

*На правах рукописи*



**Акперов Руслан Гянджавиевич**

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД  
К РАСЧЕТУ ВРЕМЕНИ БЛОКИРОВАНИЯ ПУТЕЙ ЭВАКУАЦИИ  
ТОКСИЧНЫМИ ПРОДУКТАМИ ГОРЕНИЯ ПРИ ПОЖАРЕ  
В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗДАНИЯХ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

Специальность 05.26.03 «Пожарная и промышленная безопасность»  
(технические науки, отрасль энергетика)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва – 2018

Работа выполнена на кафедре пожарной безопасности в строительстве (в составе Учебно-научного центра проблем пожарной безопасности в строительстве) Академии Государственной противопожарной службы МЧС России.

Научный руководитель:

Пузач Сергей Викторович  
Заслуженный деятель науки РФ  
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Покровская Елена Николаевна  
доктор технических наук, профессор,  
ФГБОУ ВО «Национальный  
исследовательский Московский  
государственный строительный  
университет (НИУ МГСУ)»,  
профессор кафедры комплексной  
безопасности в строительстве

Таранцев Александр Алексеевич  
доктор технических наук, профессор,  
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский  
университет ГПС МЧС России»,  
профессор кафедры организации  
пожаротушения и проведения АСР

Ведущая организация:

Федеральное государственное  
бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
"Национальный исследовательский  
университет "МЭИ"

Защита состоится « 09 » октября 2018 г. в 11 часов 30 минут на заседании диссертационного совета Д 205.002.02 в Академии ГПС МЧС России по адресу: 129366, Москва, ул. Бориса Галушкина д. 4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Академии ГПС МЧС России и на сайте:

<http://academygps.ru/upload/iblock/326/326a6184db8e4e9fd715739d27d12178.pdf>

Автореферат разослан « 11 » июля 2018 г.

Отзыв на автореферат с заверенной подписью и печатью просим направлять в Академию ГПС МЧС России по указанному адресу.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



А.Б. Сивенков

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** В экономике России задача развития энергетики является стратегической, а пожарная безопасность объектов энергетики и работающего на них персонала – актуальной и жизненно необходимой.

За период с 2009 по 2015 гг. на предприятиях энергетики зарегистрировано 2762 пожара, из которых 61 пожар в зданиях энергоблока тепловой и гидравлической электростанции (ГЭС). В результате пожаров погибло 32 человека, а также 100 человек было травмировано. При этом прямой материальный ущерб составил 420377 тыс. руб.

Более чем в 70 % случаев, согласно статистике, причинами гибели людей на пожарах является отравление продуктами горения. Поэтому в связи с расширением области использования материалов на основе полимеров, горение и тление которых сопровождается выделением большого количества токсичных продуктов горения, математическое моделирование распространения токсичных продуктов горения при пожаре на гидроэлектростанциях и разработка эффективных противопожарных профилактических мероприятий становится все более актуальной задачей.

Объемно-планировочные и конструктивные решения производственных зданий ГЭС должны обеспечивать безопасную эвакуацию людей при пожаре. Для решения данной задачи необходимо уметь достоверно рассчитывать динамику изменения концентраций токсичных продуктов горения при пожаре в помещениях ГЭС и на путях эвакуации.

Моделирование распространения токсичных продуктов горения при пожаре на ГЭС опирается на прогнозирование динамики опасных факторов пожара (ОФП). В настоящее время математические модели расчета динамики ОФП (в том числе и концентраций токсичных продуктов горения) в помещении достаточно развиты для решения практических задач пожарной безопасности.

Однако исходные данные (база типовой пожарной нагрузки) по выделению токсичных продуктов горения, используемые при расчете ОФП, получены в 1970–2000 гг. и не учитывают новые вещества и материалы (в особенности полимерные), активно используемые для отделки путей эвакуации.

Объем выделяющихся продуктов горения определяется химическим составом твердых и жидких горючих веществ и материалов, а также термогазодинамическими условиями пожара.

Удельные коэффициенты выделения токсичных газов приняты постоянными и не зависящими от термогазодинамической картины развития пожара (концентрация кислорода, температура и т.д.). Кроме того, в различных базах данных вышеуказанные коэффициенты значительно отличаются друг от друга, а сведения о теплофизических и химических показателях для многих современных материалов отсутствуют.

Величины удельных коэффициентов выделения получены в маломасштабных экспериментальных установках. Однако из-за невозможности полного выполнения положений теории подобия при переходе от маломасштабной модели к натурному помещению отсутствует научное обоснование

равенства удельных коэффициентов выделения в помещениях с существенно отличающимися размерами.

Таким образом, разработка экспериментально-теоретической модели расчета распространения токсичных продуктов горения, учитывающей масштабный фактор и позволяющей определить время блокирования путей эвакуации токсичными продуктами горения в целях обеспечения безопасной эвакуации людей из производственных зданий ГЭС, является **актуальной научной и практической задачей**.

**Степень разработанности темы исследования.** Значительный вклад в понимание термогазодинамической картины пожара и обеспечение безопасной эвакуации людей из помещений внесли Ю.А. Кошмаров, Ю.А. Поляков, С.В. Пузач, В.И. Присадков, В.М. Есин, W. K. Chow, T. Tanaka, S. Yamada, K. Matsuyama, G.D. Loughed и др.

В разработку научных основ теории горения полимеров, токсического воздействия продуктов горения на организм человека, методов испытаний и контроля пожароопасных и токсических свойств веществ и материалов внесли А.А. Берлин, П.Г. Демидов, В.С. Иличкин, А.Я. Корольченко, Д.В. Трушкин, Н.Н. Семенов, В.А. Симонов, Л.М. Шафран, П.П. Щеглов и др.

Однако в настоящее время эти проблемы полностью не решены с теоретической и экспериментальной точек зрения из-за сложности физико-химических условий протекания процессов газификации и горения, а также неопределенности химического состава современных строительных материалов.

Научно-обоснованные методики расчета удельных коэффициентов выделения токсичных газов с учетом конкретных термогазодинамических условий пожара (температура, концентрация кислорода и т.д.) отсутствуют.

Таким образом, необходимы теоретические и экспериментальные исследования величин концентраций токсичных газов и температуры в смесях продуктов горения и воздуха, образующихся в маломасштабной экспериментальной установке, и рассмотрения возможности распространения полученных результатов на реальное полномасштабное помещение.

**Объектом исследования** в диссертации являются тепломассообменные процессы, протекающие при пожаре в производственных зданиях ГЭС, которые являются основой для выполнения расчета времени блокирования путей эвакуации токсичными продуктами горения.

**Предметом исследования** является время блокирования путей эвакуации токсичными продуктами горения при пожаре в производственных зданиях ГЭС.

**Целью исследования** является разработка экспериментально-теоретической модели расчета времени блокирования путей эвакуации токсичными продуктами горения в производственных зданиях ГЭС, учитывающей масштабный фактор, на основе совершенствования стандартной методики определения токсичности продуктов горения.

Для достижения поставленной цели в работе необходимо решить следующие **основные задачи**:

– провести анализ литературных источников по прогнозированию концентраций продуктов горения на пожарах в зданиях ГЭС, по воздействию

токсичных газов на организм человека, по методам испытаний веществ и материалов на токсичность продуктов горения;

– создать усовершенствованную по сравнению со стандартным методом оценки токсичности продуктов горения маломасштабную экспериментальную установку для определения пожарной опасности веществ и материалов при их термическом разложении, используемых в ГЭС, по условно герметичной схеме;

– разработать модификации интегральной и зонной математических моделей, учитывающие масштабный фактор и использующие экспериментальные зависимости плотности токсичных газов от температуры в условно герметичной схеме, для расчета времени блокирования путей эвакуации токсичными продуктами горения на пожаре в производственных зданиях ГЭС;

– разработать методику расчета времени блокирования путей эвакуации токсичными продуктами горения с использованием модифицированных интегральных и зонных моделей;

– разработать научно обоснованные рекомендации по расчету времени блокирования путей эвакуации токсичными продуктами горения с учетом реальной пожарной нагрузки, объемно-планировочных и конструктивных особенностей производственных зданий ГЭС.

**Научная новизна** работы заключается в следующем:

– предложено усовершенствование стандартной схемы испытаний на токсичность, позволяющее в дополнение к измерениям концентраций токсичных газов и кислорода измерять скорость газификации горючего материала и удельный коэффициент образования токсичных газов, необходимые при расчете времени блокирования путей эвакуации токсичными продуктами горения;

– разработаны модификации интегральной и зонной моделей, используемых при расчете времени блокирования путей эвакуации токсичными продуктами горения, в которых с учетом масштабного фактора используются экспериментальные зависимости плотности токсичного газа от температуры без решения дифференциального уравнения закона сохранения массы токсичного газа;

– получены новые экспериментальные и теоретические данные по зависимости плотности монооксида углерода от среднеобъемной температуры, величинам удельной скорости газификации и удельного коэффициента образования монооксида углерода для древесины (сосна), трансформаторного масла и оболочек кабелей в условно герметичном объеме, необходимые при расчете времени блокирования путей эвакуации токсичными продуктами горения.

**Теоретическая и практическая значимость работы** заключается в:

– научном обосновании использования в математической модели расчета времени блокирования путей эвакуации токсичными продуктами горения в производственных зданиях ГЭС экспериментальных зависимостей плотности токсичного газа от температуры, полученных в маломасштабной установке, с учетом масштабного фактора и особенностей термогазодинамической картины пожара в полномасштабном помещении;

– совершенствовании научных основ обеспечения безопасной эвакуации людей при пожаре в производственных зданиях ГЭС;

– создании экспериментальной установки для определения пожарной опасности веществ и материалов при их термическом разложении, применяющихся в строительстве, на основе оценки по данным химического анализа с использованием усовершенствованной методики проведения испытаний, что позволит расширить базу данных горючей нагрузки по свойствам современных строительных материалов;

– создании методики расчета времени блокирования путей эвакуации токсичными продуктами горения на основе модифицированных интегральной и зонной моделей, используемых для расчета пожарных рисков.

**Методология и методы исследования.** Методологическую и теоретическую основы диссертационных исследований составили труды ученых в области тепломассообмена и прогнозирования ОФП, а также научные разработки, посвященные методам испытаний на токсичность продуктов горения.

Основными методами исследования являются методы газодинамики и тепломассообмена, экспериментальные методы тепломассообмена, численные методы решения систем дифференциальных уравнений, методы обработки и анализа результатов теоретических и экспериментальных исследований.

**Реализация работы.** Материалы диссертации реализованы при:

– расчете пожарных рисков и разработке плана безопасной эвакуации людей при пожаре в главном корпусе филиала ОАО «РусГидро» - «Нижегородская ГЭС», расположенного по адресу: Нижегородская область, Городецкий район, г. Заволжье;

– расчете пожарных рисков, разработке плана безопасной эвакуации людей при пожаре и проектировании системы дымоудаления в машинном зале на Нововоронежской АЭС, расположенной по адресу: Воронежская обл., г. Нововоронеж, промзона, и на Курской АЭС-2, расположенной по адресу: Курская обл., площадка «Макаровка»;

– проведении научных исследований по развитию и совершенствованию испытаний веществ и материалов на токсичность продуктов горения (п. 86 плана научной работы Академии ГПС МЧС России на 2015 г.);

– разработке фондовых лекций, проведении лекционных, лабораторных и практических занятий со слушателями, курсантами и студентами Академии ГПС МЧС России по дисциплине «Прогнозирование опасных факторов пожара» по темам «Основы интегрального метода прогнозирования ОФП» и «Основные положения зонного моделирования пожара».

**Положения, выносимые на защиту:**

– усовершенствованная стандартная схема испытаний на токсичность продуктов горения, позволяющая в дополнение к измерениям концентраций токсичных газов и кислорода измерять скорость газификации горючего материала и удельный коэффициент образования токсичных газов;

– разработанная установка для определения пожарной опасности веществ и материалов при их термическом разложении, применяющихся

в строительстве, на основе оценки данных химического анализа с использованием усовершенствованной методики проведения испытаний;

- модифицированная зонная и интегральная модели, в которых используется экспериментальная зависимость плотности токсичного газа от температуры без решения дифференциального уравнения закона сохранения массы токсичного газа;

- результаты сопоставления экспериментальных и теоретических данных по зависимости плотности монооксида углерода от среднеобъемной температуры, экспериментальные данные по удельной скорости газификации и удельному коэффициенту образования монооксида углерода для древесины (сосна), трансформаторного масла и оболочек кабелей в условно герметичном объеме;

- методика расчета времени блокирования путей эвакуации токсичными продуктами горения, разработанная на основе модифицированных интегральной и зонной моделей с учетом масштабного фактора;

- результаты численных экспериментов по сравнению концентраций токсичных продуктов горения в полномасштабных производственных зданиях ГЭС и маломасштабной экспериментальной установке;

- научно-обоснованные рекомендации по расчету времени блокирования путей эвакуации токсичными продуктами горения при пожаре для людей без средств индивидуальной защиты с учетом объемно-планировочных и конструктивных особенностей производственных зданий ГЭС.

**Степень достоверности полученных результатов** обеспечивается использованием при проведении экспериментов поверенных средств измерений, апробированных методов обработки результатов экспериментов, апробированных физико-математических методов анализа, а также численного решения дифференциальных уравнений в частных производных. Полученные экспериментальные данные имеют достаточно точное для инженерных методов расчета совпадение с теоретическими данными, приведенными в литературных источниках.

**Личный вклад автора.** В работах, опубликованных в соавторстве в изданиях, рекомендованных ВАК, все результаты, составляющие научную новизну и выносимые на защиту, получены автором лично.

**Апробация работы.** Основные результаты были доложены на II Международной научно-практической конференции «Пожарная безопасность: теория и практика – 2012» (Черкаси, Академия пожарной безопасности им. героев Чернобыля, 2012); XXI Международной научно-технической конференции «Системы безопасности – 2012» (Москва, Академия ГПС МЧС России, 2012); Международной научно-практической конференции Молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности 2012» (Москва, Академия ГПС МЧС России, 2012); Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию Академии ГПС МЧС России «Исторический опыт, современные проблемы и перспективы образовательной и научной деятельности в области обеспечения пожарной безопасности» (Москва, Академия ГПС МЧС России, 2013); VII Международной научно-практической конференции

«Полимерные материалы пониженной горючести 2013» (Южный федеральный университет, Таганрог); Международной научно-практической конференции Молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности 2014» (Москва, Академия ГПС МЧС России, 2014); Шестой российской национальной конференции по теплообмену (Москва, МЭИ, 2014); Международной научно-практической конференции Молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности 2015» (Москва, Академия ГПС МЧС России, 2015); XXV Международной научно-технической конференции «Системы безопасности – 2016» (Москва, Академия ГПС МЧС России, 2016); V Международной научно-практической конференции «Ройтмановские чтения – 2017» (Москва, Академия ГПС МЧС России, 2017); VIII Международной конференции «Полимерные материалы пониженной горючести» памяти академика Б.А. Жубанова (Алма-Ата, Казахский Национальный университет им. аль-Фараби, 2017); Международной конференции «Современные проблемы теплофизики и энергетики – 2017» (Москва, МЭИ, 2017).

**Публикации:** по результатам диссертационного исследования автором опубликовано 22 научные работы, в том числе 4 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК для опубликования результатов диссертационных исследований, 1 статья в международном рецензируемом журнале из перечня Scopus, 1 монография и 1 патент.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, списка литературы и приложения. Содержание работы изложено на 156 страницах машинописного текста, включает в себя 37 рисунков, 11 таблиц. Список литературы включает 124 наименования.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, проанализированы объект и предмет исследования, сформулированы цель и задачи исследования, приведены научная новизна работы и ее практическая значимость, положения, выносимые на защиту, достоверность полученных в результате экспериментов данные, апробация работы, приведено краткое содержание работы.

**В первой главе** диссертации «Анализ опасности токсичных газов при пожаре в производственных зданиях ГЭС» проведен обзор и анализ литературных источников, посвященных особенностям пожарной опасности производственных зданий ГЭС, методикам определения токсичности продуктов горения веществ и материалов, а также расчетным методам определения времени блокирования путей эвакуации токсичными продуктами горения.

Особенностями объемно-планировочных и конструктивных решений производственных зданий ГЭС, являющихся существенными для обеспечения пожарной безопасности, можно отнести развитое по вертикали пространство машинного зала, объединяющее различные уровни машинного зала в общий объем, наличие развитой системы помещений (производственного назначения, кабельных галерей, подагрегатных пространств и помещений силовых турбин), расположенной ниже уровня пола машинного зала.

Из проведенного анализа аварий на ГЭС были выявлены основные причины возникновения и дальнейшего распространения пожара. Показано, что наибольший риск возникновения пожара возникает при эксплуатации транс-



форматоров и масляного хозяйства с последующим выбросом масла и его воспламенением, а также в кабельных сетях различного назначения (силовые кабели, контрольные кабели, слаботочные кабели связи и сигнализации).

Объектами пожаров чаще всего становятся генераторы, кабельные каналы, электрооборудование, в том числе трансформаторы различного назначения, насосные установки.

Проведенный анализ объемно-планировочных и конструктивных решений производственных зданий ГЭС, а также находящейся пожарной нагрузки, показал, что в машинных залах и кабельных галереях ГЭС наиболее опасные сценарии развития пожара.

Выполнен анализ химического состава и токсичности продуктов горения горючих веществ и материалов, находящихся в производственных зданиях ГЭС. Определены наиболее опасные токсичные газы, выделяющиеся при пожарах: CO, CO<sub>2</sub>, HCN, CH<sub>2</sub>=CH-CHO, HCl и др.

Проанализированы подходы и принципы оценки токсичности продуктов горения веществ материалов. Рассмотрены современные отечественные и зарубежные методы испытаний веществ и материалов на токсичность продуктов горения. Выявлены существенные отличия методов и их недостатки.

К основным недостаткам существующих методов испытаний веществ и материалов на токсичность продуктов горения можно отнести:

- недостаточное количество точек измерений температуры внутри объема камеры, что исключает возможность достаточно точного определения среднеобъемной температуры газовой среды;

- необоснованность точки отбора газовой смеси для измерения концентраций газов, что не позволяет достаточно точно измерить среднеобъемные значения концентраций токсичных газов;

- отсутствие системы измерения потери массы образца при его термическом разложении во время проведения эксперимента, и, как следствие, отсутствие возможности определения удельных коэффициентов образования токсичных газов и удельной скорости выгорания материалов;

- не учитываются в полной мере другие токсичные газы, кроме CO.

Проведен анализ воздействия токсичных газов на организм человека. Рассмотрены критические величины концентраций, плотностей и токсодоз для различных токсичных газов, выделяющихся при горении веществ и материалов.

Выполнен анализ современных методов расчета необходимого времени эвакуации людей при пожаре в зданиях и сооружениях, в том числе расчета концентраций токсичных газов в помещениях и на путях эвакуации.

На основании обзора литературных источников сделаны следующие основные выводы:

- при проектировании и эксплуатации производственных зданий ГЭС проблемы безопасной эвакуации людей при пожаре являются наиболее острыми;

- выявленные недостатки существующих экспериментальных методов оценки токсичности продуктов горения и теоретических методов расчета времени блокирования путей эвакуации токсичными продуктами горения на пожарах в зданиях и сооружениях свидетельствуют о необходимости их совершенствования.

**Во второй главе** диссертации «Методы расчета концентраций токсичных газов на путях эвакуации при пожаре в производственных зданиях ГЭС» приведены разработанные модифицированные математические модели и методика расчета времени блокирования путей эвакуации токсичными продуктами горения при пожаре в производственных зданиях ГЭС.

Представлены основные уравнения и условия однозначности интегральной модели расчета термогазодинамики пожара в помещении.

В случае условно герметичного объема основные дифференциальные уравнения модели, выражающие законы сохранения массы и энергии газовой среды, а также массы токсичного газа и кислорода, имеют вид:

$$V \frac{d\rho_{\text{cp}}}{d\tau} = \Psi, \quad (1)$$

$$\rho_{\text{cp}} c_v V \frac{dT_{\text{cp}}}{d\tau} = \eta \Psi Q_{\text{н}}^{\text{p}} (1 - \phi), \quad (2)$$

$$V \frac{d\rho_{\text{г,ср}}}{d\tau} = \eta \Psi L, \quad (3)$$

$$V \frac{d\rho_{\text{O}_2,\text{ср}}}{d\tau} = -\eta \Psi L_{\text{O}_2}, \quad (4)$$

где  $T_{\text{cp}}$  – среднеобъемная температура газовой среды, К;  $V$  – объем помещения, м<sup>3</sup>;  $\tau$  – время, с;  $c_v$  – удельная изохорная теплоемкость газа, Дж/(кг·К);  $\rho_{\text{cp}}$  – среднеобъемная плотность газовой среды, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_{\text{г,ср}}$  – среднеобъемная плотность токсичного газа, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_{\text{O}_2,\text{ср}}$  – среднеобъемная плотность кислорода, кг/м<sup>3</sup>;  $\Psi$  – скорость газификации горючего материала, кг/с;  $L$  – удельный коэффициент выделения токсичного газа;  $L_{\text{O}_2}$  – удельный коэффициент потребления кислорода;  $Q_{\text{н}}^{\text{p}}$  – низшая рабочая теплота сгорания горючего материала, Дж/кг;  $\eta$  – полнота сгорания;  $\phi$  – коэффициент теплотерь, равный доле теплоты, выделившейся в очаге горения и поступающей в ограждающие конструкции помещения из всего объема помещения.

Начальные условия (при  $\tau = 0$ ) для дифференциальных уравнений (1) – (4):

$$T_{\text{cp}} = T_0; p_{\text{cp}} = p_0; X_{\text{O}_2,\text{ср}} = 0,23; X_{\text{г,ср}} = 0,$$

где  $T_0$  – температура в помещении перед пожаром, К;  $p_0$  – давление в помещении перед пожаром, Па.

В работах С.В. Пузача, Доан Вьет Мань (2011) показано, что среднеобъемная плотность токсичного газа (в частности, СО) может быть описана следующей зависимостью, полученной из аналитического решения уравнений (1) – (4) интегральной модели при  $\phi = \text{const}$  и  $L_{\text{CO}} = \text{const}$ :

$$\rho_{\text{CO}} = K \frac{L_{\text{CO}}}{Q_{\text{н}}^{\text{p}}}, \quad (5)$$

где  $K$  – коэффициент пропорциональности между среднеобъемной плотностью токсичного газа и отношением  $L_{\text{CO}}/Q_{\text{н}}^{\text{p}}$ , Дж/м<sup>3</sup>;  $L_{\text{CO}}$  – удельный коэффициент выделения СО;  $Q_{\text{н}}^{\text{p}}$  – низшая рабочая теплота сгорания горючего материала, Дж/кг.

Коэффициент пропорциональности не зависит от свойств горючего материала, размеров помещения и площади открытой поверхности горючего материала и является функцией только трех параметров, характеризующих термодинамическую картину пожара:

$$K = f(T_{cp}, T_b, \varphi), \quad (6)$$

где  $T_b$  – температура воздуха в помещении, К.

Для рассматриваемой условно герметичной схемы пожара:

$$K = \frac{2,5 \cdot 10^5 (T_{cp} - T_b)}{(1 - \varphi) T_b}. \quad (7)$$

Преобразуем выражение (5) к виду:

$$\rho_{CO} = \rho^* L_{CO}, \quad (8)$$

где  $\rho^* = K / Q_n^p$  – характерная плотность, зависящая только от схемы термогазодинамической картины пожара, теплофизических параметров пожара и горючего материала, кг/м<sup>3</sup>.

Полученная формула (8), выражающая зависимость среднеобъемной плотности СО от среднеобъемной температуры, не содержит геометрических размеров помещения и поверхностей горючих материалов и, следовательно, является справедливой в условиях как маломасштабного, так и крупномасштабного пожара в помещении.

Разработана методика расчета распространения токсичных газов при пожаре в производственных зданиях ГЭС, которая включает в себя следующие этапы:

- сбор исходных данных на основе анализа объемно-планировочных и конструктивных решений помещений;
- выбор наиболее опасных сценариев развития пожара;
- выбор математической модели расчета динамики ОФП;
- получение экспериментальных зависимостей плотностей токсичных газов от среднеобъемной температуры и величин удельных скоростей газификации горючих материалов, по которым нет данных в существующих базах данных пожарной нагрузки или определение удельных массовых коэффициентов образования токсичных газов;
- проведение расчетов на ЭВМ;
- анализ результатов расчета определения плотностей токсичных газов и использованием уравнения (8) динамики ОФП;
- определение времени блокирования путей эвакуации токсичными продуктами горения.

Таким образом, при практическом использовании предложенной методики расчета необходимо экспериментально определить зависимости среднеобъемных плотностей токсичных газов от температуры для конкретной пожарной нагрузки. После этого выполнить расчет зависимости среднеобъемной температуры (интегральная модель) или среднеобъемной температуры припотолочного слоя (зонная модель) от времени, в котором используются вышеуказанные зависимости с учетом поправки на коэффициент теплопотерь в полномасштабном помещении.

Основным отличием от существующих методик расчета является отсутствие необходимости решения дифференциального уравнения (3), в которое входит удельный коэффициент выделения токсичного газа.

В выводах по второй главе приведены рекомендации по использованию предложенных математических моделей для определения времени блокирования путей эвакуации токсичными продуктами горения при пожаре в производственных зданиях ГЭС.

**В третьей главе** диссертации «Экспериментальная установка для определения пожарной опасности веществ и материалов при их термическом разложении» представлено научное обоснование конструктивной схемы новой экспериментальной установки и приведено описание установки и методики проведения экспериментов.

Выполнена постановка задачи экспериментального определения зависимости среднеобъемной плотности токсичного газа от среднеобъемной температуры в маломасштабной экспериментальной установке.

Предложено усовершенствование стандартного метода испытаний на токсичность продуктов горения по ГОСТ 12.1.044–89 п.4.20, устраняющее основные его недостатки, перечисленные ранее в главе 1 диссертации.

Разработана экспериментальная установка, реализующая схему пожара в условно герметичном маломасштабном объеме.

Схема и фотография новой экспериментальной установки представлены, соответственно, на рисунках 1 и 2.

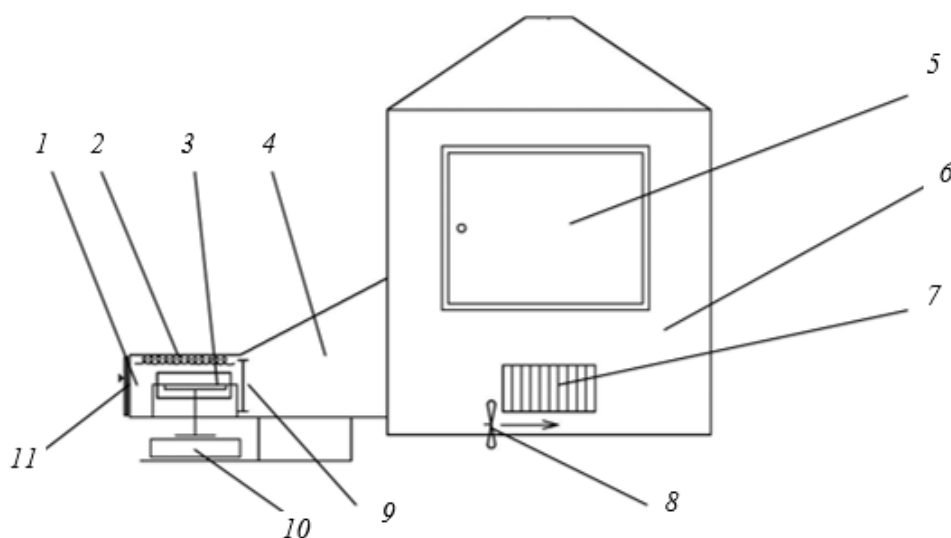


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки: 1 – камера сгорания, 2 – электронагревательный излучатель; 3 – держатель образца; 4 – переходной рукав; 5 – дверца экспозиционной камеры; 6 – экспозиционная камера; 7 – шибберные отверстия; 8 – вентилятор; 9 – заслонка (перегородка) переходного рукава; 10 – весы; 11 – дверца камеры сгорания

Для непрерывного контроля температуры в экспозиционной камере использовались низко инерционные термодатчики в количестве 27 штук с диапазоном измерений от  $-40$  до  $+1100$  °С с погрешностью не более  $\pm 1,1$  °С.

Для контроля плотности теплового потока, падающего на испытуемый образец, использовался водоохлаждаемый датчик типа Гордона и регистрирующий прибор с диапазоном измерений от 0 до 100 мВ. Погрешность измерения плотности теплового потока не превышает  $\pm 8$  %.

Для непрерывного контроля состава газовой среды в экспозиционной камере использовался многоканальный газоанализатор, измеряющий концентрацию оксида углерода с диапазоном измерений от 0 до 1 % об. и допустимой погрешностью  $\pm 10\%$ , диоксида углерода с диапазоном измерений от 0 до 5 % об. и допустимой погрешностью  $\pm 10\%$ , кислорода с диапазоном измерений от 0 до 21 % об. и допустимой погрешностью  $\pm 10\%$  об.



Рисунок 2 – Общий вид установки для определения пожарной опасности веществ и материалов при их термическом разложении

Горючие материалы испытывались в режиме пламенного горения. Режим пламенного горения обеспечивается при температуре испытания  $750\text{ }^{\circ}\text{C}$  (плотность падающего теплового потока  $60\text{ кВт/м}^2$ ).

Был выбран режим пламенного горения, так как при нем в отличие от режима тления происходит более быстрое распространение ОФП по помещению.

Предварительно кондиционированный и взвешенный образец материала помещался в специальный держатель образца (вкладыш).

После выхода электронагревательного излучателя на стабилизированный режим открывают дверцу камеры сгорания и помещают без задержки вкладыш с образцом в держатель образца в установке, после чего дверцу камеры сгорания закрывают, открывают заслонку переходного рукава и подвергают образец термическому разложению.

В процессе испытаний регистрируют показания концентраций  $\text{CO}$  (% об.),  $\text{CO}_2$  (% об.),  $\text{O}_2$  (% об.) с периодичностью 3 секунды, среднеобъемной температуры в экспозиционной камере  $T$  ( $^{\circ}\text{C}$ ), изменение массы образца при испытаниях  $\Delta m$  (г).

Удельный коэффициент выделения монооксида углерода в каждый момент времени определяется по формуле:

$$L_{\text{CO}} = \frac{V}{\Psi} \frac{d\rho_{\text{CO}}}{d\tau}, \quad (9)$$

где  $V$  – внутренний объем установки,  $\text{м}^3$ .

Проведено экспериментальное обоснование нахождения места отбора газовой смеси в герметичном объеме камеры, в которой плотность  $\text{CO}$  равна ее среднеобъемному значению. При этом предполагается, что в этом месте локальные значения всех параметров равны их среднеобъемным значениям.

Получены зависимости локальных и среднеобъемных температур от времени горения древесины (сосна), по которым определено место расположения термопары с локальной температурой, совпадающей со среднеобъемной температурой в каждый момент времени. По результатам испытаний установлено, что место отбора проб газовой среды должно находиться на половине высоты экспериментальной камеры напротив переходного рукава установки.

В выводах по третьей главе отмечено отличие с научной и практической точек зрения разработанной экспериментальной установки от аналогичных установок по измерению токсичности продуктов горения веществ и материалов и возможности ее использования для расчета времени блокирования путей эвакуации токсичными продуктами горения.

**В четвертой главе** «Исследование времени блокирования путей эвакуации токсичными продуктами горения в производственных зданиях ГЭС на примере монооксида углерода» представлены исходные данные и результаты натуральных и численных экспериментов по прогнозированию динамики ОФП в модельном производственном здании ГЭС.

Приведены исходные данные для математического моделирования распространения токсичных газов при пожаре в производственных зданиях ГЭС.

Рассматривались горючие материалы, характерные для производственных зданий ГЭС: хвойные древесные строительные материалы, оболочка кабелей ПВХ и масло трансформаторное.

Критическое значение плотности СО равно  $\rho_{\text{СО.кр}} = 1,16 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$ .

Эксперименты проводились до среднеобъемной температуры газовой смеси, не превышающей критического значения для человека, равного  $70^\circ\text{C}$ .

Представлены результаты экспериментальных исследований по определению основных характеристик образования и распространения монооксида углерода.

На рисунке 3 представлены зависимости среднеобъемной плотности СО от повышения среднеобъемной температуры в случае горения хвойных древесных строительных материалов, на рисунке 4 – при горении трансформаторного масла и на рисунке 5 – оболочки кабелей ПВХ.

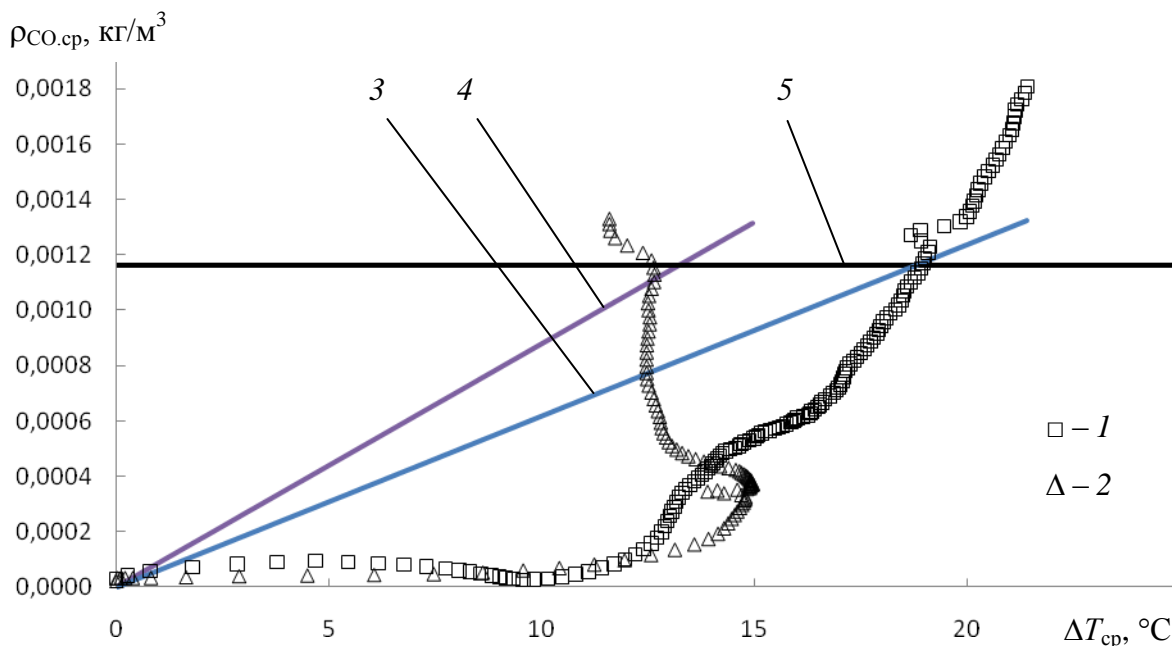


Рисунок 3 – Зависимости среднеобъемной плотности СО от повышения среднеобъемной температуры при горении хвойных древесных строительных материалов (экспериментальные значения):  
 1 –  $F=0,0072 \text{ м}^2$ ; 2 –  $F=0,0145 \text{ м}^2$ ; расчет по формуле (8): 3 –  $\varphi=0,97, F=0,0072 \text{ м}^2$ ;  
 4 –  $\varphi=0,98, F=0,0145 \text{ м}^2$ ; 5 –  $\rho_{\text{СО.кр}}$ ;  $F$  – площадь поверхности образца,  $\text{м}^2$

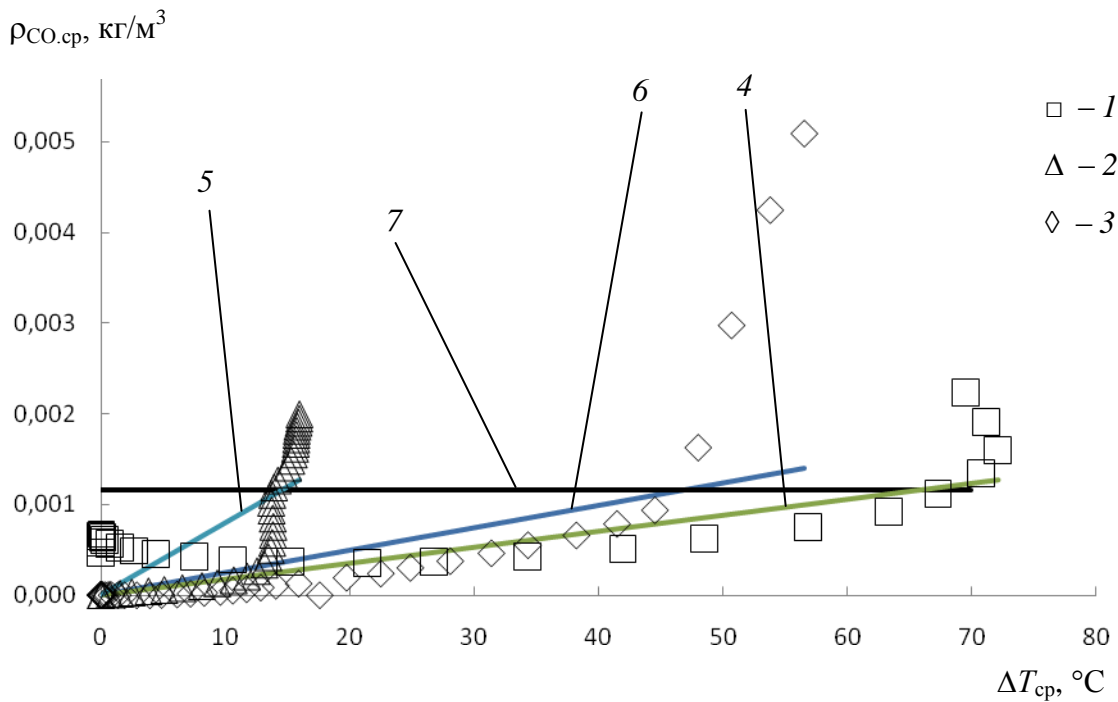


Рисунок 4 – Зависимости среднеобъемной плотности СО от повышения среднеобъемной температуры при горении трансформаторного масла ( $F=0,01 \text{ м}^2$ ) (экспериментальные значения):  
 1 –  $\delta=2,85 \text{ мм}$ ; 2 –  $\delta=1,15 \text{ мм}$ ; 3 –  $\delta=7,3 \text{ мм}$ ; расчет по формуле (8): 4 –  $\varphi=0,88$ ; 5 –  $\varphi=0,97$ ;  
 6 –  $\varphi=0,90$ ; 7 –  $\rho_{\text{CO,кр}}$ ;  $\delta$  – толщина слоя трансформаторного масла в кювете, мм

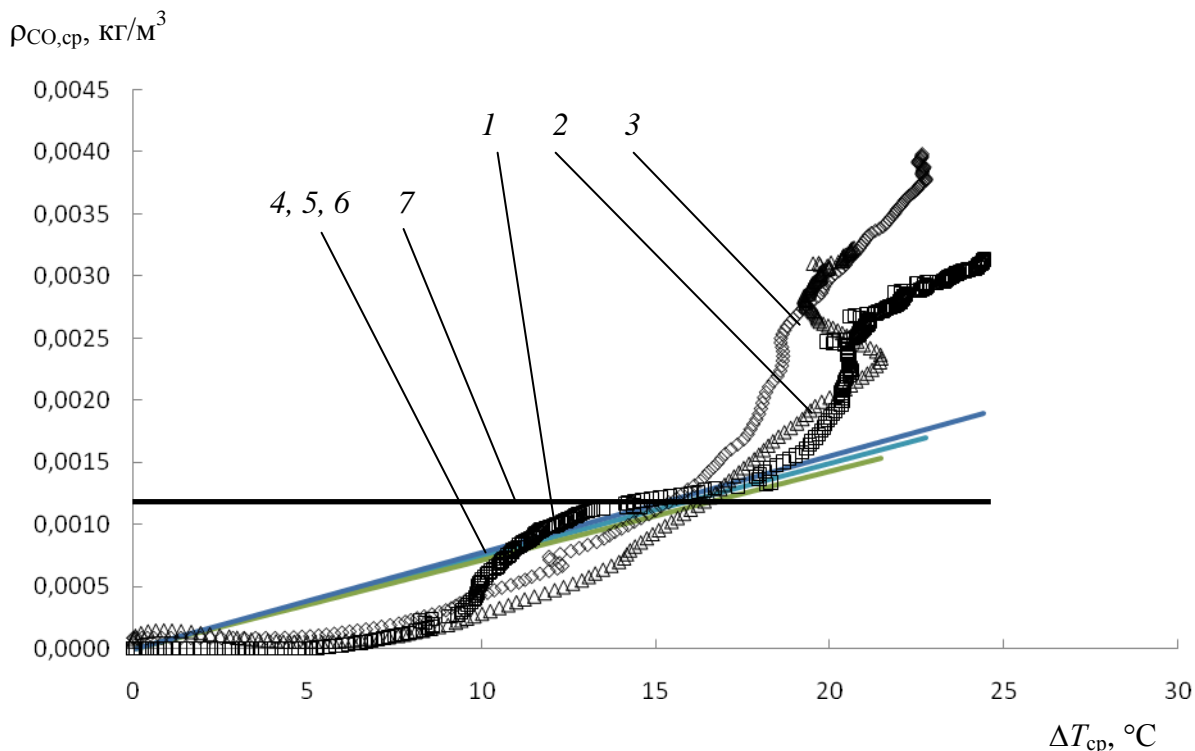


Рисунок 5 – Зависимости среднеобъемной плотности СО от повышения среднеобъемной температуры при горении оболочки кабелей ПВХ (экспериментальные значения):  
 1 –  $\varphi=0,97$ ,  $F=0,0067 \text{ м}^2$ ; 2 –  $\varphi=0,97$ ,  $F=0,0059 \text{ м}^2$ ; 3 –  $\varphi=0,98$ ,  $F=0,012 \text{ м}^2$ ;  
 расчет по формуле (8): 4 –  $F=0,0067 \text{ м}^2$ ; 5 –  $F=0,0059 \text{ м}^2$ ; 6 –  $F=0,012 \text{ м}^2$ ; 7 –  $\rho_{\text{CO,кр}}$

При расчете по формуле (8) величина  $Q_n^p$  принималась по базе данных пожарной нагрузки (Ю.А. Кошмаров, 2000), а среднее значение  $L_{CO}$  – по результатам проведенных экспериментов.

Зависимости удельной массовой скорости газификации ( $\psi_{уд}$ , кг/(с·м<sup>2</sup>)) горючего материала от времени с начала горения приведены на рисунке 6.

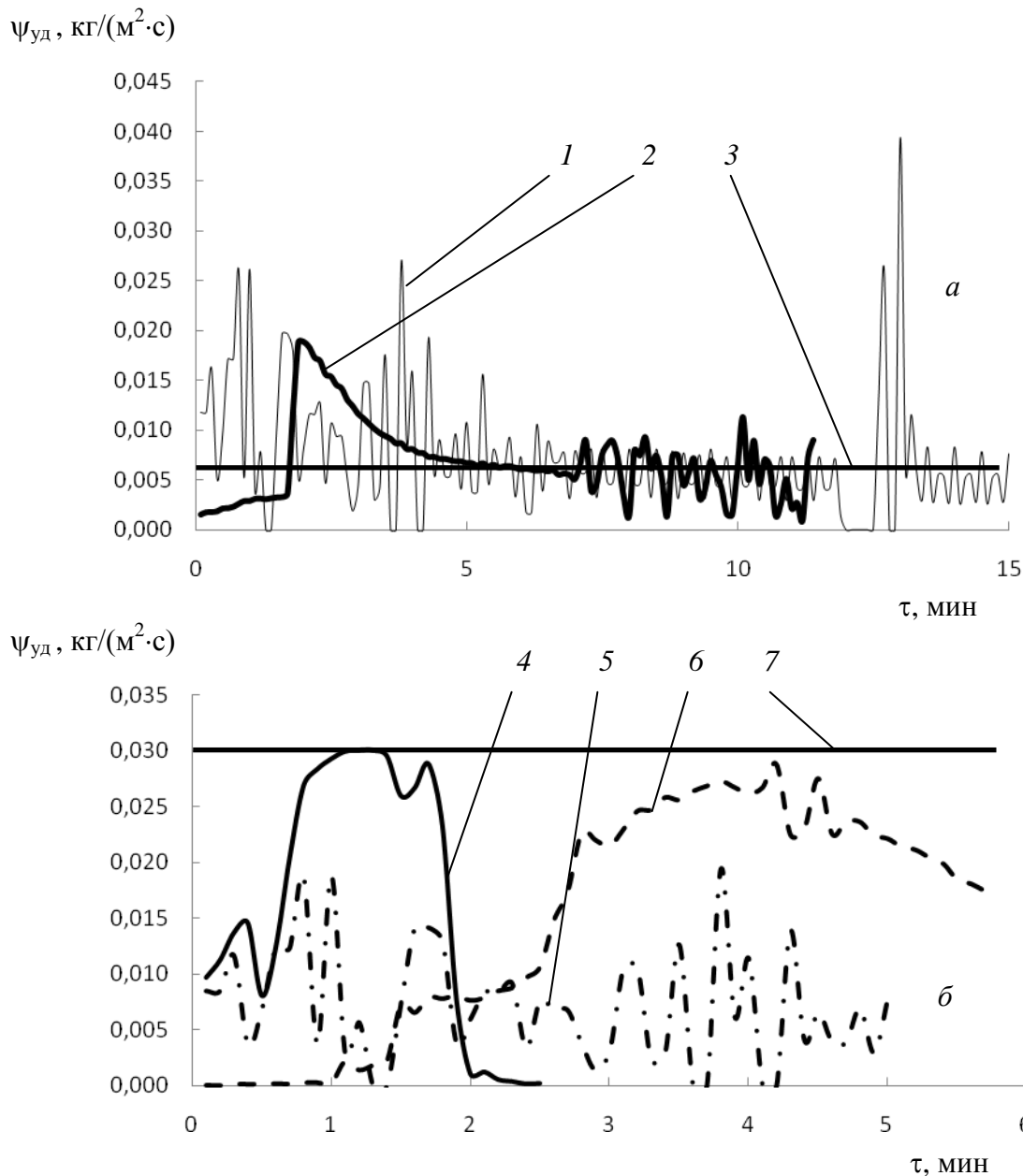


Рисунок 6 – Зависимости удельной массовой скорости газификации горючего материала от времени с начала горения: а) хвойные древесные стройматериалы:

1 –  $F = 0,0072$  м<sup>2</sup>; 2 –  $F = 0,0145$  м<sup>2</sup>; 3 –  $\psi_{уд} = 0,0063$  кг/(м<sup>2</sup>·с) (Ю.А. Кошмаров, 2010);

б) трансформаторное масло: 4 –  $\delta = 2,85$  мм; 5 –  $\delta = 1,15$  мм; 6 –  $\delta = 7,3$  мм;

7 –  $\psi_{уд} = 0,03$  кг/(м<sup>2</sup>·с) (Ю.А. Кошмаров, 2010)

Средние за время проведения экспериментов значения  $\psi_{уд}$  составляли:

– хвойные древесные стройматериалы:  $\psi_{уд} = 0,0072$  и  $0,0068$  кг/(с·м<sup>2</sup>) ( $\psi_{уд} = 0,0063$  кг/(с·м<sup>2</sup>) – Ю.А. Кошмаров, 2010);



– оболочка кабелей ПВХ: данные не получены из-за неопределенности площади горения;

– масло трансформаторное:  $\psi_{уд} = 0,022; 0,007$  и  $0,018$  кг/(с·м<sup>2</sup>) ( $\psi_{уд} = 0,03$  кг/(с·м<sup>2</sup>) – Ю.А. Кошмаров, 2010).

Существенные различия в величинах  $\psi_{уд}$  при горении трансформаторного масла объясняются разной толщиной слоя масла в кювете.

На рисунке 7 показаны зависимости от времени удельных коэффициентов образования СО. Средние по времени проведения экспериментов значения  $L_{CO}$  представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Средние по времени проведения экспериментов значения  $L_{CO}$

Горючие материалы	Условия проведения эксперимента	Время осреднения $L_{CO}$ , мин.	$\rho_{CO}$ в конце промежутка осреднения, кг/м <sup>3</sup>	Средняя величина $L_{CO}$	$L_{CO}$ (Ю.А. Кошмаров, 2010)
Хвойные древесные строительные материалы	$F=0,0072$ м <sup>2</sup>	11,6	$1,16 \cdot 10^{-3}$	0,017	0,024
		15,0	$1,81 \cdot 10^{-3}$	0,029	
	$F=0,0145$ м <sup>2</sup>	8,0	$5,0 \cdot 10^{-4}$	0,006	
		10,9	$1,16 \cdot 10^{-3}$	0,011	
Оболочка кабелей ПВХ	$F=0,0067$ м <sup>2</sup>	12,7	$1,16 \cdot 10^{-3}$	0,032	0,109
		27,9	$3,0 \cdot 10^{-3}$	0,028	
	$F=0,012$ м <sup>2</sup>	7,6	$1,16 \cdot 10^{-3}$	0,035	
		20,0	$3,0 \cdot 10^{-3}$	0,05	
Масло трансформаторное	$F=0,01$ м <sup>2</sup> $\delta=1,15$ мм	3,5	$1,16 \cdot 10^{-3}$	0,042	0,122
		5,0	$2,0 \cdot 10^{-3}$	0,056	
	$F=0,01$ м <sup>2</sup> $\delta=7,3$ мм	5,4	$1,16 \cdot 10^{-3}$	0,012	
		5,7	$5,1 \cdot 10^{-3}$	0,061	

Анализ данных таблицы 1 показывает, что в зависимости от времени осреднения величина  $L_{CO}$  может изменяться в случае горения хвойных древесных строительных материалов в 2,63 раза, для оболочки кабелей ПВХ – в 1,8 раза и масла трансформаторного – в 5,1 раза.

Существенное отличие величин  $L_{CO}$  от представленных в учебном пособии Ю.А. Кошмарова «Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении» (2010) можно объяснить, как в различии условий проведения экспериментов, так и тем, что химический состав оболочки кабелей ПВХ и масла трансформаторного в данных экспериментах и в вышеуказанной работе может значительно отличаться друг от друга. Кроме того, в данных опытах не измерялась влажность хвойных древесных строительных материалов.

Необходимо отметить, что проведенные эксперименты на маломасштабной установке в условно герметичном объеме показали, что величины удельных коэффициентов выделения СО значительно изменяются во времени с начала горения и их средние величины существенно зависят от периода осреднения по времени испытаний.

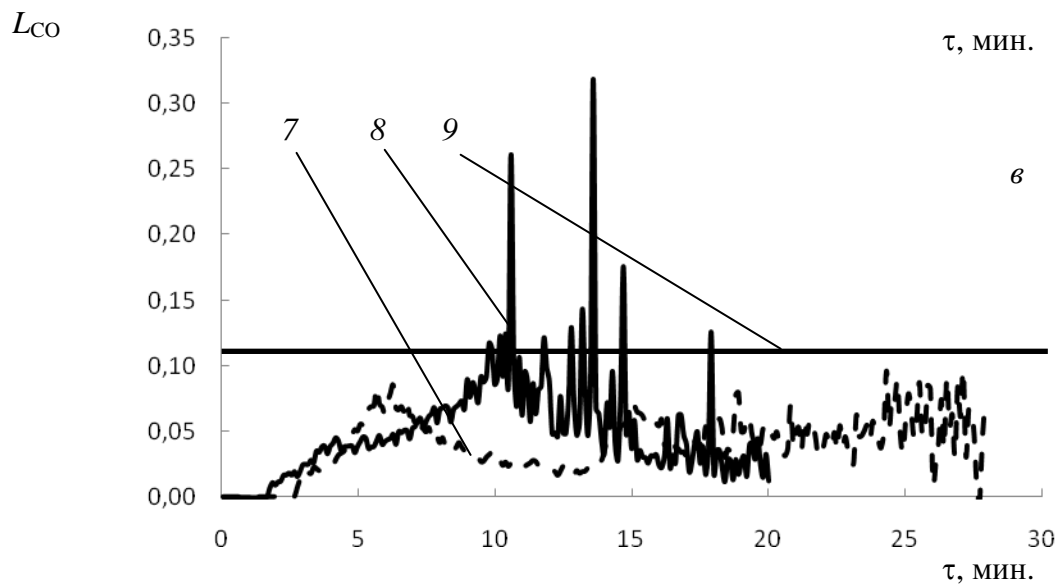
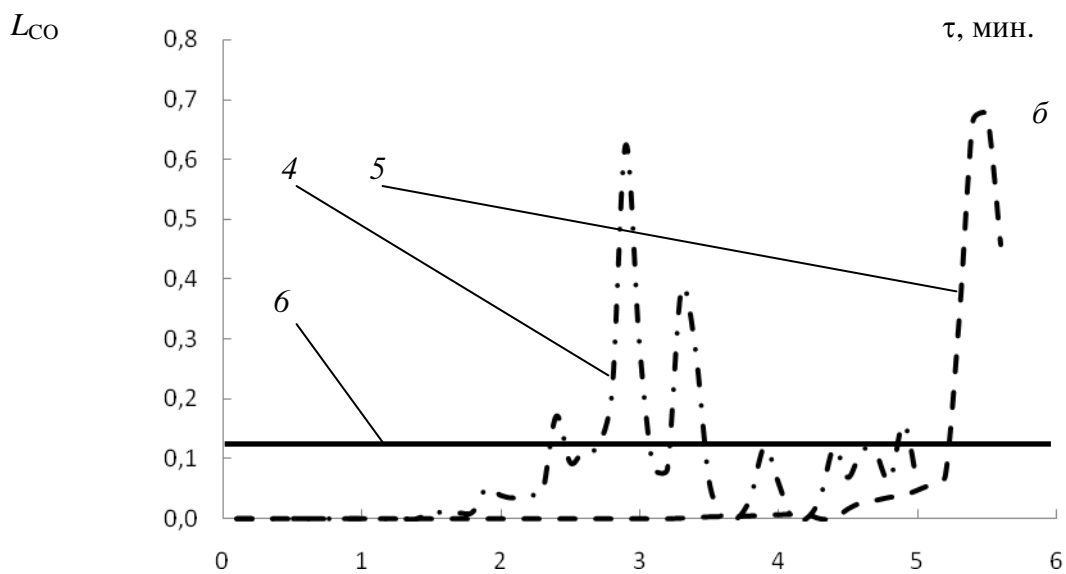
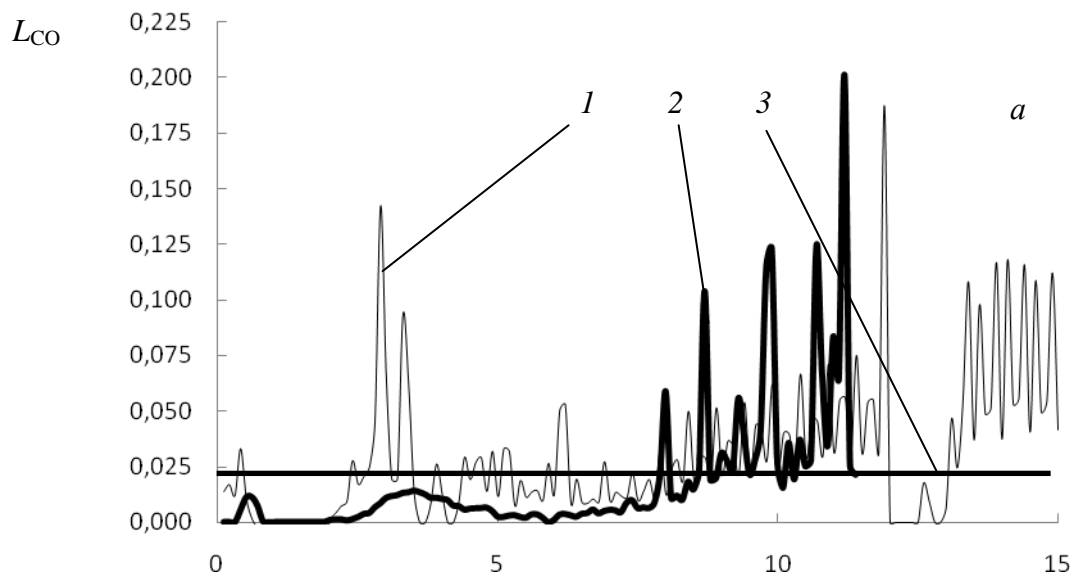


Рисунок 7 – Зависимости удельных коэффициентов образования СО от времени с начала горения: а) хвойные древесные стройматериалы: 1 –  $F = 0,0072 \text{ м}^2$ ; 2 –  $F = 0,0145 \text{ м}^2$ ; 3 –  $L_{\text{CO}} = 0,024$  (Ю.А. Кошмаров, 2010); б) трансформаторное масло: 4 –  $\delta = 1,15 \text{ мм}$ ; 5 –  $\delta = 7,3 \text{ мм}$ ; 6 –  $L_{\text{CO}} = 0,122$  (Ю.А. Кошмаров, 2010); в) оболочка кабелей ПВХ: 7 –  $F = 0,0067 \text{ м}^2$ ; 8 –  $F = 0,012 \text{ м}^2$ ; 9 –  $L_{\text{CO}} = 0,109$  (Ю.А. Кошмаров, 2010)

Для проверки точности предложенной зависимости (8) был проведен расчет термогазодинамики пожара в полномасштабных помещениях производственного здания Нижегородской ГЭС с использованием трехмерной полевой модели пожара (С.В. Пузач, 2006).

На рисунке 8 представлена фотография машинного зала Нижегородской ГЭС.

Для проведения численных экспериментов по прогнозированию динамики ОФП в производственном здании Нижегородской ГЭС рассматривались два сценария пожара:

- горение турбинного масла в машинном зале с размерами 264×28×20 м;
- горение оболочки кабелей ПВХ в кабельной галерее с размерами 46×4,3×2,4 м, расположенной ниже уровня машинного зала.

В выражении (8) в качестве поправки при переходе от маломасштабного объема к полномасштабному помещению машинного зала принималось среднее значение коэффициента теплопотерь  $\varphi_{МЗ} = 0,3$ , которое было получено при проведении численных экспериментов с использованием полевой модели. В маломасштабной установке при горении турбинного масла была получена средняя величина  $\varphi_3 = 0,97$ .

В случае пожара в кабельной галерее  $\varphi_К = 0,92$  (полевая модель) и  $\varphi_3 = 0,98$  (оболочка кабелей ПВХ).



Рисунок 8 - Общий вид машинного зала Нижегородской ГЭС

На рисунке 9 представлены зависимости среднеобъемной плотности СО от среднеобъемной температуры, полученные с использованием предложенного подхода (выражение (8)) и полевой математической модели расчета термогазодинамики пожара (С.В. Пузач, 2006).

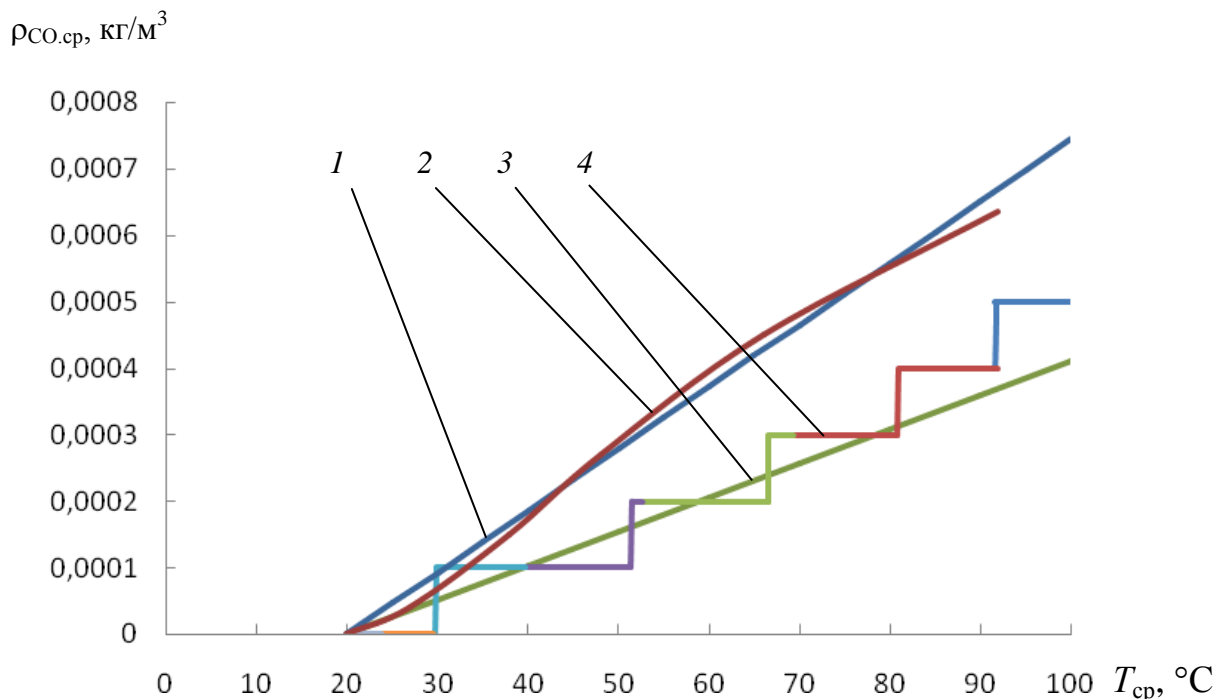


Рисунок 9 – Зависимости среднеобъемной плотности СО от среднеобъемной температуры: кабельная галерея (оболочка кабелей ПВХ): 1 – формула (8); 2 – полевая модель; машинный зал (турбинное масло): 3 – формула (8); 4 – полевая модель

Из рисунка 9 видно, что зависимости среднеобъемной плотности от среднеобъемной температуры в маломасштабной экспериментальной установке и в полномасштабном помещении совпадают с погрешностью, не превышающей 20 %.

Можно сделать вывод о том, что результаты экспериментальных исследований в маломасштабном объеме (для рассмотренных исходных данных) – аналитическое выражение (8) позволяют проводить расчет среднеобъемной плотности монооксида углерода и распространять их на полномасштабное помещение с учетом поправки на коэффициент теплопотерь.

Таким образом, предложенный подход (выражение (8)) позволяет учесть масштабный фактор, т.е. существенное отличие размеров помещений.

В выводах по четвертой главе отмечена научная и практическая новизна и значимость полученных результатов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основе проведения теоретических исследований:

– выявлены основные причины возникновения и дальнейшего распространения пожара в производственном здании ГЭС, а также наиболее опасные горючие материалы (трансформаторное и турбинное масло, оболочки кабелей, древесина);

– показаны существенные недостатки стандартного метода испытаний на токсичность продуктов горения, которые ограничивают использование его результатов при расчете концентраций токсичных газов при пожаре в полномасштабном помещении;

– выявлены недостатки современных методов расчета времени блокирования путей эвакуации токсичными продуктами горения, которые не позволяют достаточно достоверно учитывать свойства горючих материалов и масштабный фактор (ограниченное количество горючих материалов в базе типовой пожарной нагрузки, постоянная величина коэффициентов образования токсичных газов, отсутствие обоснования переноса экспериментальных данных, полученных в маломасштабной установке, на полномасштабное помещение).

2. Разработана экспериментальная установка, реализующая условно герметичную схему термогазодинамики пожара и в отличие от «стандартного» метода испытаний на токсичность продуктов горения позволяет:

– более точно измерять среднеобъемные значения температуры (значительное увеличение количества точек измерений) и плотностей токсичных газов (обоснована точка отбора газовой смеси);

– измерить удельную скорость выгорания веществ и материалов;

– определить удельные коэффициенты образования токсичных газов;

– использовать полученные на ней экспериментальные данные для расчета времени блокирования путей эвакуации токсичными продуктами горения.

3. Впервые получены экспериментальные зависимости среднеобъемной плотности монооксида углерода от среднеобъемной температуры, а также удельных коэффициентов образования монооксида углерода и удельных массовых скоростей газификации от времени испытаний при горении веществ и материалов используемых на гидроэлектростанциях.

4. Предложены и обоснованы модификации интегральной и зонной математических моделей, использующие экспериментальные зависимости плотностей токсичных газов от температуры, а также удельных скоростей выгорания материалов и удельных коэффициентов образования токсичных газов от времени испытаний в маломасштабной установке.

Разработанные модификации позволяют рассчитать время блокирования путей эвакуации токсичными продуктами горения в полномасштабных помещениях производственных зданий ГЭС, используя результаты маломасштабных экспериментов с учетом поправки на коэффициент теплопотерь в полномасштабном помещении (формула (7)), не решая уравнение (3) закона сохранения массы токсичного газа.

5. Разработана методика расчета времени блокирования путей эвакуации токсичными продуктами горения с использованием модифицированных интегральных и зонных моделей.

6. Экспериментальные исследования показали, что удельные скорости выгорания материалов и удельные коэффициенты выделения токсичных газов существенно зависят от времени горения в маломасштабной установке.

Установлено, что средние величины вышеуказанных параметров существенно зависят от времени осреднения и значительно отличаются от значений, приведенных в современных базах данных пожарной нагрузки. Так, например, осреднения величина  $L_{CO}$  может изменяться в случае хвойных древесных стройматериалов в 2,63 раза, для оболочки кабелей ПВХ – в 1,8 раза и трансформаторного масла – в 5,1 раза.

7. Разработаны научно обоснованные практические рекомендации по расчету времени блокирования путей эвакуации токсичными продуктами горения при пожаре для людей без средств индивидуальной защиты с учетом объемно-планировочных и конструктивных особенностей производственных зданий ГЭС.

#### **Основные положения диссертации опубликованы в следующих ведущих периодических изданиях, включенных в список ВАК РФ**

1. Пузач, С.В. Повышение достоверности экспериментальных методов определения показателя токсичности веществ и материалов [Текст] / С.В. Пузач, Е.В. Сулейкин, Р.Г. Акперов, В.И. Дутов // Пожаровзрывобезопасность. – 2013. – Т. 22, № 2. – С. 29–37.

2. Пузач, С.В. Об экспериментальной оценке токсичности продуктов горения при пожаре в помещении [Электронный ресурс] / С.В. Пузач, Е.В. Сулейкин, Р.Г. Акперов, В.Г. Пузач // Технологии техносферной безопасности. – 2013. – № 4. Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb/2013-4/2013-4.html>.

3. Акперов, Р.Г. Выделение и распространение токсичных продуктов горения при пожарах в зданиях ГЭС [Текст] / Р.Г. Акперов, С.В. Пузач // Известия Южного Федерального университета. Технические науки. – 2013. – № 8. – С. 256–258.

4. Пузач, С.В. Экспериментальное определение удельного коэффициента образования монооксида углерода при пожаре в помещении [Текст] / С.В. Пузач, Р.Г. Акперов // Пожаровзрывобезопасность. – 2016. – Т.25, № 5. – С. 18–25.

#### **Остальные публикации по теме диссертации**

5. Пузач, С.В. Совершенствование методов испытаний веществ и материалов на токсичность [Текст] / С.В. Пузач, Е.В. Сулейкин, Р.Г. Акперов // Материалы II Международной научно-практической конференции «Пожарная безопасность: теория и практика – 2012». – Черкаси.: Академия пожарной безопасности им. героев Чернобыля, 2012. – С. 38–41.

6. Пузач, С.В. Повышение достоверности методов испытаний веществ и материалов на токсичность [Текст] / С.В. Пузач, Е.В. Сулейкин, Р.Г. Акперов // Материалы двадцать первой научно-технической конференции «Системы безопасности – 2012». – М.: Академия ГПС МЧС России, 2012. – С. 22–24.

7. Пузач, С.В. Экспериментальное и теоретическое исследование распространения токсичных продуктов горения при пожарах в производственных

зданиях гидроэлектростанций [Текст] / С.В. Пузач, Р.Г. Акперов // Материалы международной научно-практической конференции Молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности – 2013». – М.: Академия ГПС МЧС России, 2013. – С. 130–132.

8. Пузач, С.В. О подобии процессов тепло- и массообмена при пожаре в помещении [Текст] / С. В. Пузач, Е.В. Сулейкин, О.С. Лебедченко, Р.Г. Акперов // Материалы международной научно-практической конференции посвященной 80-летию Академии ГПС МЧС России «Исторический опыт, современные проблемы и перспективы образовательной и научной деятельности в области обеспечения пожарной безопасности». – М.: Академия ГПС МЧС России, 2013. – С. 157–162.

9. Акперов, Р.Г. Анализ современных методов определения токсичности веществ и материалов [Текст] / Р.Г. Акперов, Е.В. Лендель // Материалы международной научно-практической конференции Молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности – 2014». – М.: Академия ГПС МЧС России, 2014. – С. 234–235.

10. Сулейкин, Е.В. Определение показателей токсичности и удельного коэффициента выделения газообразных продуктов горения веществ и материалов [Текст] / Е.В. Сулейкин, Р.Г. Акперов // Материалы международной научно-практической конференции Молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности – 2014». – М.: Академия ГПС МЧС России, 2014. – С. 213–215.

11. Пузач, С.В. Влияние температуры и граничных условий теплообмена на величину показателя токсичности при пожаре в помещении [Текст] / С.В. Пузач, Е.В. Сулейкин, Р.Г. Акперов, В.Г. Пузач // Материалы шестой российской национальной конференции по теплообмену. – М.: МЭИ, 2014. – С. 483–486.

12. Акперов, Р.Г. Экспериментальное определение среднеобъемной плотности токсичного газа с целью расчета показателя токсичности веществ и материалов [Текст] / Р.Г. Акперов // Материалы международной научно-практической конференции Молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности – 2015». – М.: Академия ГПС МЧС России, 2015. – С. 164–168.

13. Пузач, С.В. Зависимость среднеобъемной плотности монооксида углерода от среднеобъемной температуры при пожаре в производственном здании ГЭС [Текст] / С.В. Пузач, Р.Г. Акперов // Материалы двадцать пятой научно-технической конференции «Системы безопасности – 2016». – М.: Академия ГПС МЧС России, 2016. – С. 256–258.

14. Акперов, Р.Г. Экспериментальное определение удельных коэффициентов выделения монооксида углерода и удельных массовых скоростей газификации при горении древесины, трансформаторного масла и оболочек кабелей из ПВХ [Текст] / Р.Г. Акперов, С.В. Пузач // Материалы международной научно-практической конференции Молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности – 2017». – М.: Академия ГПС МЧС России, 2017. – С. 160–164.

15. Пузач, С.В. Экспериментальное определение зависимости среднеобъемной плотности монооксида углерода от повышения среднеобъемной температуры при горении веществ и материалов [Текст] / С.В. Пузач, Р.Г. Акперов // Материалы V Международной научно-практической конференции «Ройтмановские чтения – 2017». – М.: Академия ГПС МЧС России, 2017. – С. 66–68.

16. Пузач, С.В. Сравнительный анализ экспериментальных пожароопасных характеристик веществ и материалов с представленными в базе данных типовой пожарной нагрузки [Текст] / С.В. Пузач, Е.В. Сулейкин, Р.Г. Акперов, В.М. Мустафин // Материалы VIII международной конференции «Полимерные материалы пониженной горючести» памяти академика Жубанова Б.А. – Алма-Ата.: Казахский Национальный университет им. аль-Фараби, 2017. – С. 194–197.

17. Пузач, С.В. Некоторые проблемы расчета времени блокирования путей эвакуации токсичными продуктами горения [Текст] / С.В. Пузач, Е.В. Сулейкин, Р.Г. Акперов, Т.Д. Нгуен // Материалы VIII международной конференции «Полимерные материалы пониженной горючести» памяти академика Жубанова Б.А. – Алма-Ата.: Казахский Национальный университет им. аль-Фараби, 2017. – С. 198–203.

18. Пузач, С.В. Сравнительный анализ времени блокирования путей эвакуации при математическом моделировании пожара в зданиях и сооружениях на основе новых экспериментальных данных [Текст] / С.В. Пузач, Е.В. Сулейкин, Р.Г. Акперов, В.М. Мустафин // Материалы VIII международной конференции «Полимерные материалы пониженной горючести» памяти академика Жубанова Б.А. – Алма-Ата.: Казахский Национальный университет им. аль-Фараби, 2017. – С. 204–208.

19. Пузач, С.В. Экспериментально-теоретический подход к расчету плотности монооксида углерода на начальной стадии пожара в помещении [Текст] / С.В. Пузач, Е.В. Сулейкин, Р.Г. Акперов, Нгуен Тат Дат // Материалы международной конференции «Современные проблемы теплофизики и энергетики – 2017». – М.: МЭИ. – С. 213–215.

20. Образование, распространение и воздействие на человека токсичных продуктов горения при пожаре в помещении: монография / под ред. С. В. Пузача; С.В. Пузач, В.М. Доан, Т.Д. Нгуен, Е.В. Сулейкин, Р.Г. Акперов – М.: Академия ГПС МЧС России, 2017. – 130 с.

21. Puzach, S.V. Experimental-theoretical approach to carbon monoxide density calculation at the incipient stage of the fire indoors / S.V. Puzach, E.V. Suleykin, R.G. Akperov, T.D. Nguyen. Journal of Physics: Conference Series 891 (2017) 012099. P. 213–215.

### Патенты

22. Патент Российской Федерации на полезную модель № 174688. Установка для определения пожарной опасности конденсированных материалов при их термическом разложении / патентообладатели: Сулейкин Е.В., Акперов Р.Г., Пузач С.В.; авторы: Сулейкин Е.В., Акперов Р.Г., Пузач С.В.; заявка 20.04.2017; регистрация 26.10.2017; Бюллетень № 30–2017.

Подписано в печать 21.06.2018. Формат 60×84 1/16  
Печать офсетная. Печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ № 747  
Академия ГПС МЧС России. 129366 г. Москва, ул. Б. Галушкина, 4