных датчиков водорода в подкупольном пространстве реакторного здания.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций обусловлена достаточным объемом экспериментальных данных, корректным использованием современных методов исследования, комплексным анализом полученных результатов, а также апробацией основных результатов в научных публикациях и научных конференциях.

По работе можно сделать **следующие замечания**

1. В главе 3 диссертации приведены результаты экспериментальных испытаний по определению работоспособности кабелей для ограниченного числа их конструкций. Из текста работы не ясно, можно ли распространить полученные результаты на другие виды конструкций кабелей?

2. При проведении экспериментальных исследований по определению работоспособности кабелей, приведенных в главе 3 диссертации, целесообразно было бы проводить экспериментальное измерение температуры изоляции кабеля.

3. В главе 3 диссертации при определении работоспособности кабелей на рис. 3.17 при сравнении температурного режима в муфельной печи с реальным температурным режимом пожара использовались только два помещения (помещение участка ГЦНА Ленинградской АЭС реакторного здания и кабельное помещение 3-го канала безопасности). Следовало бы расширить перечень рассматриваемых помещений.

4. В работе присутствуют незначительные опечатки (например, на стр. 288 диссертации), не влияющие на понимание сути работы.

Отмеченные недостатки не снижают общую положительную оценку работы, ее несомненную научную и практическую значимость. Данные замечания носят, в основном, характер пожеланий, которые рекомендуется учитывать автору в ходе его дальнейших исследований по рассматриваемой тематике.

Заключение

Анализ диссертационной работы позволяет сделать обоснованный вывод о том, что диссертация Лебедченко Ольги Сергеевны, выполненная на тему «Теплофизические основы пассивных технологий систем пожарной безопасности АЭС с водо-водяными реакторами», является завершенной научно-квалификационной работой, в котором решена проблема, имеющая важное социально-экономическое и хозяйственное значение – обеспечение пожарной безопасности АЭС с водо-водяными реакторами с помощью пассивных технологий систем пожарной безопасности.

Диссертация соответствует паспорту специальности 2.10.1. «Пожарная безопасность» (технические науки), а именно: пункту 3 «Разработка научных основ, моделей и методов исследования процессов горения, пожаро- и взрывоопасных свойств веществ, материалов, производственного оборудования и конструкций»; пункту 4 «Исследование процессов протекания аварий, пожаров и взрывов, условий их каскадного и катастрофического развития, разработка методов оценки различных опасных

воздействий на людей, объекты защиты и прилегающие территории, а также способов их снижения»; пункту 5 «Исследование проблем повышения устойчивости объектов защиты к воздействию опасных факторов пожаров и их сопутствующих проявлений».

Диссертационная работа Лебедченко О. С. «Теплофизические основы пассивных технологий систем пожарной безопасности АЭС с водо-водяными реакторами» отвечает требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук, а ее автор Лебедченко Ольга Сергеевна заслуживает присуждения искомой степени доктора технических наук по специальности 2.10.1. Пожарная безопасность (технические науки).

Официальный оппонент:

Главный научный сотрудник
научно-исследовательского центра
нормативно-технических проблем
пожарной безопасности
ФГБУ ВНИИПО МЧС России
доктор технических наук, с.н.с.

Хасанов Ирек Равильевич

«30» _____ 2024 г.

Личную подпись Хасанова Ирека Равильевича заверяю:
Ученый секретарь диссертационного совета
ФГБУ ВНИИПО МЧС России
к.т.н., с.н.с.

Е.Ю. Сушкина

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий»

143903, Московская область, г. Балашиха, микрорайон ВНИИПО, дом 12

ФГБУ ВНИИПО МЧС России
Электронная почта: vniiro@vniiro.ru
Контактный телефон: +7 (495) 521-81-31