



«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор

ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»

доктор технических наук

Комаров И.И.

« 15 » октября 20 24 г.

## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» 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)

### 1. Актуальность темы исследования

Пожары на АЭС представляют особую опасность в связи с возможным долговременным радиационным загрязнением территорий и негативным влиянием на здоровье людей. Противопожарная защита АЭС входит в систему обеспечения радиационной безопасности.

Современные системы безопасности технологического проекта «АЭС-2006» расширены за счет использования пассивных технологий систем безопасности, в том числе и пассивной противопожарной защиты.

Методы пассивной противопожарной защиты продолжают работать и в том случае, если активные системы пожарной безопасности (пожарная сигнализация, дымоудаление, пожаротушение, оповещение и управление эвакуацией и т.д.) разрушены в результате аварии, а так же предусматривают минимальное влияние человеческого фактора на показатели безопасности.

Использование пассивных технологий позволяет снизить опасность отказов обеспечивающих и управляющих систем, например, обесточивание в энергосистеме, отказ источников охлаждающей воды и т.д.

Поскольку объемно-планировочные и конструктивные решения каждой АЭС имеют существенные различия, то обоснование системы пассивной противопожарной защиты необходимо проводить для каждой АЭС отдельно. При этом, наиболее важно сохранить работоспособность оборудования для безопасного останова и расхолаживания реакторной установки, в первую очередь, каналов систем безопасности.

Научная проблема, решенная в работе, возникла при подтверждении (обосновании) правильности принятых проектных решений по обеспечению пожарной безопасности объектов ряда АЭС с водо-водяными реакторами (Курской АЭС-2, Нововоронежской АЭС-2, АЭС «Руппур», АЭС «Аккую»), а так же при разработке актуализированной версии анализа влияния пожаров и их последствий на безопасный останов и расхолаживание реакторной установки, локализацию и контроль радиоактивных выбросов в окружающую среду энергоблока №1 Ленинградской АЭС-2.

До настоящего времени не было комплексного подхода к научному обоснованию параметров элементов системы пассивной противопожарной защиты. Поэтому разработка теплофизических основ для обоснования комплексной системы пассивной противопожарной защиты зданий АЭС с ВВЭР, в которых расположено оборудование для безопасного останова и расхолаживания реакторной установки (в том числе каналы системы безопасности), является **актуальной**.

## **2. Структура и содержание работы**

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

**В первой главе** проведен анализ причин аварий и особенностей пожаров на АЭС. Обосновано сделан вывод, что пожар на АЭС возникает в результате аварий, сопровождающихся разливом масла, выбросом водорода, или короткого замыкания. Показано, что основной горючей нагрузкой является изоляция кабелей, трансформаторное масло, масло, используемое в насосных системах, а так же водород, используемый в генераторах или образующийся в подкупольном пространстве под воздействием радиационного излучения.

Рассмотрены основные методы пассивной противопожарной защиты, реализованные в системах безопасности «АЭС-2006». Выполнено сравнение с типовым проектом «ВВЭР-1000». Анализ системы пассивной противопожарной защиты АЭС с водо-водяными реакторами показал, что выбор характеристик элементов системы пассивной противопожарной защиты требует научного обоснования с учетом особенностей объемно-планировочных и конструктивных решений и технологического процесса для каждой АЭС с водо-водяными реакторами.

Проанализированы современные интегральные, зонные и полевые методы математического моделирования динамики опасных факторов пожара в помещениях АЭС с водо-водяными реакторами. Обоснован выбор математической модели расчета динамики пожара. Показано, что для расчета пределов огнестойкости строительных конструкций можно использовать интегральную модель, а для оценки времени блокирования эвакуационных выходов – полевую модель.

Показано, что особенностью обеспечения водородной безопасности АЭС является наличие систем контроля концентрации и удаления водорода.

Удаление водорода из подкупольного пространства производится при помощи вентиляции (активная система) и каталитических рекомбинаторов водорода (пассивная система). Отмечено, что места размещения концентрационных датчиков и каталитических рекомбинаторов водорода требуют научного обоснования, так как зависят от закономерностей образования локальных взрыво- и пожароопасных концентраций водорода при его натекании в нижнюю часть помещения.

Предложено объединить элементы пассивной противопожарной защиты в комплексную систему, состоящую из: противопожарного зонирования; использования огнезащитных покрытий и материалов пониженной горючести; определения работоспособности кабелей каналов систем безопасности; создания эшелонированной защиты из 2-4 каналов систем безопасности и использования каталитических рекомбинаторов водорода.

Показано, что для решения проблемы, рассматриваемой в диссертации, необходима разработка комплекса методов и методик расчета основных параметров пассивных технологий противопожарной защиты АЭС с водородными реакторами. Вышеуказанный комплексный подход позволит выполнить безопасный останов и расхолаживание реакторной установки в условиях реального температурного режима пожара с учетом нового вида пожарной нагрузки (кабели не распространяющие горение) и объемно-планировочных решений каждой АЭС, материалов ограждающих конструкций и их обработки огнезащитным составом, а так же новых данных по токсичности не распространяющих горение кабелей.

**Во второй главе** подробно описаны применяемые интегральная и полевая модели прогнозирования динамики опасных факторов пожара.

Проведено расчетное обоснование пределов огнестойкости ограждающих конструкций пожарных зон с учетом температурных режимов пожара для Ленинградской АЭС-2, АЭС «Аккую» и Нововоронежской АЭС-2 с использованием новых данных по теплофизическим свойствам пожарной нагрузки – не распространяющие горение кабели.

Показано, что фактические пределы огнестойкости ограждающих конструкций по потери несущей способности для всех рассматриваемых наиболее опасных сценариев развития пожара, превышают требуемые пределы огнестойкости. При этом, например, эквивалентная продолжительность реального температурного режима пожара, приведенного к «стандартному», на АЭС «Аккую» составляет  $9,4 \div 60,3$  мин, что существенно меньше требуемых пределов огнестойкости

Впервые получены расчетные величины промежутков времени от начала возгорания внутри пожарной зоны или пожарного отсека до наступления короткого замыкания не распространяющих и распространяющих горение кабелей. Выявлено, что для всех рассматриваемых АЭС во всех помещениях при реальном пожаре, вышеуказанное время составляло от 5 до 64 мин.

Для АЭС «Аккую» выполнено обоснование фактических пределов огнестойкости ограждающих конструкций пожарной зоны помещения по

обращению с отходами с очень низким уровнем активности, стены которых выполнены из навесных сэндвич панелей, крепящихся к вертикальным железобетонным колоннам, и стальных ферм покрытия. До этого времени все ограждающие конструкции зданий АЭС выполнялись из железобетона.

В результате проведенных расчетов предложена огнезащита элемента крепления сэндвич-панели, выполненная из слоя минеральной ваты, а также использование для стальной конструкции перекрытия огнезащитного силиконового покрытия «Силотерм ЭП-6».

Расчетное обоснование пределов огнестойкости ограждающих конструкций Нововоронежской АЭС-2, показало, что установка двух противопожарных перегородок с пределом огнестойкости EI 60 с противопожарными дверьми с EI 60 в коридоре позволит предотвратить одновременный выход из строя 1-го и 2-го канала систем безопасности в реакторном здании на отметке +4,950. При этом, работоспособность кабелей в помещении пожара может быть нарушена начиная с 5 мин для кабелей, распространяющих горение, и с 14 мин. для кабелей, не распространяющих горение, от начала пожара в кабельном этаже резервного пункта управления, где расположены кабели всех каналов систем безопасности и канала нормальной эксплуатации.

При обосновании требуемых (минимальных) расстояний и пределов огнестойкости противопожарных преград между каналами систем безопасности при их размещении в одной пожарной зоне Ленинградской АЭС-2, впервые получены времена наступления короткого замыкания в наиболее нагретом поперечном сечении кабеля одного канала системы безопасности при воздействии на него теплового потока от открытого кабеля другого канала системы безопасности в зависимости от расстояния между рассматриваемым кабелем и горящим открытым кабельным каналом.

Показано, что при расстояниях между открытыми кабелями двух систем безопасности, меньших 2,0 м, наружные поверхности кабелей систем безопасности необходимо обрабатывать огнезащитным составом с огнезащитной эффективностью не менее 120 мин.

Аналогичные расчеты, проведенные для АЭС «Аккую» показали, система пассивной огнезащиты СПО-Э-11, используемая для герметизации кабельных коробов, обеспечивает предотвращение одновременного выхода из строя нескольких каналов систем безопасности в случае если вспучивание огнезащитного состава произойдет до достижения среднеобъемной температуры в помещении 180°С для кабелей, не распространяющих горение, и 150°С для кабелей, распространяющих горение (значения температуры короткого замыкания определены в главе 3 диссертационного исследования).

Проверка обеспечения безопасной эвакуации персонала из реакторного здания, проведенная на примере Нововоронежской АЭС-2, показала, что для обеспечения безопасной эвакуации людей, необходима работа системы дымоудаления, наличие средств индивидуальной защиты органов дыхания персонала АЭС от воздействия опасных факторов пожара и разработка

организационно-технических мероприятий по эвакуации персонала в условиях потери видимости. При этом персонал, выполняющий функции по приведению энергоблока в безопасное состояние и подлежащий спасению, должен быть обеспечен средствами индивидуальной защиты органов дыхания от воздействия опасных факторов пожара, в том числе от циановодорода и монооксида углерода, токсичное действие смеси которых при повышенной температуре увеличивается путем суммирования эффектов.

**В третьей главе** проведено теоретическое и экспериментальное моделирование работоспособности силовых и сигнальных кабелей, используемых на АЭС, в условиях реального и стандартных режимов пожара.

Условием обеспечения безопасности АЭС является сохранение работоспособности во время аварии или пожара всех каналов системы безопасности за исключением одного.

Приведен расчет зависимости допустимой токовой нагрузки кабеля от среднеобъемной температуры в помещении для значимых температур жил кабеля с использованием созданной математической модели. Расчет температуры токопроводящей жилы позволяет скорректировать приведенную в ПУЭ зону зависимости температуры в помещении от токовой нагрузки в сигнальных кабелях каналах систем безопасности АЭС при пожаре.

Для оценки эффективности применения вспучивающихся огнезащитных покрытий силовых кабелей каналов систем безопасности АЭС в условиях пожара решена сопряженная нестационарная задача нагрева вышеуказанных кабелей от воздействия пожара и токовой нагрузки для 3-х стандартных режимов пожара (стандартного, углеводородного и медленно развивающегося (тлеющего)) и реального температурного режима пожара в кабельном этаже блочного пункта управления АЭС, в которых проходят, как минимум, два канала системы безопасности. Показано, что изоляция кабеля может достигать температуры деструкции или плавления до вспучивания огнезащитного покрытия (температура начала вспучивания  $180^{\circ}\text{C}$ ).

С использованием созданного экспериментального метода и экспериментальной установки проведена оценка работоспособности электрических проводов и кабелей при одновременном воздействии пожара и токовой нагрузки при реальном температурном режиме пожара. Обнаружено, что для распространенных электрических проводов и кабелей в них произошло искажение передаваемого сигнала (сигнальные кабели) и короткое замыкание в диапазоне температур, при котором не начинается вспучивание огнезащитных вспучивающихся покрытий на поверхности изоляции. Поэтому сохранение работоспособности электрических проводов и кабелей с помощью вышеуказанных покрытий может быть неэффективным.

Проведенные эксперименты показали, что при нагреве всех рассматриваемых кабелей короткое замыкание произошло при температурах окружающей среды в диапазоне  $180-230^{\circ}\text{C}$  без увеличения в объеме огнезащитного покрытия до размеров, обеспечивающих защиту кабеля от внешнего теплового воздействия вспучиванием огнезащитного покрытия

«Огнеза-ВД-К». При этом, вследствие нарушения изоляции и возникновения короткого замыкания, передача электрического сигнала по проводнику становится невозможной.

Предложена методика обоснования эффективности применения огнезащитных составов для кабелей с учетом реального температурного режима пожара, с помощью которой выявлены ограничения в использовании огнезащитных вспучивающихся покрытий для защиты проводов и кабелей.

**В четвертой главе** условиях реального температурного режима пожара выполнены исследования токсичности силовых и сигнальных кабелей не распространяющих горение.

Проведены эксперименты для оценки токсичности газовой среды помещения при терморазложении силовых и сигнальных не распространяющих горение кабелей в маломасштабной экспериментальной установке при воздействии характерного для пожара в помещении теплового потока на изоляцию кабелей, изготовленную из полимеров с огнезащитными добавками.

Обнаружено, что изоляция кабелей с огнезащитными добавками при терморазложении выделяет монооксид углерода и циановодород в концентрациях, превышающих их предельно допустимые величины, во время эвакуации людей из помещений АЭС.

Получены экспериментальные зависимости парциальных плотностей циановодорода и монооксида углерода, а также удельных коэффициентов выделения этих газов от времени экспериментов в случае терморазложения современного сигнального негорючего кабеля марки «нг LS FR HF E1180» и силового кабеля с медной жилой, изоляцией из ПВХ, оболочкой из ПВХ пониженной горючести «ВВГнг (А)-FRLS 2x1,5». Эти результаты могут использоваться для расчета динамики опасных факторов пожара при определении времени блокирования путей эвакуации.

**В пятой главе** показано, что для решения задач водородной безопасности, необходим расчет образования локальных концентрационных полей водородно-воздушной смеси при различных аварийных ситуациях.

Впервые получены аналитические решения для расчета распределения концентраций водорода для трех модельных задач натекания водорода: одномерная концентрационная установившаяся диффузия водорода в водородно-воздушной смеси; ламинарная или турбулентная конвекция на горизонтальной поверхности, через которую натекает водород, при ее обдуве потоком воздуха; распространение водорода в области конвективной колонки, образующейся над источником его натекания в помещение. Это позволило определить коэффициенты участия водорода в горении и взрыве и использовать полученные решения для тестирования трехмерной модели.

При этом, полученные величины коэффициентов участия водорода во взрыве в несколько раз меньше соответствующих значений, приведенных в СП 12 131 30.2009.

Модельная задача в случае конвективной колонки решалась с заданием угла полураскрытия колонки, в отличие от опубликованных работ, где в уравнении изменения расхода водородно-воздушной смеси по высоте конвективной колонки расход воздуха, вовлекаемого в колонку, определяется с использованием эмпирического коэффициента подмешивания. Для определения заранее неизвестного угла полураскрытия конвективной колонки, проведены тестовые расчеты с использованием экспериментальных данных.

Результаты расчетов, проведенные с использованием полученного уравнения в случае конвективной колонки, показали, что при ламинарном и переходном режимах истечения струи водорода из отверстия безразмерные координаты по высоте пожароопасных и взрывоопасных участков колонки существенно зависят от числа Рейнольдса, а при турбулентном режиме истечения происходит стабилизация расположения и размеров пожароопасных и взрывоопасных участков.

Результаты численных экспериментов, выполненных с использованием трехмерной нестационарной полевой модели, показали, что при небольших расходах натекающего водорода (менее 0,0046 кг/с) в течение длительного времени (примерно 10 мин) существует «квазистационарная» пожароопасная зона внутри конвективной колонки, слабо меняющая свою высоту. Взрывоопасная зона расположена внутри пожароопасной зоны и также практически не меняет свою высоту.

Распределения концентрации водорода в помещении, полученные с помощью полевой модели протестированы на экспериментальных данных. Предложена более простая зонная модель, в которой помещение разбивается на три зоны: зона конвективной колонки, образующейся над источником натекания водорода, зона припотолочного слоя, содержащая водородно-воздушную смесь, и зона чистого воздуха. Компьютерные программы для реализации полевой модели и расчета распределения массовой концентрации водорода по высоте конвективной колонки верифицированы на экспериментальных данных.

Решена модельная задача для наиболее опасного, в соответствии с литературными данными, случая выделения водорода в реакторном здании – натекания водорода в подкупольное пространство реакторного здания АЭС из-под крышки реактора. Показано, что расчет высоты нижней границы припотолочного слоя и распределения объемных концентраций водорода по высоте конвективной колонки с использованием предложенной зонной модели и полевой модели показал удовлетворительную сходимость.

Обнаружен наиболее опасный случай натекания водорода через отверстие с диаметром 0,1 м, когда пожаро- и взрывоопасная водородно-воздушная смесь занимает почти весь объем конвективной колонки.

Расчет объемной концентрации водорода в верхней точке купола гермзоны в месте расположения концентрационных датчиков водорода показал, что концентрационные датчики водорода могут диагностировать

аварийный режим натекания водорода в подкупольное пространство гермзоны только в узкой области чисел Рейнольдса  $Re=900\div 5000$ , а при режиме натекания с  $Re=3358$  образуется максимальная объемная концентрация водорода в месте расположения концентрационных датчиков при максимальных размерах пожаро- и взрывоопасных зон в водородно-воздушной смеси.

Таким образом, используемые датчики концентрации водорода в подкупольном пространстве реакторного здания АЭС с водо-водяными реакторами могут не обнаружить водород в верхней точке купола при пороге чувствительности в 2% об. При этом пожаро- и взрывоопасные водородно-воздушные смеси образуются и по высоте конвективной колонки, а не только в припотолочной области, как принято в существующих нормах.

**Заключение** содержит основные выводы по диссертационной работе. Выводы полностью соответствуют поставленной цели и задачам диссертационной работы.

**В приложении** приведены акты внедрения полученных результатов

**3. Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций** диссертации обусловлена логикой построения исследования, отвечающей поставленным задачам; обстоятельным анализом научных трудов отечественных и зарубежных авторов по тематике работы; применением методологии системного анализа; успешной апробацией разработанного соискателем инструментария.

**4. Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций** диссертации обусловлена корректным применением теоретических и экспериментальных методов научного исследования, обоснованием принятых допущений. Экспериментальные исследования выполнялись с использованием измерительного оборудования, прошедшего поверку и откалиброванного для условий экспериментов. Апробация численного метода расчета проводилась на тестовых задачах, а также на экспериментальных данных.

**5. Научная новизна** наиболее существенных результатов работы состоит в следующем:

– рассчитаны на основе разработанных методик расчета параметров систем ППЗ по проекту «АЭС-2006» для ВВЭР-1200 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, в том числе кабельных коробов;

– разработан новый метод и методика математического моделирования работоспособности силовых и сигнальных кабелей, используемых на АЭС, в условиях стандартных и рассчитанных реальных температурных режимов пожара, что позволило определить времена прогрева изоляции кабелей от начала возгорания до потери работоспособности кабелей;

– получены новые теоретические данные по максимальным величинам силы тока, позволяющим проводить корректно электрический сигнал по кабелю конструкции КПЭПнг(А)-HF 24x2x0,6 в течение времени, необходимого для приведения реакторной установки в безопасное состояние, при температурах, характерных для начальной стадии реального температурного режима пожара;

– разработан экспериментальный метод и методика проведения эксперимента, позволяющая исследовать работоспособность силовых и сигнальных кабелей, используемых на АЭС без и с огнезащитой, в условиях реального температурного режима пожара;

– 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 позволяют определить 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, позволяющая выявить не предусмотренное технологическим процессом образование взрывопожароопасной водородно-воздушной смеси и определить необходимую степень чувствительности приборов контроля концентрации водорода в реакторном здании АЭС, а также дать рекомендации по их оптимальному расположению.

## **6. Научная и практическая ценность диссертации**

Предложенные методики и полученные результаты расчета режима реального пожара в основных зданиях АЭС с учетом новых данных по свойствам горючей нагрузки (не распространяющие горение кабели), позволяют определить параметры систем пассивной противопожарной защиты по проекту «АЭС-2006» для ВВЭР-1200, такие как, пределы огнестойкости пожарных зон и безопасные расстояния между кабельными каналами, а так же определить условия безопасной эвакуации людей из реакторного здания АЭС, в том числе, параметры средств индивидуальной защиты органов дыхания от воздействия опасных факторов пожара для обслуживающего персонала.

Теоретическое и экспериментальное моделирование работоспособности силовых и сигнальных кабелей, используемых на АЭС, в условиях реального и стандартных режимов пожара с использованием созданных экспериментальных и численных моделей позволяют обосновать условия сохранения работоспособности кабелей каналов системы безопасности АЭС при пожарах,

а так же обосновать эффективность применения огнезащитных составов для кабелей с учетом реальных режимов пожара.

Полученные результаты экспериментальных исследований токсичности не распространяющих горение силовых и сигнальных кабелей, используемых на АЭС, в условиях реального температурного режима пожара позволяют расширить существующую базу данных типовой пожарной нагрузки и проводить расчет времени блокирования путей эвакуации с учетом удельных массовых коэффициентов выделения циановодорода и монооксида углерода, массового коэффициента поглощения кислорода при терморазложении изоляции не распространяющих горение кабелей, содержащей антипирены.

Предложенный комплекс математических моделей и аналитических решений, а так же результаты численных экспериментов, позволяющие определить образование локальной взрывопожароопасной водородно-воздушной смеси при не предусмотренным технологическим процессом натекании водорода, может быть использован для обеспечения водородной безопасности АЭС, в частности, для определения мест расположения концентрационных датчиков водорода в подкупольном пространстве реакторного здания.

**7. Значимость полученных результатов для развития соответствующей отрасли науки** заключается в возможности применения разработанного автором диссертации комплекса методов и методик расчета тепломассообмена для обоснования параметров систем пассивной противопожарной защиты АЭС с ВВЭР, позволяющих, в том числе, выполнить безопасный останов и расхолаживание реакторной установки при реальном режиме пожара

**8. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы.** Полученные результаты можно использовать как теоретическую базу для создания систем пассивной противопожарной защиты АЭС с водо-водяными реакторами и при разработке практических рекомендаций по повышению их уровня.

#### **9. Замечания**

1. Расчет температурного режима пожара проводился по интегральной математической модели развития пожара в помещении, тогда как расчет по полевой модели дает более детальную термогазодинамическую картину пожара.

2. Датчики контроля концентрации водорода можно отнести к активной ППЗ, так как для их функционирования необходимо электроснабжение, и при его отсутствии датчики передавать значения концентрации на пункт управления не будут.

3. Из текста главы 4 диссертационной работы не ясно, какие значения удельных массовых коэффициентов образования монооксида углерода и циановодорода использовались при расчете необходимого времени эвакуации персонала АЭС.

4. В заключение диссертации в раздел практических рекомендаций целесообразно внести результаты, полученные автором для предотвращения одновременного выхода из строя 1-го и 2-го каналов системы безопасности в реакторном здании Нововоронежской АЭС-2, содержащиеся во второй главе представленной работы.

5. Нет пояснения при проведении численных экспериментов принципа выбора величин диаметров отверстий натекания водорода в подкупольное пространство реакторного здания в главе 5 диссертационной работы.

Сделанные замечания не влияют на положительную оценку работы.

## **10. Заключение**

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, материал неоднократно апробировался на российских и международных конференциях.

Содержание диссертации 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».

Анализ работы позволяет сделать обоснованный вывод, что диссертация Лебедченко Ольги Сергеевны на тему «Теплофизические основы пассивных технологий систем пожарной безопасности АЭС с водо-водяными реакторами» является завершённой научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, обладает научной новизной, научной и практической ценностью, а научные положения, выводы и рекомендации имеют существенное значение для развития соответствующей отрасли наук.

В диссертационной работе решена актуальная проблема повышения уровня пожарной безопасности АЭС с водо-водяными реакторами на основе пассивных технологий систем пожарной безопасности, которая имеет важное социально-экономическое и хозяйственное значение для России.

Диссертационная работа полностью соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней (постановление Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г.) для диссертаций, представленных на соискание ученой степени доктора технических наук, а ее автор Лебедченко

Ольга Сергеевна заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.10.1. Пожарная безопасность (технические науки)

Отзыв на диссертацию рассмотрен и одобрен на заседании кафедры инженерной экологии и охраны труда ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» «15» октября 2024 года. Протокол заседания № 8/24 от «15» октября 2024 г.

Заведующая кафедрой инженерной экологии и охраны труда  
ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»

доктор технических наук, доцент

*«15» октября 2024 г.*

*2*  
Кондратьева Ольга Евгеньевна



*уроствоверено*

ЗАМЕСТИТЕЛЬ НАЧАЛЬНИКА  
КАБИНЕТА НАЧАЛЬНИКА  
Д.И. ПОЛЕВАЯ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт» (ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»).

Адрес: 111250, Россия, г. Москва, Красноказарменная улица, дом 14

Телефон: +7 495 362-75-60 , Email: universe@mpei.ac.ru