

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора технических наук, профессора Самигуллина Гафура Халафовича 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

Пожары на АЭС могут привести к непоправимым последствиям для страны. Повышение уровня пожарной безопасности АЭС осуществляется с помощью активных и пассивных методов. Пассивные методы противопожарной защиты имеют ряд преимуществ, а именно, предусматривают минимальное влияние ошибочных действий персонала на показатели безопасности, а так же снижают влияние отказов обесточивания в энергосистеме на показатели безопасности. Наиболее критичными, с точки зрения обеспечения радиационной безопасности, является сохранение работоспособности каналов системы безопасности АЭС, приводящие реакторную установку в безопасное состояние в случае пожара.

До настоящего времени не было научного обоснования комплексного подхода к определению параметров пассивной противопожарной защиты АЭС с учетом реального температурного режима пожара в помещении.

Поэтому разработка теплофизических основ комплексного подхода к созданию систем пассивной противопожарной защиты зданий АЭС с водо-водяными реакторами, в которых расположено оборудование для безопасного останова и расхолаживания реакторной установки является актуальной.

Структура и содержание работы

Во введении обосновывается актуальность и степень разработанности темы диссертации, ее научная и практическая значимость, сформулированы объект и предмет исследования, цели, задачи, представлена общая концепция, научная новизна исследования и защищаемые положения.

В первой главе проведен анализ литературных источников и элементов пассивной противопожарной защиты современного проекта АЭС-2006 с водо-водяными реакторами. Разработана схема комплексной системы противопожарной защиты, объединяющая элементы пассивной противопожарной защиты.

Обоснована необходимость проведения научных исследований и разработки практических рекомендаций по повышению уровня противопожарной защиты АЭС с водо-водяными реакторами. Для этого разработан комплекс методов и методик расчета основных параметров пассивных технологий противопожарной защиты АЭС с водо-водяными реакторами.

Предложен необходимый комплекс методов и методик расчета основных параметров пассивных технологий противопожарной защиты АЭС с водо-

водяными реакторами, который включает в себя: расчет реальных температурных режимов пожара с учетом новых данных по пожарной нагрузке, расчет огнестойкости пожарных зон АЭС, расчет работоспособности кабелей системы безопасности, расчет времени блокирования путей эвакуации с учетом полученных экспериментально новых данных по токсичности кабельной продукции в условиях реального режима пожара, а так же, расчет образования локальных взрывопожароопасных водородно-воздушных смесей в помещениях АЭС при приведении реакторной установки в безопасное состояние.

Во второй главе представлены результаты исследования огнестойкости пожарных зон АЭС и безопасных расстояний между элементами конструкций, в том числе кабельных коробов.

Впервые рассчитаны температурные режимы реального пожара с учетом новых данных по свойствам горючих материалов. С использованием полученных данных по температурным зависимостям от времени реального пожара решены следующие задачи: определение пределов огнестойкости пожарных зон, обоснование работоспособности сигнальных и силовых кабелей, проверка выполнения безопасной эвакуации персонала АЭС.

Для устранения нарушений требований пожарной безопасности в зданиях АЭС дан ряд рекомендаций, в том числе: для предотвращения одновременного выхода из строя 1-го и 2-го каналов системы безопасности в реакторном здании Нововоронежской АЭС-2 на отметке +4,950 в коридоре необходимо установить две противопожарные перегородки с пределом огнестойкости EI 60 с противопожарными дверьми с EI 60; нарушение работоспособности кабелей (короткое замыкание) в помещении пожара может происходить начиная с 5 минуты для кабелей распространяющих горение и начиная с 14 минуты для кабелей не распространяющих горение с начала пожара в кабельном этаже РПУ; сформулированы требования к температуре вспучивания огнезащитных составов для обработки наружных поверхностей кабелей системы безопасности: вышеуказанная температура должна быть не более 150⁰С для кабелей распространяющих горение и 180⁰С для кабелей не распространяющих горение; для обеспечения безопасной эвакуации людей из реакторного здания Нововоронежской АЭС-2, необходима работа системы дымоудаления, наличие средств индивидуальной защиты органов дыхания обслуживающего персонала от воздействия ОФП, разработка организационно-технических мероприятий по эвакуации персонала в условиях потери видимости.

В третьей главе проведено теоретическое и экспериментальное исследование влияния повышенной температуры в помещении при реальном режиме пожара на работоспособность силовых и сигнальных кабелей.

Приведена разработанная математическая модель и результаты численных экспериментов зависимости силы тока в электрической кабеле от температуры газовой среды в помещении пожара при предельно допустимых температурах жил кабеля.

Приведено теоретическое и экспериментальное обоснование работоспо-

способности кабелей, с нанесенным вспучивающимся огнезащитным составом с использованием стандартных и реальных режимов пожара. Показано, что возможна потеря изоляционными материалами силовых кабелей каналов системы безопасности АЭС эксплуатационных свойств при стандартных и реальных температурных режимах пожара, как с использованием вспучивающихся покрытий, так и без них. Выявлено, что при достижении температуры в 180-230°C газовой среды в помещении пожара для различных типов кабелей и проводов, испытываемых в данной работе, происходит разрушение изоляции испытуемого проводника без вспучивания огнезащитного покрытия и последующее короткое замыкание токопроводящих жил проводника.

Разработана методика, с помощью которой необходимо проводить испытания кабельной продукции при реальном температурном режиме пожара. Методика позволяет также обосновать эффективность применения огнезащитных вспучивающихся покрытий для кабелей.

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

Показано, что изоляция применяемых на АЭС сигнальных и силовых кабелей, которые не распространяют горение, содержит антипирены, с одной стороны приводящие к положительному эффекту уменьшения удельной скорости выгорания, с другой стороны повышают токсичность продуктов термодеструкции этих кабелей. В частности, в помещениях АЭС кроме выделения оксида углерода образуется высокотоксичное соединение – циановодород, что обусловлено содержанием азота в антипиренах. Таким образом, необходимо при расчете необходимого времени эвакуации в помещениях АЭС, в которых находятся не распространяющие горение кабели, учитывать время блокирования путей эвакуации циановодородом.

Экспериментально получены значения удельных массовых коэффициентов образования монооксида углерода и циановодорода, а также удельного массового коэффициента поглощения кислорода для силовых и сигнальных НГ кабелей, которые могут использоваться в математических моделях для расчета динамики опасных факторов пожара и при определении времени блокирования путей эвакуации.

В пятой главе приведен расчет концентрационных полей водородно-воздушной смеси при различных вариантах натекания водорода в помещения АЭС. Получены размеры взрыво- и пожароопасных зон, а также коэффициенты участия всей массы водорода в горении и взрыве.

Разработанная автором зонная модель расчета концентраций водорода при его натекании в помещение большого объема (например, в гермзону реакторного здания) позволила выявить, что существует критическое значение числа Рейнольдса газообразного водорода, натекающего в нижнюю часть помещения. Показано, что используемые датчики концентрации водорода в верхнем

пространстве реакторного здания АЭС с ВВЭР могут не обнаружить водород в верхней точке купола.

Заключение содержит основные выводы по диссертационной работе, которые полностью соответствуют поставленной цели и задачам диссертации.

Научная новизна наиболее существенных результатов работы состоит в следующем:

– научно обоснованы температурные режимы реального пожара в основных зданиях АЭС с учетом новых данных по свойствам горючей нагрузки (не распространяющие горение кабели), что позволило определить огнестойкость пожарных зон и безопасные расстояния между элементами конструкций;

– разработаны метод и методика теоретической оценки работоспособности силовых и сигнальных кабелей, используемых на АЭС, в условиях стандартных и реальных температурных режимов пожара, что позволяет определить промежуток времени от начала пожара до потери работоспособности кабелей;

– разработаны экспериментальный метод, экспериментальный стенд и методика проведения эксперимента, позволяющие исследовать работоспособность силовых и сигнальных кабелей, используемых на АЭС без и с огнезащитой при реальном режиме пожара;

– получены результаты экспериментальных исследований работоспособности силовых и сигнальных кабелей, в том числе с использованием вспучивающего огнезащитного покрытия, которые позволили определить температуру газовой среды помещений и время наступления короткого замыкания каналов безопасности АЭС в условиях реального температурного режима пожара;

– получены результаты экспериментальных исследований удельных коэффициентов образования токсичных газов при горении силовых и сигнальных кабелей, используемых на АЭС, в условиях реального режима пожара, которые необходимы для расчета времени блокирования путей эвакуации персонала АЭС и выбора средств индивидуальной защиты для персонала, приводящего реакторную установку в безопасное состояние;

– разработаны аналитические решения модельных задач натекания водорода в помещение и математическая зонная модель, позволяющая выявить не предусмотренное технологическим процессом образование взрывопожароопасной водородно-воздушной смеси и определить необходимую степень чувствительности приборов контроля концентрации водорода в реакторном здании АЭС.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Выполненный анализ существующих систем противопожарной защиты пожарных зон зданий АЭС с ВВЭР показал, что при математическом моделировании параметров систем пассивной противопожарной защиты необходимо учитывать особенности объемно-планировочных решений и пожарной нагрузки каждой АЭС.

Разработанные методики математического моделирования параметров систем пассивной противопожарной защиты по современному проекту «АЭС-2006» позволяют обосновать безопасный останов и расхолаживание реакторной установки в условиях реального температурного режима пожара с учетом характерной горючей нагрузки, объемно-планировочных решений основных зданий АЭС и материала ограждающих конструкций.

Проведенные расчеты показали, что во всех рассматриваемых помещениях при реальном пожаре время достижения температуры короткого замыкания кабелей не распространяющих горение находится в диапазоне от 14 до 64 мин от начала возгорания внутри пожарной зоны или пожарного отсека.

Разработанные методы и методики математического моделирования работоспособности силовых и сигнальных кабелей, используемых на АЭС, позволяют спрогнозировать работоспособность кабелей в условиях реального и стандартного температурных режимов пожара, в том числе с использованием вспучивающихся огнезащитных составов.

Разработан экспериментальный метод и методика проведения эксперимента по исследованию работоспособности силовых и сигнальных кабелей, используемых на АЭС. Создана экспериментальная установка, которая позволяет моделировать тепловое воздействие реального температурного режима пожара для обоснования эффективности применения огнезащитных вспучивающихся составов.

Проведенные экспериментальные исследования токсичности силовых и сигнальных кабелей, используемых на АЭС, в условиях реального температурного режима пожара позволяют выбрать средства индивидуальной защиты для персонала и определить время блокирования путей эвакуации высокотоксичными газами - циановодородом и монооксидом углерода.

Разработана зонная модель определения концентраций водорода при его натекании в условно герметичное помещение большого объема, что позволяет оценить параметры взрывопожароопасной водородно-воздушной смеси.

Разработаны практические рекомендации по повышению уровня систем пассивной противопожарной защиты АЭС с ВВЭР в части огнезащитных вспучивающихся покрытий для защиты проводов и кабелей с учетом реальных температурных режимов пожара; обеспечения безопасной эвакуации персонала из реакторного здания Нововоронежской АЭС-2, для которой необходима работа системы дымоудаления, наличие средств индивидуальной защиты у персонала АЭС от воздействия опасных факторов пожара и разработка организационно-технических мероприятий по эвакуации персонала в условиях потери видимости.

Степень достоверности и обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций диссертации обусловлена корректностью постановки цели и задач исследования, проведением сравнения экспериментальных и расчетных данных, совпадением полученных результатов с результатами других исследователей, применением современных методов и средств исследований, а также апробированных методов расчета и анализа тепло- массообменных процессов, протекающих при горении веществ и материалов.

Автореферат в целом отражает содержание диссертации и соответствует требованиям ВАК России, предъявляемым к авторефератам диссертаций на соискание ученой степени доктора технических наук.

Результаты исследования опубликованы в 50 научных работах, в том числе, в 3-х монографиях и 25-и статьях в рецензируемых научных журналах из перечня ВАК, из них 3 статьи в научном журнале, входящем в базу цитирования Scopus и 11 статей в базе цитирования Chemical abstracts, отдельные разделы диссертации апробировались на российских и международных конференциях.

Личный вклад автора в проведении исследований заключается в предложении концепции работы, в постановке задач исследования, непосредственном участии и проведении экспериментальных и теоретических исследований, анализе полученных результатов, формулировке основных положений и выводов.

По работе имеются следующие замечания, не влияющие на положительную оценку работы:

1. В диссертации имеются повторяющиеся фрагменты текста (обзорные сведения во введении на страницах 9-11 дословно дублируются в тексте первой главы на страницах 36-37).

2. Из текста работы не ясен принцип выбора наиболее опасных сценариев пожара для расчета пределов огнестойкости ограждающих конструкций АЭС и времени блокирования эвакуационных выходов.

3. В работе не приведено исследование таких элементов пассивной противопожарной защиты как противопожарные клапаны, кабельные проходки, уплотнения коммуникационных проходов и проемов.

4. Из работы не ясно, в чем состоит отличие объемно-планировочных и конструктивных решений для различных АЭС с водо-водяными реакторами.

5. При моделировании процесса натекания водорода в гермзону реакторного здания в 5 главе диссертации не учитывается работа вентиляционной системы, которая по технологическому регламенту удаляет водород из реакторного здания.

Заключение

Анализ 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 которой выполнено обоснование комплексной системы пассивной противопожарной защиты зданий АЭС с водо-водяными реакторами, имеющее важное хозяйственное значение для Российской Федерации.

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 кон-

струкций»; 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» полностью 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 степени доктора технических наук по специальности 2.10.1. Пожарная безопасность (технические науки).

Официальный оппонент:

д.т.н., профессор, профессор кафедры физико-химических основ процессов горения и тушения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России им. Героя Российской Федерации генерала армии Е.Н. Зиничева

Гафур Халафович Самигуллин

«16» 12 2024г.



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий имени Героя Российской Федерации генерала армии Е.Н. Зиничева»

196105, г. Санкт-Петербург, Московский проспект, 149,

e-mail: ad@igps.ru

Тел.: +7 (812) 388-86-39

+7 (812) 388-20-41