



ИГЭС

Институт
гидротехнического
и энергетического
строительства

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ КОМПЛЕКСНОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ, ТЕНДЕНЦИИ
РАЗВИТИЯ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ**

Сборник докладов
Всероссийской научно-практической конференции

(г. Москва, 6 декабря 2023 года)

© ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ», 2024

ISBN 978-5-7264-3376-9

Москва
Издательство МИСИ – МГСУ
2024

- А43 **Актуальные проблемы комплексной безопасности в строительстве, тенденции развития в современных условиях** [Электронный ресурс] : сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции (г. Москва, 6 декабря 2023 года) / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, институт гидроэнергетического строительства, кафедра комплексной безопасности в строительстве. — Электрон. дан. и прогр. (2,6 Мб). — Москва: Издательство МИСИ – МГСУ, 2024. — URL: <https://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkr-dostupa/>. — Загл.с титул. экрана.
ISBN 978-5-7264-3376-9

В сборнике содержатся доклады Всероссийской научно-практической конференции, организованной кафедрой комплексной безопасности в строительстве, проходившей 6 декабря 2023 года в НИУ МГСУ.

Для аспирантов, научных работников, преподавателей строительных вузов.

Научное электронное издание

*Материалы публикуются в авторской редакции.
Авторы опубликованных материалов несут ответственность за
достоверность приведенных в них сведений.*

Ответственная за выпуск *В.М. Черкина*

Кафедра комплексной безопасности в строительстве
Институт гидротехнического и энергетического строительства
(ИГЭС НИУ МГСУ)
Тел.: +7 (495) 287-49-14, доб. 3066
E-mail: ICA_kbs@mgsu.ru
Сайт: <https://mgsu.ru/universityabout/Struktura/Kafedri/KBS/>

Для создания электронного издания использовано:
Microsoft Word 2013, ПО Adobe Acrobat

Подписано к использованию 05.03.2024. Объем данных 2,6 Мб.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет».
129337, Москва, Ярославское ш., 26.

Издательство МИСИ – МГСУ.
Тел.: +7 (495) 287-49-14, вн. 14-23, (499) 183-91-90, (499) 183-97-95
E-mail: ric@mgsu.ru, rio@mgsu.ru

Организатор конференции:

ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ)

Институт гидротехнического и энергетического строительства, кафедра Комплексной безопасности в строительстве

Научный комитет конференции:

Председатель Научного комитета:

– Тер-Мартirosян А.З., – проректор

Члены Научного комитета:

– Волгин В.В. – проректор;

– Фазылзянова Г.И. – проректор;

– Штымов З.М. – проректор;

– Сидоров В.Н. – советник при ректорате;

– Емельянов М.В., - начальник Управления научной политики

– Комаров А.А. – профессор кафедры КБС;

– Цариченко С.Г. – профессор кафедры КБС;

– Горев В.А. – профессор кафедры КБС

Рабочая группа конференции:

– Корольченко Д.А. – заведующий кафедрой КБС, руководитель Рабочей группы;

– Черкина В.М. – доцент кафедры КБС, ученый секретарь конференции;

– Лисиенкова Л.Н. – доцент кафедры КБС;

– Парфененко А.П. – доцент кафедры КБС;

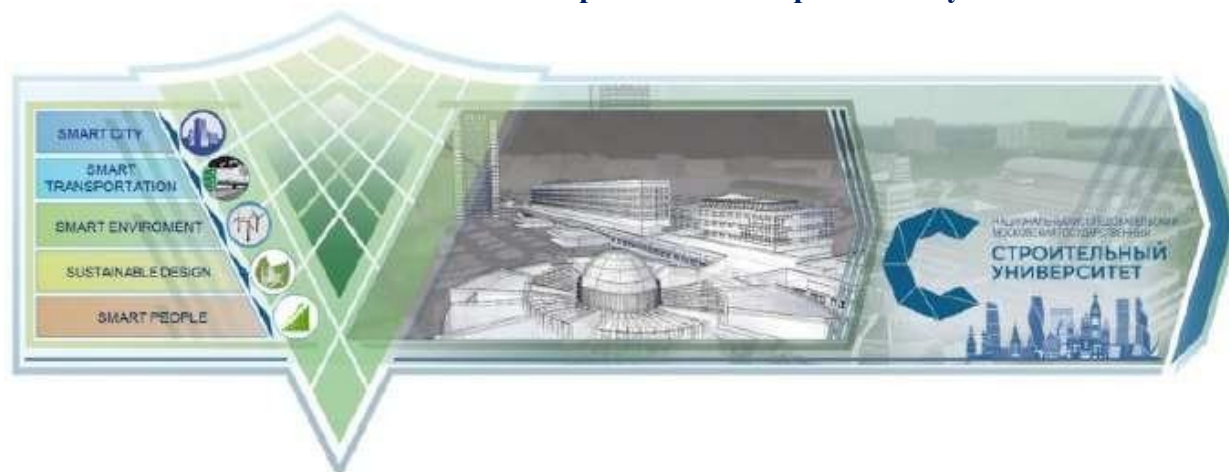
– Никитин И.С. – доцент кафедры КБС;

– Челекова Е.Ю. – доцент кафедры КБС

ОГЛАВЛЕНИЕ

О конференции.....	6
<i>Цариченко С.Г.</i> Развитие водородной энергетики – проблемы в области безопасности.....	7
<i>Корольченко Д.А., Селиверстов В.И., Саенкова А.Б.</i> Снижение риска каскадного развития аварии на объектах малотоннажного СПГ.....	9
<i>Парфененко А.П.</i> Проблемы обеспечения безопасной эвакуации людей из ночных клубов.....	12
<i>Еремина Т. Ю., Минайлов Д.А.</i> Моделирование прогрева строительных конструкций для оптимизации проектных решений по их огнезащите вспучивающимися огнезащитными покрытиями.....	15
<i>Еремина Т. Ю., Уткин С.В., Митин Д.В.</i> Исследование свойств огнезащитных покрытий для стальных конструкций методами термического анализа.....	19
<i>Еремина Т. Ю., Умурзакова Р.М., Улиткина А.В.</i> Анализ пожаров и их последствий в гостиничных комплексах.....	22
<i>Горев В.А., Рукавишников М.М.</i> Влияние начальных условий на динамику развития взрыва.....	25
<i>Пузач С.В., Бачурин Д.В.</i> Оценка выполнения условия безопасной эвакуации из детских игровых помещений.....	29
<i>Пузач С.В., Маламут О.Ю.</i> Вероятностно-детерминированный подход к расчету пожарного риска от лесного пожара.....	32
<i>Пузач С.В., Мельничук В. О.</i> Оценка необходимости исследования токсичности газовой среды при пожаре в зданиях общеобразовательных учреждений.....	35
<i>Данилов М.М., Денисов А.Н., Еремина Т.Ю., Хохлова А.Ю., Есаков Р.В.</i> Способ спасения при тушении пожара в период осуществления строительства, реконструкции, капитального ремонта объекта капитального строительства.....	38
<i>Данилов М.М., Денисов А.Н., Королев П.С.</i> Интеграция метода поддержки управления комплексной безопасности при строительстве подземных сооружений.....	42
<i>Данилов М.М., Денисов А.Н., Плешаков В.В., Коновалова А.А.</i> Повышение уровня защищенности участников тушения от опасных факторов пожара.....	45
<i>Сивенков А.Б., Федотов И.О.</i> Разработка огнезащитных технологий для снижения пожарной опасности и повышения огнестойкости деревянных конструкций.....	48
<i>Сивенков А.Б., Румянцева А.А.</i> Термическая устойчивость бумаги длительного естественного старения.....	51
<i>Громов Н.В., Азамов Ж.М.</i> Особенности применения легкосбрасываемых конструкций для обеспечения взрывоустойчивости зданий и сооружений.....	53
<i>Покровская Е.Н., Пахомов А.В.</i> Изменение поверхности древесины, модифицированной составами на основе фосфоновых кислот с участием углеродных нанотрубок.....	55
<i>Батманов С.В., Сухарский С.П.</i> Актуальность исследований пожаров пролива нефтепродуктов с температурами ниже температуры вспышки.....	58
<i>Константинов А.П., Траоре А.С.</i> Методы определения водонепроницаемости светопрозрачных конструкций при совместном действии ветра и атмосферных осадков.....	63

**Всероссийская научно – практическая конференция
«Актуальные проблемы комплексной безопасности в строительстве,
тенденции развития в современных условиях»**



6 декабря 2023 года в Национальном Исследовательском Московском Государственном Строительном Университете прошла, ставшая уже традиционной, Всероссийская научно – практическая конференция «Актуальные проблемы комплексной безопасности в строительстве, тенденции развития в современных условиях», организатором которой выступила кафедра Комплексной безопасности в строительстве ИГЭС НИУ МГСУ. Конференция проводилась в рамках реализации Программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030», а также популяризации результатов исследований и разработок в области комплексной безопасности в строительстве в научно-информационном пространстве.

В ее работе приняли участие ученые, научно-педагогические работники и аспиранты кафедры Комплексной безопасности в строительстве ИГЭС НИУ МГСУ, а также специалисты из ведущих организаций строительной сферы.

Мы рады что смогли объединить на нашей научно-образовательной площадке представителей образовательных, научных и научно-исследовательских организаций.

Участники конференции получили сертификаты, тезисы докладов будут опубликованы в Сборнике конференции и размещены на сайте НИУ МГСУ.

С уважением,
д.т.н., зав. кафедрой
Комплексной безопасности в строительстве НИУ МГСУ
Дмитрий Александрович Корольченко

РАЗВИТИЕ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ – ПРОБЛЕМЫ В ОБЛАСТИ БЕЗОПАСНОСТИ

Цариченко С.Г.,

профессор кафедры КБС, д.т.н., ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ»

Аннотация. Цели, задачи и порядок развития водородной энергетики в Российской Федерации поставили вопрос обеспечения пожаровзрывобезопасности водорода при его производстве, транспортировке, хранении и использовании в качестве энергоисточника. Представлены сценарии аварий и пути их решения.

Ключевые слова: водородная энергетика, анализ риска аварий по возможным сценариям, обеспечение пожаровзрывобезопасности водорода при его производстве, транспортировке, хранении и использовании в качестве энергоисточника.

Цели, задачи и порядок развития водородной энергетики в Российской Федерации в настоящее время определяются Энергетической стратегией Российской Федерации на период до 2035 года; Планом мероприятий («дорожной картой») по развитию водородной энергетики в Российской Федерации до 2030 года; Концепцией развития водородной энергетики в Российской Федерации, утвержденной распоряжением Правительства РФ от 5 августа 2021 г. № 2162-р.

В соответствии с Энергетической стратегией показателем решения задачи водородной энергетики является экспорт водорода из Российской Федерации на мировой рынок: к 2024 году - 0,2 млн. тонн, к 2035 году - 2 млн. тонн. Концепция задает еще большие перспективы: потенциальные объемы экспорта водорода могут составить до 0,2 млн. тонн в 2024 году, 2 - 12 млн. тонн в 2035 году и 15 - 50 млн. тонн в 2050 году в зависимости от темпов развития мировой низкоуглеродной экономики и роста спроса на водород на мировом рынке.

Одним из важных вопросов дальнейшего развития водородной энергетики является обеспечение пожаровзрывобезопасности водорода при его производстве, транспортировке, хранении и использовании в качестве энергоисточника [1]. Важность и актуальность этого вопроса обусловлена высокой пожаровзрывоопасностью водорода. При этом необходимо объективно и трезво оценивать реальную опасность водорода в сопоставлении с другими видами газового топлива, что позволит сформулировать и реализовать необходимые и достаточные условия обеспечения безопасности.

Анализ опасностей и оценки риска аварий представляют собой совокупность научно-технических методов исследования опасностей возникновения, развития и последствий возможных аварий, включающую планирование работ, идентификацию опасностей аварий, оценку риска аварий, установление степени опасности возможных аварий, а также разработку и своевременную корректировку мероприятий по снижению риска аварий [2].

Основная цель анализа риска аварий - установление степени аварийной опасности для заблаговременного предупреждения угроз.

На различных стадиях жизненного цикла водорода основная цель анализа риска аварий достигается постановкой и решением соответствующих задач в зависимости от необходимой полноты анализа опасностей аварий, которая определяется требованиями разработки декларации промышленной безопасности, специальных технических условий, обоснования безопасности, отчета о количественной оценке риска аварий и иных документов, использующих результаты анализа риска аварий.

Ниже представлены некоторые возможные сценарии аварий:

1. Аварийные ситуации и риски, связанные с использованием сжатого водорода на открытом пространстве;
2. Аварийные ситуации и риски, связанные с использованием сжатого водорода в замкнутом и полужамкнутом пространстве;
3. Аварийные ситуации и риски, связанные с использованием жидкого водорода (в дополнение к пунктам 1 и 2);
4. Аварийные ситуации и риски, связанные с образованием взрывоопасных метано-водород-воздушных смесей;
5. Аварийные ситуации и риски, связанные с использованием оборудования в трубопроводах и сосудах с водородом под давлением.

Очевидно, что решение поставленных задач является комплексной задачей расчетно-аналитических исследований возникновения и развития аварий применительно к конкретным технологическим объектам в части разработки математических моделей опасных процессов и алгоритмам сквозного

расчёта по моделям различных стадий, базирующихся на базирующейся на результатах натуральных экспериментов, максимально приближенных к реальным условиям.

Учитывая научный потенциал НИУ МГСУ в области исследований и разработки мероприятий обеспечения пожаро-взрывобезопасности различных объектов, представляется целесообразным рассмотреть возможность участия в данной программе в части исследования процессов горения водородо-воздушных смесей в различных условиях, расчета взрывных нагрузок, устойчивости различных конструкций к их воздействию, разработке требований к легко сбрасываемым конструкциям, а также изучения воздействия струйного истечения водорода, как в режиме горения, так и в криогенном состоянии, на различные препятствия.

Литература:

1. Баратов А.Н. Горение-Пожар-Взрыв-Безопасность. – М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2003. – 364 с.
2. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах (с изменениями на 14 декабря 2010 года). Утверждена приказом МЧС Российской Федерации. 10 июля 2009. – № 404. – 56 с.

СНИЖЕНИЕ РИСКА КАСКАДНОГО РАЗВИТИЯ АВАРИИ НА ОБЪЕКТАХ МАЛОТОННАЖНОГО СПГ

Корольченко Д.А.,

д.т.н., доцент, заведующий кафедрой КБС ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ»

Селивёрстов В.И.,

к.т.н., генеральный конструктор ООО «Каланча Инжиниринг»,

Саенкова А.Б., аспирант кафедры КБС НИУ МГСУ

Аннотация. Рассмотрено развитие вторичных аварий на объектах нефтегазового комплекса. Рассмотрены последствия аварий со струйным горением. Предложен способ снижения риска развития вторичных аварий с помощью автоматических установок пожаротушения на КристоАЗС.

Ключевые слова: сжиженный природный газ, автоматическая установка пожаротушения, установка газопорошкового пожаротушения, каскадное развитие аварий

Объекты нефтегазового комплекса относятся к пожароопасным объектам, где обращается большое количество горючих и легковоспламеняющихся веществ.

На таких промышленных объектах существует большой риск каскадного развития аварии, так называемого "эффекта домино". Это неблагоприятный сценарий развития аварии, при котором возможно вовлечение опасного вещества, находящегося в расположенном рядом оборудовании, в последующую стадию развития аварии и выход поражающих факторов за пределы аварийного блока.

Иницирующим первичным событием могут быть пожары, взрывы и выбросы токсичных веществ. Пожары в свою очередь можно разделить на струйное горение и пожар пролива.

По приведенным в работе [1] данным аварии с "эффектом домино" чаще происходят на складах легковоспламеняющихся веществ и сжиженных углеводородных газов (58-79 %) и с меньшей частотой на технологическом оборудовании установок (12-30 %). 38% всех аварий развиваются с вовлечением в аварию минимум одной позиции оборудования (одного "эффекта домино") и 16% всех аварий развиваются с вовлечением в аварию минимум двух позиций оборудования (до двукратного "эффекта домино").

В работе [2] проанализировано 224 несчастных случая, произошедших в период с 1910 по 2008 год в перерабатывающей отрасли, в результате 43 % зарегистрированных аварий с каскадным развитием были вызваны пожарами, 57 % - взрывами. Пожар пролива в 80 % случаев (среди пожаров) приводил к дальнейшему развитию аварии с детонацией. Анализ, сделанный в работе [3] показывает, что длительные стационарные пожары являются иницирующим событием большинства аварий, пошедших по каскадному сценарию. Анализ также показал, что 44% происшествий со струйными пожарами произошли на транспорте, 36% на перерабатывающих предприятиях, 11% во время погрузочно-разгрузочных операций и 9% на складах.

Частота развития аварии с "эффектом домино" зависит от близости размещения оборудования на площадке, вида вещества и его высвободившегося количества. Для каскадного развития аварии достаточно слабой степени повреждения оборудования - разгерметизация фланцевого соединения, насоса, запорной арматуры и т.п. Таким образом возникают условия для дальнейшего развития аварии.

Струйный пожар является наименее серьезным сценарием развития аварии, если рассматривать его с точки зрения прямых последствий. Но при оценке риска каскадного развития аварии струйный пожар можно отнести к наиболее серьезным из-за потенциального катастрофического развития первоначальной аварии вследствие попадания в зону горящего факела сосудов под давлением, трубопроводов, запорной арматуры и других компонентов оборудования. При разрушении оборудования произойдет мгновенное воспламенение истекающего горючего вещества под действием горящего факела.

В работе [4] показано, что при воздействии факела струйного горения на трубу с газом температура стенки поднимается до 600 град. С в течении 2-3 мин и достигает 750 град. С за 5-6 мин.

В статье [5] приведены результаты компьютерной симуляции струйного горения из трубы под давлением (от компрессора). Показано, что за 30 сек конструкции здания нагреваются до критической температуры, что может привести к вторичной аварии.

Применение огнезащитных покрытий, теплоизоляции являются важными элементами безопасности. Они могут предотвратить или смягчить последствия аварий, вызванных пожаром. Однако применение огнезащитных покрытий на всем оборудовании невозможно по экономическим соображениям.

Применение автоматических установок пожаротушения может снизить риск каскадного развития

аварий. [6] Испытания автоматических установок пожаротушения следует проводить по методикам, в которых учтены наиболее вероятные варианты начального развития струйного пожара. [7]

В настоящее время в Российской Федерации активно развивается сеть заправочных станций КриоАЗС, предназначенных для приема и хранения сжиженного природного газа (далее – СПГ) с последующей заправкой им автотранспорта. До места расположения КриоАЗС СПГ доставляется с помощью автоцистерн. На станции с помощью технологии регазификации возможно получение компримированного газа (далее – КПП) и после этого заправка транспорта осуществляется как СПГ, так и КПП.

Типовая схема заправочной станции включает в себя:

- криогенный резервуар для приема и хранения СПГ;
- криогенный поршневого насос высокого давления для СПГ;
- атмосферный испаритель высокого давления;
- подогреватель газа высокого давления;
- блок аккумуляторов КПП;
- топливораздаточная колонка.

Такая схема может быть реализована в блочно-модульном стационарном исполнении или передвижных автозаправочных станциях, смонтированных на автомобильном шасси. Как правило, такой модуль представляет собой 45-ти футовый контейнер, который объединяет в едином блоке резервуар хранения СПГ, систему регазификации под высоким давлением, хранения и заправки КПП, силовое электрооборудование и систему автоматики.

Компактное расположение оборудования может привести к быстрому каскадному развитию аварии при незначительной первичной аварии. При струйном истечении сжатого газа, паровой или жидкой фазы СПГ под давлением возникает опасность образования диффузионного факела. Длина факела при этом зависит от расхода продукта. [8]

Так при разгерметизации с расходом 0,015 кг/сек длина факела составит 2,3 м в случае истечения сжатого газа и 2,8 м при истечении жидкой фазы СПГ. Согласно экспериментальным данным, приведенным в статье [9] при расходе 0.075 кг/с и истечении через отверстие диаметром 10 мм длина пламени достигает 5,2 м. При этом согласно рекомендациям в методике [8] и данным в статье [9] образование пролива СПГ маловероятно и при расчете риска такой сценарий можно не рассматривать. При габаритных размерах контейнера 13,7 м x 2,5 м x 2,75 м (длина x ширина x высота) в зоне воздействия диффузионного пламени оказывается другое оборудование и возникает прямая угроза дальнейшей эскалации аварии. (рис. 1)

Применение автоматической установки пожаротушения позволит ликвидировать возгорание на начальной стадии пожара и предотвратить каскадное развитие аварии. Технология газопорошкового пожаротушения позволяет защищать наружные технологические установки. Подача огнетушащего вещества осуществляется таким образом, чтобы во всех точках локального защищаемого объема создавалась огнетушащая концентрация. В рамках научно-практической конференции на полигоне Оренбургского филиала ФГБУ ВНИИПО МЧС РФ [6] было продемонстрировано тушение диффузионного горения струйного истечения газа модулем газопорошкового пожаротушения. Для защиты блока заправочной станции предлагается монтировать 4 насадка распыления, объединенных общим кольцевым коллектором, в ее верхней части. Кольцевой коллектор через трубопровод соединен с модулем пожаротушения (рис. 2). При возникновении аварийной ситуации, при обнаружении системой пожарной сигнализации открытого пламени производится пуск модуля пожаротушения. Инерционность срабатывания системы менее 1 с, время выхода огнетушащего вещества менее 10 с, при этом тушение происходит не более чем через 2 с после начала выхода огнетушащего вещества.

Применение установок газопорошкового пожаротушения на КриоАЗС позволит ликвидировать возгорание на начальном этапе и снизить вероятность каскадного развития аварии.

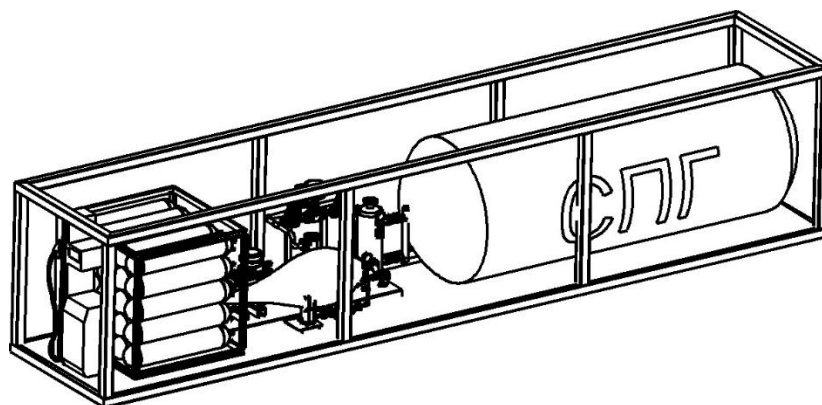


Рис. 1. Пример факела при аварии на модульной КривоА3С

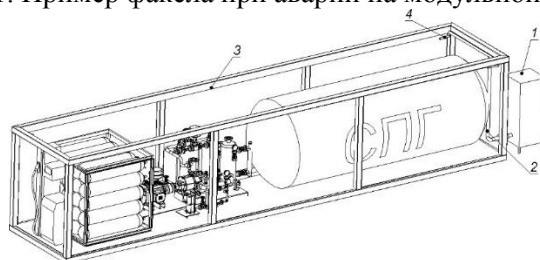


Рис. 2. Предлагаемая схема защиты КривоА3С.

1 – модуль газопорошкового пожаротушения; 2 – трубопровод подачи газопорошкового огнетушащего вещества; 3 – кольцевой трубопровод газопорошкового огнетушащего вещества; 4 – насадок распыления газопорошкового огнетушащего вещества.

Литература:

1. Азаров Н.И. и др.. Анализ возможности каскадного развития аварии на взрывопожароопасных объектах // *Безопасность Труда В Промышленности*. 2007. № 5. P. 42–47.
2. Abdolhamidzadeh B. et al. Domino effect in process-industry accidents – An inventory of past events and identification of some patterns // *J. Loss Prev. Process Ind.* 2011. Vol. 24, № 5. P. 575–593.
3. Gómez-Mares M., Zárate L., Casal J. Jet fires and the domino effect // *Fire Saf. J.* 2008. Vol. 43, № 8. P. 583–588.
4. Foroughi Vahid et al. Domino Effect by Jet Fire Impingement in Pipelines // *Chem. Eng. Trans.* 2019. Vol. 77. P. 931–936.
5. Jang C.B., Choi S.-W. Simulation and Damage Analysis of an Accidental Jet Fire in a High-Pressure Compressed Pump Shelter // *Saf. Health Work.* 2017. Vol. 8, № 1. P. 42–48.
6. Селивёрстов В.И., Саенкова А.Б. Концепция противопожарной защиты объектов малотоннажного производства и потребления СПГ. *ПРОНЕФТЬ. Профессионально о нефти*. 2023;8(1):123–128. <https://doi.org/10.51890/2587-7399-2023-8-1-123-128>.
7. Корольченко Д.А., Селивёрстов В.И., Саенкова А.Б. Методика проведения экспериментального исследования тушения струйного горения газа автоматическими установками газопорошкового пожаротушения // *Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety*. 2023. Т. 32. No 4. С. 77–85. DOI: 10.22227/0869-7493.2023.32.04.77-85
8. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах, утвержденная приказом МЧС РФ от 10.07.2009 года N 404.
9. Zhang Q., Liang D., Wen J. Experimental study of flashing LNG jet fires following horizontal releases // *J. Loss Prev. Process Ind.* 2019. Vol. 57. P. 245–253.

ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОЙ ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ ИЗ НОЧНЫХ КЛУБОВ

*Парфененко А.П.,
доцент кафедры КБС, к.т.н., ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ»*

Аннотация. Приведены результаты натурных наблюдений за движением людских потоков в ночных клубах, позволяющие достоверно оценить критерии безопасной эвакуации людей при проектировании и эксплуатации подобных объектов.

Ключевые слова: эвакуация, пожар, людской поток, закономерности движения, пропускная способность, интенсивность движения.

Безопасность людей, находящихся в здании при возникновении пожара определяется критериями обеспечения своевременной и беспрепятственной эвакуации [1]. Для оценки этих критериев используются различные модели движения людских потоков и развития пожара [2]. При этом выбор модели движения людских потоков и перечень исходных данных определяют достоверность получаемых результатов и их адекватность реальной картине процесса движения людей.

Нормирование критериев безопасной эвакуации людей начинается с классификации объектов защиты по их функциональному назначению. Однако в случае с ночными клубами, однозначной классификаций нет. С одной стороны, клубы выделяются в класс функциональной пожарной опасности Ф 2.1. (клубы), но существует и другое мнение – класс Ф 2.2 (танцевальные площадки).

При этом, в существующей классификации [1] не отражены функциональные особенности современных ночных клубов, что не позволяет достоверно оценить принятые планировочные решения с точки зрения обеспечения безопасной эвакуации людей. Так, только за последние 20 лет при пожарах в клубах погибло более 2000 человек и было выявлено более 3000 пострадавших. При этом, в 80% случаев высокая смертность в первую очередь, связана с недостаточностью объемно-планировочных решений для проведения безопасной эвакуации.

СП 118.13330.2022 [3] предлагают определять вместимость зрительных залов клубов исходя из расчетных показателей площади на одно посадочное место. В связи с тем, что основной функциональный контингент рассматриваемых зданий находится на танцполе, применение требования [3] при проектировании эвакуационных выходов нелегитимно.

Ширина эвакуационного выхода из залов определяется в зависимости от объема помещения, степени огнестойкости здания и числа человек на 1 м ширины эвакуационного выхода [4]. При этом эвакуационных выходов в залах вместимостью 50 и более человек должно быть не менее двух, а их ширина должна составлять не менее 1,2 м. Согласно требованиям п. 7.4.1 СП 1.13130.2020 [4] для расчета параметров путей эвакуации и эвакуационных выходов вместимость танцевальных залов принимается из расчета 1,35 м² площади зала на 1 человека.

Однако, вышеперечисленные требования не учитывают психофизические особенности поведения и движения людей, находящихся в состоянии алкогольного опьянения. Для установления расчётных параметров движения людских потоков в ночных клубах были проведены натурные наблюдения за движением людей по лестницам и через дверные проёмы. Также был исследован показатель нормативной площади на человека.

Видеосъемка проводилась в течении всего времени работы ночного клуба, а именно с 23:00 до 04:00. В результате эксперимента фиксировалось количество проходящих и уходящих посетителей в зависимости от интервала времени для определения максимального количества посетителей в фиксированный промежуток времени t . Полученные значения приведены в табл. 1.

Табл. 1

Число посетителей в зависимости от интервала времени

Временной интервал	Число посетителей в определенный временной интервал, чел.
23:00/00:00	368
00:00/01:00	472
01:00/02:00	627
02:00/03:00	593
03:00/04:00	593

Оценка расчетной площади, приходящейся на одного человека в ночном клубе определялась из отношения площади основного зала S_3 к максимальному количеству человек N_{\max} , находящихся в момент времени t в помещении клуба. Показатель расчётной площади на человека составил $0.55 \text{ м}^2/\text{чел.}$

Для установления зависимости между скоростью и плотностью людского потока по лестницам видеосъемка велась непрерывно в течение всего периода времени работы ночного заведения. При этом анализ полученных видеозаписей позволил установить только скорости свободного движения людей, что требует организации проведения дополнительных исследований.

Гистограммы распределения скорости свободного движения людских потоков по лестнице вверх и вниз представлена на рис. 1, 2

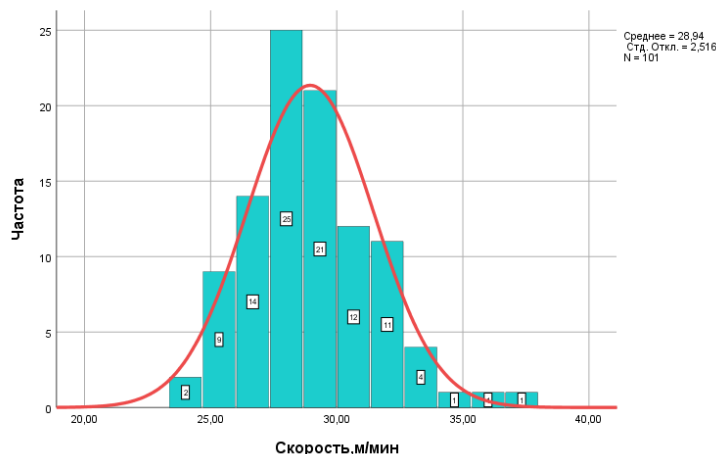


Рис. 1. Гистограмма распределения скорости свободного движения людских потоков по лестнице вверх

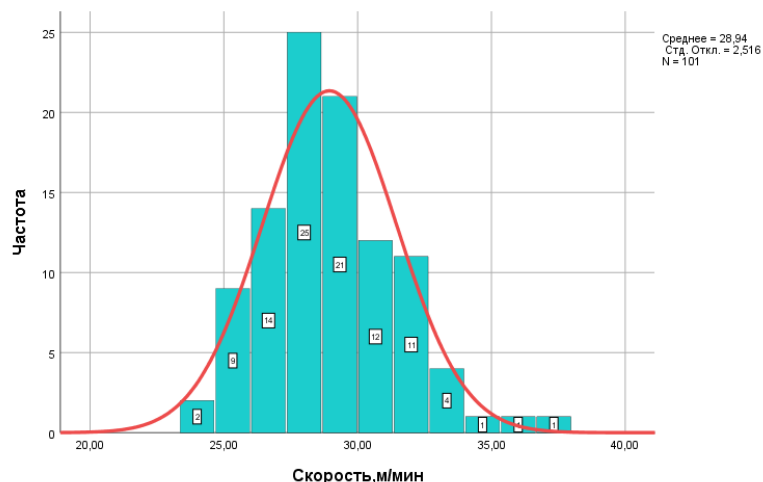


Рис. 2. Гистограмма распределения скорости свободного движения людских потоков по лестнице вниз

Результаты натурных наблюдений показали большое различие между скоростями свободного движения представленных в Методике и реальными данными, табл. 2.

Табл. 2.

Сравнение скорости свободного движения людей

Вид пути	Скорость свободного движения, полученная в ходе натурных наблюдений	Расчетная скорость свободного движения в Методике	Разница
Лестница вниз	39,27 м/мин	100 м/мин	в 2,5 раза
Лестница вверх	28,94 м/мин	60 м/мин	в 2 раза

Для сравнительной оценки влияния параметров движения людских потоков, представленных в Методике [2] и полученных в результате натуральных наблюдений, на расчётное время эвакуации людей, проводилось моделирование в программном продукте Pathfinder, реализующего индивидуально-поточную модель движения людских потоков, рис. 3. В качестве расчётных ситуаций были рассмотрены сценарии движения людей по лестницам вверх и вниз, с учётом планировочных решений ночного клуба, где проводились натурные наблюдения. Скорость свободного движения людей V_0 по лестнице вверх была принята 40 м/мин, для горизонтального пути, лестнице вниз и дверного проёма – 30 м/мин. Коэффициенты a и D_0 были приняты согласно Методики [2]. Ширина лестничного марша принята 1.2 м, ширина дверного проёма 1.2 м.

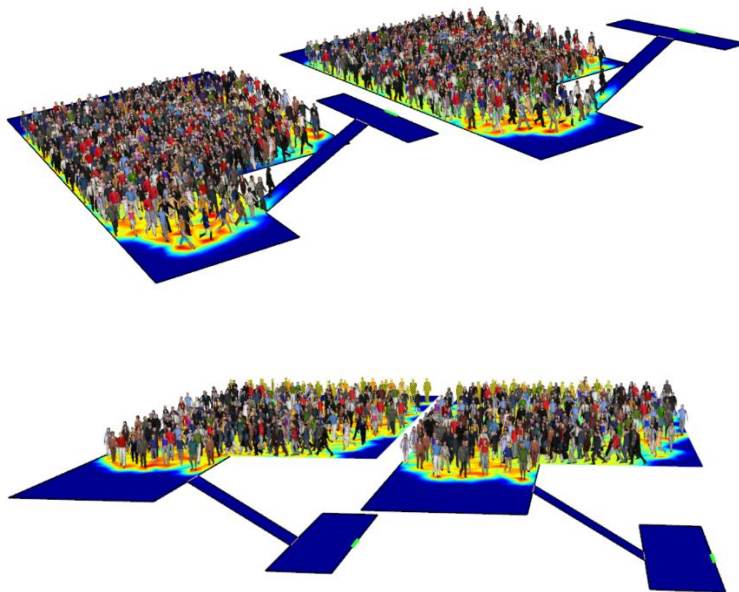


Рис. 3. Компьютерная модель в программном продукте Pathfinder

Сравнение полученных результатов показало, что разница между значениями расчётного времени эвакуации, с учётом данных представленных в Методике и результатов натуральных наблюдений, составила:

- при эвакуации, включающей участок пути с движением по лестнице вверх – 438,4 с, что составляет разницу в результатах в 71%.
- при эвакуации, включающей участок пути с движением по лестнице вниз – 382,1 с, что составляет разницу в результатах в 74%.

Полученные результаты показывают необходимость продолжать исследования в области движения людей на различных участках пути в ночных клубах с учётом психофизического состояния людей, для установления достоверных параметров движения людских потоков, определяющих геометрические параметры путей эвакуации.

Сформированные на данном этапе первичные результаты являются теоретической основой для моделирования эвакуации людей и актуализации действующих нормативных требований в области нормирования эвакуационных путей и выходов в ночных клубах.

Литература:

1. Федеральный закон от 22 июля 2008 г. №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».
2. Приказ МЧС России от 30 июня 2009 г. №382 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности» с учетом изменений, утверждённых приказом №632 МЧС РФ от 02.12.2015.
3. СП 118.13330.2022 «Общественные здания и сооружения».
4. СП 1.13130.2020 «Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы».

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОГРЕВА СТАЛЬНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ ПО ИХ ОГНЕЗАЩИТЕ ВСПУЧИВАЮЩИМИСЯ ОГНЕЗАЩИТНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ

*Еремина Т.Ю.,
профессор кафедры КБС, д. т.н., ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ»,
Минайлов Д.А.,
начальник сектора 2.4.3 отдела 2.4, ФГБУ ВНИИПО МЧС России*

Аннотация. Применение современных компьютерных технологий позволило достичь высоких практических и экономических результатов в строительстве зданий и сооружений с применением стальных строительных конструкций. Это связано с тем, что современные программные комплексы позволяют с достаточной точностью прогнозировать поведение строительных конструкций в условиях воздействия различных факторов, в том числе и в условиях воздействия высоких температур во время пожара. Применительно к вопросу моделирования прогрева стальных строительных конструкций с огнезащитой вспучивающимися покрытиями в условиях пожара следует отметить, что процесс теплопереноса во вспучивающемся покрытии в настоящее время исследован лишь частично.

Ключевые слова: моделирование, огнестойкость стальных строительных конструкций, вспучивающееся огнезащитное покрытие, ANSYS, SolidWorks.

Введение. В настоящее время существующие программные комплексы, применяемые при проектировании зданий и сооружений, можно разделить на две группы САД-системы и САЕ-системы [1, 2].

САД-системы (Computer-Aided Design), среди которых можно выделить Компас, Revit, AutoCAD, SolidWorks, предназначены для автоматизации процесса проектирования.

САЕ-системы (Computer-Aided Engineering), среди которых можно выделить ANSYS, ABAQUS, LS-DYNA, NASTRAN, предназначены для моделирования и анализа разнообразных физических процессов.

Оценка возможности применения численного моделирования для решения задачи теплопереноса в стальной строительной конструкции с огнезащитой вспучивающимся покрытием в условиях воздействия высоких температур основывается на создании и изучении математической модели исследуемого объекта с помощью соответствующего программного комплекса. При этом следует отметить, что математическая модель исследуемого объекта должна пройти валидацию и верификацию с экспериментальными исследованиями.

Методы и организация исследования. Цель исследования – проведение численного моделирования прогрева стальной строительной конструкции в условиях воздействия стандартного температурного режима в программных комплексах SolidWorks и ANSYS для оценки возможности их применения при оптимизации проектных решений по огнезащите вспучивающимися покрытиями.

В качестве объекта исследования была выбрана стальная колонна двутаврового сечения профиля №20 по ГОСТ 8239-89 высотой 1,7 м.

Проведение численного моделирования прогрева стальной колонны в условиях воздействия стандартного температурного режима проводилось в программных комплексах SolidWorks и ANSYS, реализующих метод конечных-элементов. Моделирование производилось в модулях Solidworks Simulation (термическое исследование) и ANSYS Transient Thermal. Изменение температуры в стальной колонне рассчитывалось путем решения дифференциального уравнения теплопроводности Фурье. Теплотехнические характеристики стали указаны в таблице 1 [3].

Табл. 1
Теплотехнические характеристики стали

Наименование	Плотность, кг/м ³	Коэффициент теплопроводности, Вт/м·°С	Теплоемкость, Дж/кг·°С	Степень черноты
Сталь углеродистая	7800	$48-3,65 \cdot 10^{-2} \cdot T$	$0,44+4,8 \cdot 10^{-4} \cdot T$	0,74

Начальные и граничные условия моделирования [4]

Воздействие «стандартного температурного режима пожара» на конструкцию задается граничным условием 3-го рода, которое характеризуется:

- изменением температуры t_b , К, во времени τ , с, согласно уравнению

$$t_b = 345 \lg(0,133\tau + 1) + t_b, (1)$$

- коэффициент теплопередачи α , Вт/(м²·К), от среды пожара к поверхности конструкции,

$$\alpha = 29 + 5,77s_{пр} \frac{(t_b/100)^4 - (t_b/100)^4}{t_b - t_0}, (2).$$

где

t_b – температура «стандартного пожара» по формуле (1);

t_0 – температура обогреваемой поверхности конструкции, К;

$s_{пр} = \frac{1}{(\frac{1}{s}) + (\frac{1}{s_0})}$ – приведенная степень черноты системы «огневая камера – поверхность

конструкции» ($s=0,85$ – степень черноты среды огневой камеры печи, s_0 – степень черноты обогреваемой поверхности конструкции, 0,74).

Начальная температура конструкции до пожара и температура окружающей среды вне зоны пожара принимаются равными: $t_n=293$ К (20 °С).

Модели стальной колонны в программных комплексах SolidWorks и ANSYS приведены на рисунке 1.

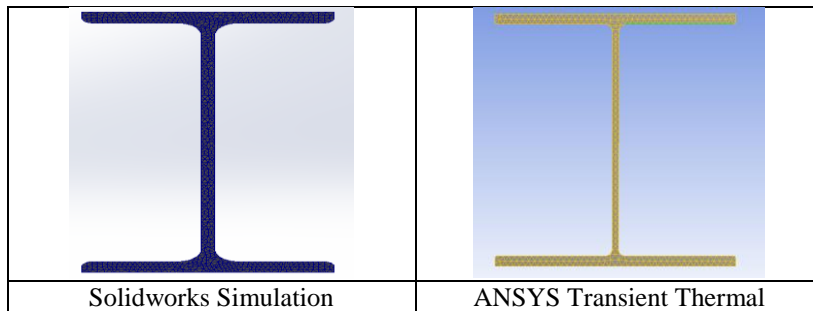


Рис. 1. Модели стальной колонны в программных комплексах SolidWorks и ANSYS

Результаты и их обсуждение. По результатам численного моделирования были получены эпюры и графики прогрева стальной колонны (рисунки 2, 3).

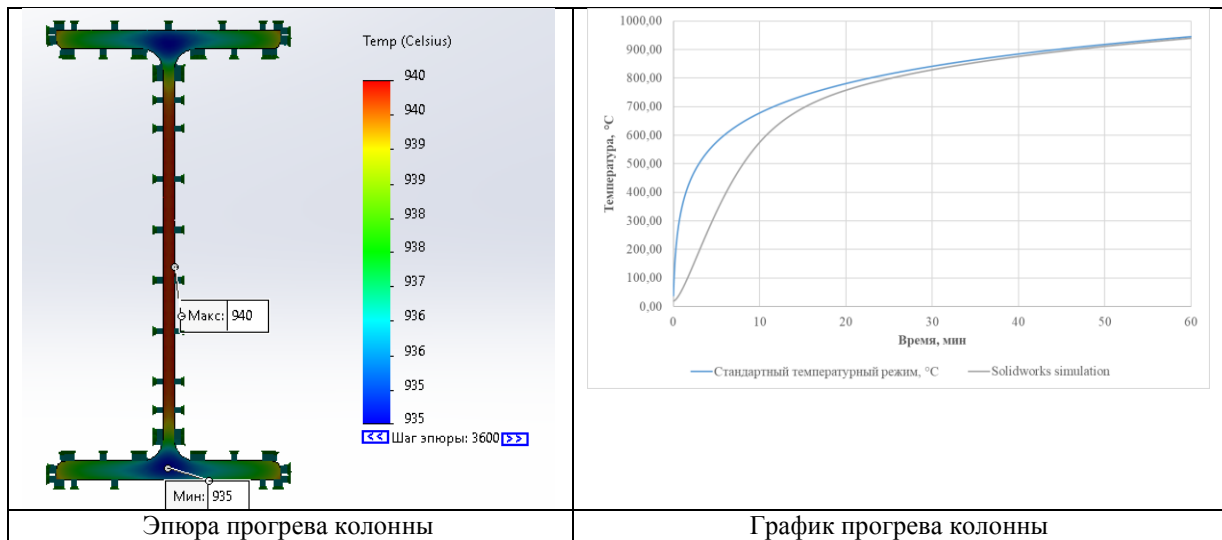


Рис. 2. Эпюры и график прогрева, полученные в программном комплексе Solidworks

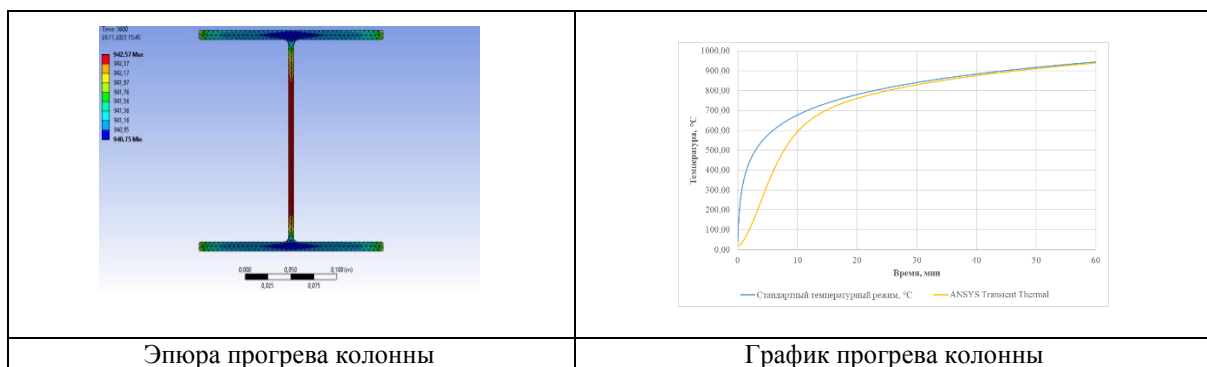


Рис. 3. Эпюры и график прогрева, полученные в программном комплексе ANSYS

Сравнение результатов численного моделирования прогрева стальной колонны двутаврового сечения в программных комплексах Solidworks и ANSYS с экспериментальными данными [4] показали, что расхождение между расчетными и экспериментальными данными не превысило 10 % (рисунок 4), что свидетельствует о достаточно высокой сходимости экспериментальных данных и данных численного расчета.

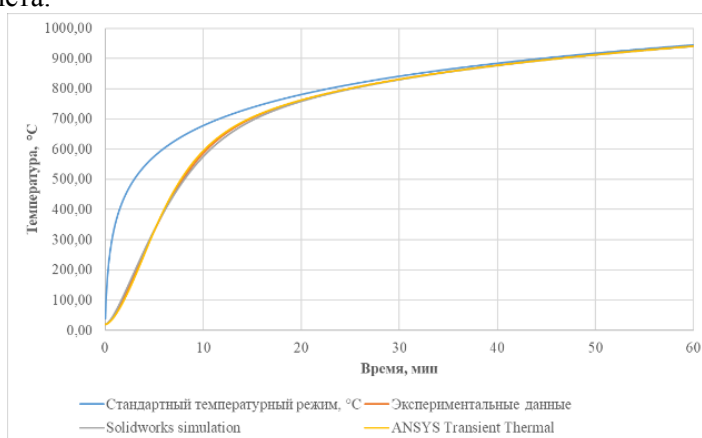


Рис. 4. Сравнение графиков прогрева колонны, полученные в программных комплексах SolidWorks и ANSYS с экспериментальными данными

Заключение. Результаты численного моделирования показали, что при известных теплофизических характеристиках конструкции, известном температурном режиме пожара и известном коэффициенте теплопередачи от среды пожара к поверхности конструкции можно с достаточной точностью прогнозировать время прогрева строительной конструкции до определенной критической температуры.

Зачастую, при разработке проекта огнезащиты при расчете критических температур для стальных строительных конструкций критическая температура оказывается выше или ниже установленной ГОСТ Р 53295-2009 критической температуры в 500 °С. В этом случае, если критическая температура выше 500 °С, то толщину и расход огнезащитного вспучивающегося допускается принимать как для критической температуры 500 °С (при этом происходит увеличение собственного предела огнестойкости стальной строительной конструкции и происходит перерасход огнезащитного покрытия, но требования по огнестойкости к конструкции соблюдаются), а в случае, если температура ниже 500 °С, то необходимую толщину краски, если такая информация отсутствует в технической документации производителя, нужно оценить экспериментально для полученной критической температуры. В этом случае численное моделирование снижает время и расходы на проведение дополнительных огневых испытаний.

При этом следует отметить, что в случае моделирования прогрева стальной строительной конструкции в условиях пожара, нужно учитывать изменение полученных по результатам стандартных огневых испытаний теплофизических характеристик вспучивающегося огнезащитного покрытия, так как они могут существенно различаться [5, 6].

Литература:

1. Федорова Н.Н., Вальгер С.А., Данилов М.Н., Захарова Ю.В. Основы работы в ANSYS 17. – М.:

ДМК Пресс, 2017 – 210 с.: ил.

2. Алямовский А.А., SolidWorks Simulation. Как решать практические задачи. – СПб.: БВХ-Петербург, 2012. – 448 с.: ил.

3. Ройтман В.М. Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий. Ассоциация «Пожарная безопасность и наука», 2001 г. – 382 с., ил.

4. Яковлев А.И. Расчет огнестойкости строительных конструкций. - М.:Стройиздат - 1988. - 144 с.

5. Lucherini A., Giuliani L., Jomaas G. Experimental study of the performance of intumescent coatings exposed to standard and non-standard fire conditions // Fire Safety Journal. — 2018. — Vol. 95. — P. 42–50. DOI: 10.1016/j.firesaf.2017.10.004.

6. P. Li, C. Liu, B. Wang, Y. Tao, Y.-J. Xu, Y. Liu, P. Zhu, Eco-friendly coating based on an intumescent flame-retardant system for viscose fabrics with multi-function properties: Flame retardancy, smoke suppression, and antibacterial properties, Progress in Organic Coatings 159 (2021) 106400.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ МЕТОДАМИ ТЕРМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Ермина Т.Ю.,

профессор кафедры КБС, д. т.н., ФГУ ВО «НИУ МГСУ»,

Уткин С.В.,

ФГБУ СЭУ ФПС ИПЛ по г. С-Петербургу

Митин Д.В.,

лаборант кафедры КБС НИУ МГСУ

Аннотация. Изучение изменения свойств средств огнезащиты для повышения пределов огнестойкости стальных конструкций в зависимости от сроков эксплуатации покрытия и определение инструментального метода или комплекса инструментальных методов, достаточного для достоверной оценки огнезащитной эффективности огнезащитной системы, на различных стадиях жизненного цикла создания и эксплуатации огнезащитной системы для предупреждения действий, вводящих в заблуждение потребителей.

Ключевые слова: средства огнезащиты для стальных конструкций, огнезащитная эффективность, огнезащитные свойства, методы термического анализа.

Введение. В современной практике строительства широкое распространение получили стальные конструкции, обладающие высокой прочностью, относительной легкостью, долговечностью. Однако под воздействием высоких температур при пожаре они деформируются, теряют устойчивость, несущую способность. Поэтому огнезащита стальных конструкций одной из актуальных проблем повышения огнестойкости зданий и сооружений.

В последнее время многие исследователи отмечают, что на строительном рынке Российской Федерации неуклонно растёт количество тонкослойных огнезащитных материалов вспучивающегося типа для обеспечения предела огнестойкости стальных конструкций, но при этом значительная часть данных материалов не могут обеспечить достижения целей, для которых они созданы, а именно обеспечить требуемый предел огнестойкости.

Отсутствие нормативных требований к контролю функциональных характеристик систем противопожарной защиты, в том числе и огнезащитных систем на различных стадиях жизненного цикла, включая производство, транспортировку, проектирование, применение и эксплуатацию создает условия, способствующие избежать ответственности в случае наступления трагических последствий, связанных с пожаром, в ходе развития которого созданная система противопожарной защиты не выполнила свои функции.

В соответствии с требованиями Технического регламента о требованиях пожарной безопасности [1] идентификация здания, сооружения, производственного объекта проводится путем установления их соответствия следующим существенным признакам. В том числе степени огнестойкости, которая в свою очередь определяется на основании пределов огнестойкости конструктивных элементов объекта, отвечающих за конструктивную целостность и устойчивость здания при пожаре.

Введение в нормативные документы по пожарной безопасности требования о проведение идентификации средств огнезащиты как при проведение испытаний по огнезащитной эффективности, так и производстве огнезащитных работ методами синхронного термического анализа в соответствии с требованиями ГОСТ Р 53293 [3] должно было улучшить ситуацию с контролем качества огнезащитных работ, но до настоящего момента времени не создана база образцов идентификаторов, производители в большинстве случаев отказывают в предоставлении сведений об идентификации средства огнезащиты, или предоставляют протоколы проведения идентификации выполненные в другой интервал времени по сравнению с испытаниями по огнезащитной эффективности, что в свою очередь ставит под сомнение достоверность данных образца идентификатора.

Анализ зарубежных источников, показывает, что исследования свойств огнезащитных материалов направлены в первую очередь на анализ структурных химических связей образующегося теплоизолирующего слоя, а не на анализ внешних характеристик, который характерен для отечественных исследователей. [5,6,7,8].

Методы и организация исследования. Исследуемые образцы средств огнезащиты были предварительно подвержены воздействию климатических факторов (искусственное старение — 3, 6 и 9 лет в климатических камерах по ГОСТ 9.401–91[2], метод 15). Также проведено исследование исходных образцов, не подверженных климатическим факторам (далее — не состаренный образец). В ходе ранее проведенных исследований методами оптической и сканирующей электронной

микроскопии изучены внешний вид, морфология включений и микроструктура поверхности образцов покрытия. Проведены исследование фазового и структурного состояния методами рентгенодифракционного анализа и ИК-спектроскопии, а также измерение коэффициента вспучивания огнезащитного покрытия.[4] В ходе которого были получены результаты, что в результате старения образцов происходит постепенное изменение их фазового состава, вызванное уменьшением содержания меламина на 40 %, полифосфата аммония на 15 %, а также перераспределением других компонентов в системе, в результате чего меняется микроструктура покрытия и его защитные свойства.

В настоящее время большинство исследователей акцентируют свое внимание на определение коэффициента вспучивания, при этом данный термин не имеет определения в современной системе стандартизации и используется исключительно в методических рекомендациях, подготовленных ВНИИПО МЧС России. Как уже было отмечено, средство огнезащиты со временем и от условий эксплуатации изменяет свои свойства, которые влияют на структуру формирования пенококсового теплоизолирующего слоя при его работе. В связи с чем предлагается для оценки свойств теплоизолирующего слоя, формирующегося при работе средства огнезащиты, использовать метод термомеханического анализа (ТМА), что в свою очередь позволит заменить достаточно субъективный и не точный параметр коэффициент вспучивания на более научно-обоснованный и имеющий более точный физический смысл и универсальный параметр – коэффициент объемного расширения. Данный параметр более точно и всеобъемлюще характеризует процессы, происходящие при вспучивании огнезащитных материалов, позволяет учитывать процессы пеплообразования, снижающие качество вспучивания материалов и более точно оценивать качество новых и состаренных вспучивающихся средств огнезащиты. Для стандартных измерений требуется крайне малые количества образца (порядка 3 -5 мг), что делает данный метод наиболее универсальным, производительным и точным для контроля качества и оценки огнезащитных свойств специальных лакокрасочных материалов. При этом необходимо отметить, что для качественной оценки свойств огнезащитных материалов необходимо использовать не стандартный коэффициент линейного расширения, получаемый обычными ТМА анализаторами, а коэффициент объемного расширения, позволяющий всестороннее оценить и исследовать процессы вспучивания образцов огнезащитных материалов. Данный показатель требует присутствия специализированных аксессуаров – дилатометров в комплекте поставки ТМА анализатора.

Учитывая, также сложное поведение образцов при термических исследованиях, было принято решение оценивать вспучивание именно с помощью дилатометра. При этом, чтобы промоделировать условия, близкие к реальным, необходимо использовать механический способ задания нагрузки в ТМА анализаторе, а не электромеханический, так как фиксируется довольно небольшое изменение размера.

В ходе проведения экспериментов были определены оптимальные параметры нагрузки на образец – 3Н, позволяющие зафиксировать все особенности исследуемых процессов. Суммарные параметры эксперимента представлены в таблице № 1.

Табл. 1
Параметры ТМА измерения

Скорость сканирования	20 оС/мин
Диапазон сканирования	30 – 500 оС
Тип нагрузки	механический
Значение нагрузки	3 Н
Инертный материал	Al ₂ O ₃
Атмосфера	воздух

Результаты и их обсуждение. Проведенное исследование методом термомеханического анализа, проведенное на термомеханическом анализаторе марки «ТМА 4000» фирмы «Perkin Elmer» позволили сделать выводы об применение оптимальной массы навески (3,0-5,0 мг), позволяющей получить кривые отражающие процессы работы средства огнезащиты.

Анализируя полученные данные, можно отметить, что в процессе старения образцов в покрытии происходят существенные изменения, влияющие на формирование теплозащитного пенококсового слоя, что ведет к невозможности созданной огнезащитной системы выполнить свои функции по обеспечению требуемого предела огнестойкости в условиях эксплуатации в течении 6 и более лет.

Выводы. В настоящий момент времени документы по стандартизации в области оценки

огнезащитных свойств средств огнезащиты не отвечают основным принципам технического регулирования, а именно уровню развития национальной экономики, развития материально-технической базы, а также уровню научно-технического развития. Отсутствие стандартизированных методов по подтверждению эксплуатационных свойств средств огнезащиты приводит к введению в заблуждение конечного потребителя, а отсутствие стандартизированных подходов к оценке качества выполняемых (выполненных) работ с применением современных аналитических методов исследования не позволяет своевременно выявить критические несоответствия, влияющие на функциональные характеристики создаваемой огнезащитной системы. В настоящий момент времени существует необходимость создания нормативного документа, определяющего методы и параметры контроля как процесса производства средств огнезащиты, так и их применения на примере Европейского документа по оценке [9].

Литература:

1. Федеральный закон от 22 июля 2008 года N 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности"
2. ГОСТ 9.401 – 91 Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Общие требования и методы ускоренных испытаний на стойкость к воздействию климатических факторов.
3. ГОСТ Р 53293 – 2009 Пожарная опасность веществ и материалов. Материалы, вещества и средства огнезащиты. Идентификация методами термического анализа.
4. Умрихина М.Ю., Шорохова Т.О., Пьянкова Л.А., Кудрявцев А.А., Уткин С.В. Исследование старения огнезащитных вспучивающихся покрытий методами СЭМ, XRD и ИК спектроскопии //Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2020. Т. 29. № 5. С. 60–70. DOI: 10.22227/PVB.2020.29.05.60-70
5. Troitzsch, Jürgen; International plastics flammability handbook: principles, regulations, testing, 2nd.Ed. München [u.a.]: Hanser, 1990
6. F. Laoutid, L. Bonnaud, M. Alexandre, J.-M. Lopez-Cuesta, Ph. Dubois; New prospects in flame retardant polymer materials: From fundamentals to nanocomposites; Materials Science Engineering R, 2008
7. (WO/1993/011196) COMPOSITION WITH INTEGRATED INTUMESCENT PROPERTIES
8. This application has been published in the METTLER TOLEDO Thermal Analysis UserCom No. 29. See www.mt.com/ta-usercoms
9. EAD 350402-00-1106 Fire protective products. Reactive coatings for fire protection of steel elements

АНАЛИЗ ПОЖАРОВ И ИХ ПОСЛЕДСТВИЙ В ГОСТИНИЧНЫХ КОМПЛЕКСАХ

*Еремина Т.Ю.,
профессор кафедры КБС, д. т.н., ФГУ ВО «НИУ МГСУ»,
Умурзакова Р.М.,
лаборант кафедры КБС НИУ МГСУ
Улиткина А.В.,
лаборант кафедры КБС НИУ МГСУ*

Аннотация. Рассмотрение опасных факторов пожара, анализ последствий возникновения пожара в гостиничных комплексах, анализ систем пожаротушений. Актуальность исследования обусловлена гибелью людей при пожарах в гостиничных комплексах; несовершенством работы автоматических систем противопожарной защиты (АППЗ) и дезориентацией людей в малознакомом пространстве во время пожара.

Ключевые слова: Гостиничный комплекс, опасные факторы пожара, пожарная безопасность.

Введение. Безопасность людей - основная проблема современного общества, которая становится всё более актуальной, особенно в сфере гостиничного бизнеса. В настоящее время всё больше и больше людей предпочитают проводить свои отпуска и каникулы за границей, а именно в гостиницах. Времяпровождение в гостинице обеспечивает не только комфортный отдых, но и безопасность людей, находящихся в ней. Пожар является одной из потенциальных опасностей, который может привести к летальным исходам, травмам тех или иных видов и также материальным потерям.

Гостиницы относятся к общественным зданиям с круглосуточным массовым пребыванием людей. В соответствии со сведениями о пожарах (таблица 1), приведенными в Распоряжении МЧС России от 07.12.2022 №1345, количество пожаров в гостиницах представляет определенную проблему.

Табл. 1
Сведения о пожарах и о их последствиях по классам функциональной пожарной опасности поднадзорных объектов пожаров

Класс функциональной пожарной опасности зданий	Кол-во пожаров, ед.	Погибло людей, чел.	Травмировано людей, чел.
Ф1.1 - здания дошкольных образовательных организаций, специализированных домов престарелых и инвалидов (неквартирные), спальные корпуса образовательных организаций с наличием интерната и детских организаций, здания медицинских организаций, предназначенные для оказания медицинской помощи в стационарных условиях (круглосуточно)	180	4	14
Ф1.2 - гостиницы, общежития (за исключением общежитий квартирного типа), спальные корпуса санаториев и домов отдыха общего типа, кемпингов	213	6	22

Материалы и методы. В процессе анализа опасных факторов пожара и их последствий в гостиничных комплексах использовались методы логического, статистического анализа.

Результаты исследования. Опасными факторами пожара (ОФП), воздействующими на людей и материальные ценности, являются: пламя и искры, тепловой поток, токсичность продуктов горения и термического разложения, дым, пониженная концентрация кислорода [1]. Анализируя таблицу с пожарами (табл. 2), можно сделать вывод о том, что к возгоранию приводят различные ситуации:

- Электрические системы: перегрузка электрических цепей, несоблюдение правил эксплуатации электрооборудования.
- Неконтролируемое использование кухонных приборов: неправильное обращение с газовыми плитами.
- Системы отопления и кондиционирования: дефекты и неисправности в системах отопления, недостаточное техническое обслуживание систем кондиционирования.

Человеческий фактор: небрежное обращение с огнем, курение, поджог, несоблюдение пожарной безопасности со стороны персонала.

Таб. 2.

Данные о причине возникновения пожара в гостиницах

Страна, город, гостиница	Причина	Количество жертв/смертей
Пакистан, Карачи, “Regent Plaza”, 2016 г.	Короткое замыкание в электросети	Погибло: 12 Пострадало: 110
Шотландия, Стерлинг, “Cameron House” 2017 г.	Человеческий фактор	Погибло: 2 Пострадало: 3
Грузия, Батуми, “Leogrand Hotel & Casino” 2017 г.	Короткое замыкание в электросети	Погибло: 11 Пострадало: 0
Филиппины, Манил, “Manila Pavilion” 2018 г.	Высокотемпературный электрический разряд в проводке под потолком в районе игровых автоматов, который привел к короткому замыканию, сопровождавшемуся сильным электрическим возгоранием	Погибло: 6 Пострадало: 23
Россия, Курган, “Есенин” 2019 г.	Аварийный режим работы электросети	Погибло: 0 Пострадало: 0
Индия, Дели, “Hotel Arpit Palace” 2019 г.	Короткое замыкание в кондиционере	Погибло: 17 Пострадало: 30
Великобритания, Истборн, “Claremont Hotel” 2019 г.	Утечка газа	Погибло: 0 Пострадало: 8
Россия, Петрозаводск, “Северная” 2021 г.	Нарушения гостями правил противопожарной безопасности	Погибло: 0 Пострадало: 0
Камбоджа, Пойпет, “Grand Diamond City” 2022 г.	Взрыв бака с топливом или газового баллона	Погибло: 19 Пострадало: десятки
Россия, Владимирская обл., “Заря” 2022 г.	Воспламенение силовых и высокочастотных кабелей	Погибло: 0 Пострадало: 0

По данным департамента пожарной службы Южной Австралии, наиболее распространенные причины пожаров в гостиницах подразделяются на девять [3] основных категорий:

1. Кухонные “оголенные” плиты.
2. Электрические одеяла.
3. Неисправная проводка.
4. Курение в постели.
5. Освещение.
6. Легковоспламеняющиеся жидкости.
7. Сушилки для одежды.
8. Свечи.
9. Отопление.

В связи с наличием в гостиницах различных помещений наиболее распространенными местами возникновения пожара являются кухня, гостевые комнаты, складские помещения и сауна [4].

Влияния огня на людей является основной причиной смертей и травм [5], физиологическое воздействие огня на человека можно разделить на тепловое и дымовое:

1. Тепловое воздействие: человек может функционировать в пределах нескольких градусов выше 37°C. При более высоких температурах возможны тепловое истощение и тепловой удар. При сильных ожогах страдают нервная система, легкие и кожа.

2. Воздействие дыма:

а) Воздействие на органы чувств. В химическом отношении дым содержит раздражающие вещества, токсины, канцерогены и малое количество кислорода. Недостаток O₂ вызывает асфиксию и быструю потерю сознания/смерть.

б) Скопление дыма в здании снижает видимость и может сделать невидимыми препятствия на пути эвакуации или даже сам пожар. Кроме того, горячий дым может быстро распространяться вверх.

Воздействие пожара несёт за собой материальный ущерб, косметический и эстетический, но основной ущерб от пожара для зданий гостиниц является структурный. Это связано с воздействием тепла, которое вызывает расширение, деформацию, плавление, растрескивание и разрушение конструкции, в результате чего здание становится неспособным выполнять свои функции.

Выводы. Гостиничные комплексы представляют собой место, где большое скопление не только людей, но и разных материальных благ, что представляет собой огромную пожарную опасность, и анализ факторов пожара и их последствий подчеркивает необходимость принятия мер по предотвращению пожара:

- Проведение регулярных инструктажей для персонала и постояльцев;
- Регулярная проверка используемых противопожарных систем и защиты для обеспечения их работоспособности в чрезвычайных ситуациях;
- Проведение регулярных инспекций для выявления неисправностей и их устранения;
- Техническое обеспечение безопасной и быстрой эвакуации людей.

Литература:

1. Федеральный закон № 123-ФЗ от 22.07.2008. «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

2. CTIF. “World Fire Statistics” // World Fire Statistics Magazine, Вып. 28. 2023.

3. Different research and reports on hotel and high rise hotel fires, National Fire Protection Association, NFPA, US, 2013.

4. Dr. Michael Buser. Allianz Risk Service, Fire Safety in Hotels. Expectations of a Hotel, 2014 // <https://www.allianz.pt/>. (дата обращения: 08.11.2023).

Graham, T. L., and D. J. Roberts. Qualitative overview of some important factors affecting the egress of people in hotel fires // International Journal of Hospitality Management 1

ВЛИЯНИЕ НАЧАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ НА ДИНАМИКУ РАЗВИТИЯ ВЗРЫВА

Горев В.А.,

профессор кафедры КБС, д. ф.-м.н., ФГУ ВО «НИУ МГСУ»,

Рукавишников М.М.,

аспирант кафедры КБС НИУ МГСУ

Аннотация. Рассмотрен процесс развития взрывного горения в трубе открытой с одного конца. Предложена физическая модель, описывающая данный процесс с учетом некоторых начальных условий, которые могут значительно влиять на эффект ускорения пламени.

Ключевые слова: взрыв, параметры взрыва, ускорение пламени, горение в трубе

Понимание динамики развития аварийных взрывов необходимо при проектировании более безопасных зданий, технологических и транспортных систем. Эти знания необходимы для выявления потенциальных опасностей и реализации мер по предотвращению или смягчению последствий аварий, связанных со взрывами.

Поражающие факторы взрыва на крупном производственном объекте могут действовать далеко за пределами места аварии. Радиусы зон поражения и, следовательно, масштабы последствий, могут составлять несколько километров.

Разрушающее действие взрывов в основном определяется скоростью взрывного горения, которая в свою очередь является функцией многих величин, зависящих от характеристик потока несгоревшего газа и продуктов горения.

При этом для разрушений с избыточным давлением от 10 кПа необходимо большое ускорение пламени – примерно в 40 раз по сравнению с ламинарной скоростью, которая для большинства углеводородов равна 0,3-0,4 м/с. Основным механизмом ускорения горения – это турбулизация газа, движущегося перед фронтом пламени за счет взаимодействия с преградами на пути движения фронта пламени.

Изучение влияния различных начальных условий на динамику развития аварийного взрыва имеет большое значение, поскольку темп ускорения определяется исходными обстоятельствами, предшествующими авариям. К этим обстоятельствам относится форма облака, место инициирования, плотность и проницаемость преград. Большая плотность увеличивает степень турбулизации пламени. Форма облака и место инициирования могут повлиять на эффективную величину степени расширения газа при горении и тем самым повлиять на скорость движения смеси перед фронтом горения.

В данной работе плотность расположения преград специально не изучалась, но была учтена параметром K .

Изменение эффективной степени расширения задавалась возможностью продуктам горения истекать из системы в воздушное пространство за пределами трубы.

Для наглядности используем наиболее простой случай распространения пламени и его ускорения на примере одномерной волны, бегущей вдоль трубы, закрытой с одного конца (рис.1). Данный процесс можно описать следующей схемой:

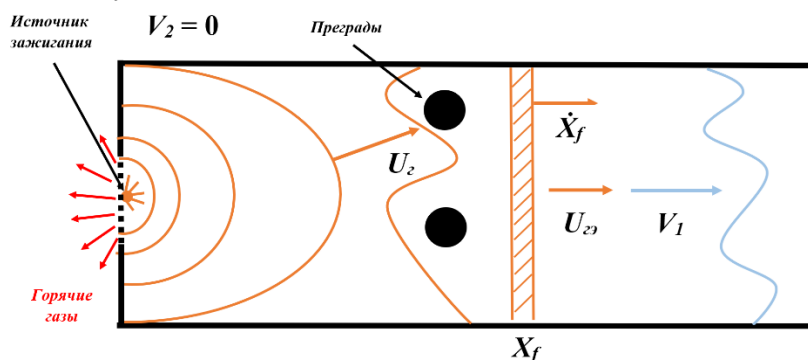


Рисунок 1. Схема горения в трубе от закрытого конца: U_2 – скорость горения; U_{23} – эффективная скорость горения; V_1 – скорость движения несгоревшего газа; V_2 – скорость продуктов горения; X_f – положение фронта пламени; \dot{X}_f – скорость фронта пламени

В данном случае рассматривается реализация дефлаграционного режима горения, распространяющегося от левого конца трубы к открытому правому. Левый конец может быть как закрыт полностью, так и частично открыт для истечения продуктов сгорания, тем самым моделируя

форму облака и место иницирования.

Иницирование горения происходит в результате воздействия источника зажигания, расположенного у закрытого конца трубы. Продукты горения остаются неподвижными ($V_2 = 0$). При этом исходная горючая смесь, ограниченная ударным фронтом спереди, за счет расширения объема продуктов сгорания движется со скоростью V_1 ,

В начальный момент времени, когда пламя распространяется от точечного источника зажигания, оно имеет полусферическую форму, тем самым увеличивая площадь поверхности горения по сравнению с поперечным сечением трубы.

Для описания процесса горения в рассматриваемой трубе предлагается использовать следующую систему уравнений:

$$\frac{d\Delta\bar{P}_2}{dt} = \frac{\gamma_2}{\bar{X}_f(1+\Delta\bar{P}_2)} \left[\bar{U}_{гз}(\sigma - 1) - \bar{V}_1 - \frac{\bar{S}_{ист}}{\bar{S}_L} (2\sigma)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\Delta\bar{P}_2}{(1+\Delta\bar{P}_2)^{\frac{1}{\gamma_1}}} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \quad (1)$$

$$\frac{d\bar{X}_f}{dt} = \bar{U}_{гз} + \bar{V}_1 \quad (2)$$

Уравнение (1), полученное с учетом законов сохранения, а также первого закона термодинамики, описывает динамику изменения избыточного давления продуктов горения ΔP_2 по времени. Уравнение (2) характеризует скорость изменения положения фронта пламени относительно начальной координаты X_f в зависимости от времени t .

Дополнительно используются алгебраические связи для скорости движения несгоревшего газа V_1 и его избыточного давления ΔP_1 (3), а также связи между значениями давления ΔP_1 и продуктов горения ΔP_2 (4):

$$\Delta\bar{P}_1 = \left[\left(1 + \frac{\gamma_1 - 1}{2} \bar{S}_L \bar{V}_1 \right)^{\frac{2\gamma_1}{\gamma_1 - 1}} - 1 \right] \quad (3)$$

$$\Delta\bar{P}_2 = \Delta\bar{P}_1 - (1 + \Delta\bar{P}_1)^{\frac{1}{\gamma_1}} (\sigma - 1) \bar{U}_{гз}^2 \bar{S}_L^2 \quad (4)$$

Зададим исходные данные:

Для стехиометрической метано-воздушной смеси показатель адиабаты несгоревшего газа $\gamma_1 = 1,4$, а продуктов горения $\gamma_2 = 1,27$. Скорость ламинарного пламени S_L принимается равной 0,4 м/с. Эффективная скорость горения обезразмеривается на эту величину. Степень расширения при горении задается равной 7, что характерно для обычных воздушных пламен.

В упрощенном виде безразмерная эффективная скорость горения $U_{гз}$ может быть представлена следующим образом [1]:

$$\bar{U}_{гз} = \bar{A}_f (1 + K\bar{V}_1) \quad (5)$$

Здесь A_f – безразмерная площадь пламени; K – параметр, характеризующий турбулизацию смеси.

Для данной работы был произведен расчет на основе системы уравнений, описанной выше. В качестве рабочего тела рассматривалась труба квадратного сечения и размерами 25 x 25 см.

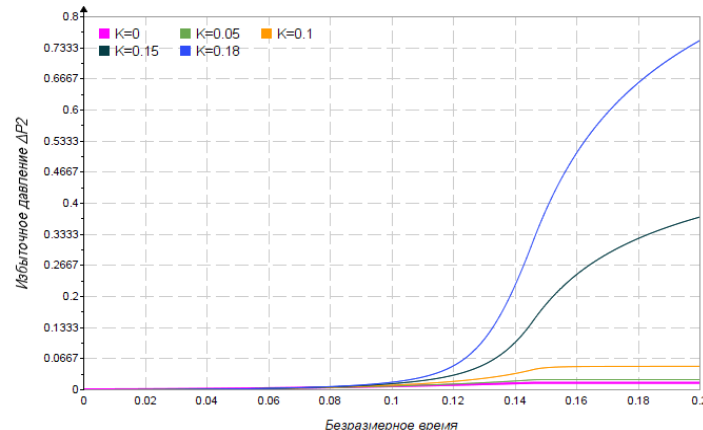


Рисунок 2. Изменение изб. давления в продуктах горения в зависимости от K

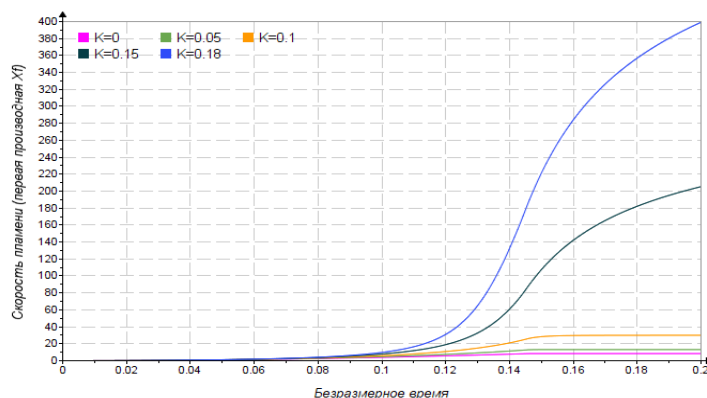


Рисунок 3. Изменение скорости фронта пламени в зависимости от K

Кривые, изображенные на рис. 2, описывают изменение максимального давления в продуктах горения в зависимости от выбранного значения параметра турбулизации смеси. При $K = 0,15$ наблюдается значительный рост давления, которое на момент 123 мс (0,2 на оси безразмерного времени) составляет около 38 кПа. Максимальное значение давления при $K = 0,18$ на крайней точке соответствующей кривой увеличивается в два раза по сравнению с предыдущим значением и равно приблизительно 76 кПа.

Также приведем зависимости скорости фронта пламени от времени при выбранных значениях K (рис. 3). При K близких к нулю скорость пламени близка к ламинарной. С увеличением K все больше увеличивается ускорение пламени. Таким образом, скорость в крайней точке кривой при $K = 0,15$ составляет примерно 82 м/с, а при $K = 0,18$ – уже около 160 м/с.

Отметим, что параметр $S_{ист}$ в уравнении (1) является площадью истечения, через которую истекают продукты горения с определенной скоростью. В приведенных выше расчетах $S_{ист}$ принималась нулевой. Тем не менее, если рассчитать ΔP_2 и найти производную X_f по времени при $S_{ист}$ равной, например, 0,1 то при максимальном значении K , при котором достигается наибольшее ускорение пламени мы получим, что максимальное избыточное давление в продуктах горения уменьшится – примерно до 25 Па, как и скорость пламени – до 98 м/с.

В случае выхода продуктов горения через частично открытый левый конец трубы уменьшается скорость увеличения площади горения и, как следствие, скорость движения газа впереди фронта пламени – действие ударной волны ослабевается. Таким образом, уменьшается и скорость горения.

На сегодняшний день влияние начальных условий на динамику взрыва активно исследуется. Существует множество теоретических работ в отношении расчета параметров взрыва, сопровождающегося ускорением горения при его взаимодействии с преградами [2], [3]. В работе [4] подчеркивается большое влияние геометрических параметров облака и места его зажигания на характер взрывной волны при расчете аварийных взрывов в открытом пространстве. Имеются также экспериментальные работы – как с применением лабораторных установок различных конструкций [5], [6], так и работы по численному моделированию механизмов ускорения пламени [7], [8].

Выводы. Было определено, что большему значению K соответствует большая загроможденность пространства преградами, с которыми взаимодействует распространяющееся пламя, и более интенсивное ускорение горения. Возможность истечения продуктов сгорания в атмосферу, напротив, снижает способность пламени ускоряться. Большая площадь истечения соответствует большей возможности истечения продуктов горения. При этом чем больше площадь истечения из левого конца трубы, тем меньше эффективная степень расширения газа. Продукты горения, вышедшие через отверстия в воздух, не участвуют в работе, толкающей несгоревший газ впереди фронта пламени, вследствие чего скорость последнего снижается.

Литература:

1. Щелкин К. И., Трошин Я. К. Газодинамика горения / Акад. наук СССР. Ин-т хим. физики. — М. : Изд-во Акад. наук СССР. — 1963. — 255 с.
2. Иванов В.С., Фролов СМ. Математическое моделирование распространения пламени в гладких трубах и трубах с регулярными препятствиями // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19. — № 1. — С. 14-19.

3. Сулименко В.А., Тетерин И.А. Влияние аэродинамических характеристик преград на параметры взрыва газовой смеси // *Безопасность Труда в Промышленности*. — 2022. — № 3. — С. 56–62.
4. Горев, В.А. Влияние формы облака и места инициирования взрыва на характер взрывной волны / В.А. Горев, Г.М. Медведев // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2012. — Т. 21. — №6. — С. 29-33.
5. Shy S.S., Lin W. J., Peng K.Z. High-intensity turbulent premixed combustion: General correlations of turbulent burning velocities in a new cruciform burner // *Proceedings of the Combustion Institute*. — Vol. 28. — I. 1. — 2000. — P. 561–568.
6. Phylaktou H., Andrews, G. E. The acceleration of flame propagation in a tube by an obstacle // *Combustion and Flame*. — № 85(3-4). — 1991. — P. 363–379.
7. Xiao H., Oran E.S. Effect of Obstacle Shape on Flame Acceleration and Transition to Detonation in an Obstructed Channel // *Proceedings of the Ninth International Seminar on Fire and Explosion Hazards (ISFEH9)*. — 2019. — P. 279-288.
8. Hongfu M., Shuo W. Analysis of obstacle shape on gas explosion characteristics // *Process Safety and Environmental Protection*. — № 161. — 2022. — P. 78-87.

ОЦЕНКА ВЫПОЛНЕНИЯ УСЛОВИЯ БЕЗОПАСНОЙ ЭВАКУАЦИИ ИЗ ДЕТСКИХ ИГРОВЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Пузач С.В.,

зав. кафедрой ФГБОУ ВО «Академия ГПС МЧС России»

Бачурин Д.В.,

главный инженер ООО «НПО «Инженерные решения»

Аннотация. Приведены результаты измерения дымообразующей способности образцов мягких игрушек производства Китая. Представлены результаты оценки выполнения условия безопасной эвакуации из детских игровых помещений.

Ключевые слова: фосген; циановодород; коэффициент дымообразования; время блокирования путей эвакуации.

Введение. Безопасная эвакуация детей при пожаре в детских игровых помещениях, расположенных в детских дошкольных учреждениях, многофункциональных торгово-развлекательных центрах и т.п., является одной из основных задач пожарной безопасности этих зданий [1]. В вышеуказанных помещениях находится большое количество горючей нагрузки, например, детские мягкие игрушки. Однако в базе данных типовой пожарной нагрузки [2] нет пожароопасных свойств мягких игрушек.

Качественный и количественный состав токсичных газов, образующихся при терморазложении мягких игрушек, представлен в работе [3]. Однако данных по их дымообразованию нет, что может привести к серьезной недооценке пожарной опасности детских игровых комнат.

Целью работы является оценка выполнения условия безопасной эвакуации из детских игровых помещений с учетом экспериментальных данных работы [3] и удельных коэффициентов дымообразования, полученных в данной работе при терморазложении мягких игрушек производства Китая.

Результаты экспериментов и их анализ. В качестве исследуемых мягких игрушек, как в работе [3], взяты наиболее распространенные игрушки производства Китая.

Показано, что основной вклад в развитие пожара вносит внешняя тканевая оболочка. Поэтому образцы для проведения экспериментов изготавливались только из внешней оболочки.

Испытания проводились на стандартной установке для определения коэффициента дымообразования твердых веществ и материалов (ГОСТ 12.1.044-2018. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения).

Экспериментальные исследования проводились при плотности падающего теплового потока $q=15$ кВт/м² (тлеющее горение) или 35 кВт/м² (пламенное горение).

В таблице 1 представлены средние величины удельного коэффициента дымообразования. При этом по результатам всех проведенных экспериментов среднее значение при тлении равно $D_m=711$ Нп·м²/кг и при горении составило $D_m=1177$ Нп·м²/кг.

Табл. 1

Средние величины коэффициента дымообразования

№ образца	Плотность падающего теплового потока, q , кВт/м ²	Начальное значение массы образца, m , г	Коэффициент дымообразования, D_m , Нп·м ² /кг
1	15	1,0	570
		1,0	671
		1,0	698
2	35	1,5	558
		1,5	500
		1,0	602
3	15	1,0	709
		1,0	887
		1,0	729
4	35	1,5	1373
		1,5	1496
		1,5	1373

5	35	1,34	1430
		1,0	1356
		1,0	1356
		1,0	1430
		1,0	1473

Наиболее близкие к горючей нагрузке детских игровых комнат пожароопасные свойства горючих нагрузок, включенных в базу данных [4], являются: «здания I-II степени огнестойкости: мебель +бытовые изделия», «упаковка: бумага+картон+поли(этилен+стирол)» и «промтовары; текстильные изделия».

Наиболее подходящей для детских игровых помещений в «Приказ МЧС России от 14 ноября 2022 г. № 1140 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности»» в таблице П.9.1 Приложения №9 является нагрузка «административные помещения, учебные классы школ,

ВУЗов; кабинеты поликлиник, палаты больниц и стационаров».

Сравнение полученных экспериментальных данных с соответствующими показателями вышеуказанных пожарных нагрузок показало, что коэффициент дымообразования при пламенном горении мягких игрушек имеет наибольшее значение.

Величины удельных массовых коэффициентов образования токсичных газов при горении мягких игрушек принимаются равными $L_{CO}=0,034$; $L_{HCN}=0,00135$; $L_{COCl_2}=0,002$; $L_{NO_2}=0,0125$ [3]. Удельный массовый коэффициент потребления кислорода равен $L_{O_2}=-2,19$, удельная массовая скорость выгорания составляет $\psi=0,003$ кг/(с·м²) [3].

В первом приближении принимаем удельную низшую рабочую теплоту сгорания $Q_p^H=16,7$ МДж/кг и линейную скорость распространения пламени $w=0,0071$ м/с, как для горючей нагрузки «промтовары; текстильные изделия» [2].

Таким образом, в существующую базу данных пожарной нагрузки можно добавить новую нагрузку «мягкие детские игрушки» с последующим уточнением Q_p^H и w .

Проведены расчеты времени блокирования путей эвакуации ОФП для вышеуказанных пожарных нагрузок и предложенной нагрузки.

Время начала эвакуации ($\tau_{нэ}$) из детских дошкольных учреждений принято равным [4]: $\tau_{нэ}=0,54$ мин. - летом; $\tau_{нэ}=4,5$ мин. - весной и осенью; $\tau_{нэ}=7,3$ мин. - зимой; $\tau_{нэ}=1,02$ мин. - при использовании одеял в холодный период времени года.

Математическая модель. Использовались аналитические соотношения интегральной модели [2] для расчета времени блокирования путей эвакуации.

Критические значения парциальных плотностей токсичных газов принимались в соответствии с работой [3], в которой уточнены соответствующие величины, приведенные в «Свод правил. СП 11.13130.2009. Места дислокации подразделений пожарной охраны. Порядок и методика определения».

Результаты численных экспериментов и их анализ. Результаты расчета времени блокирования путей эвакуации ($\tau_{бл}$, с) опасными факторами пожара для различных площадей пола (F , м²) и высот (H , м) детских игровых помещений в случае горючей нагрузки «мягкие детские игрушки» представлены на рисунке 1.

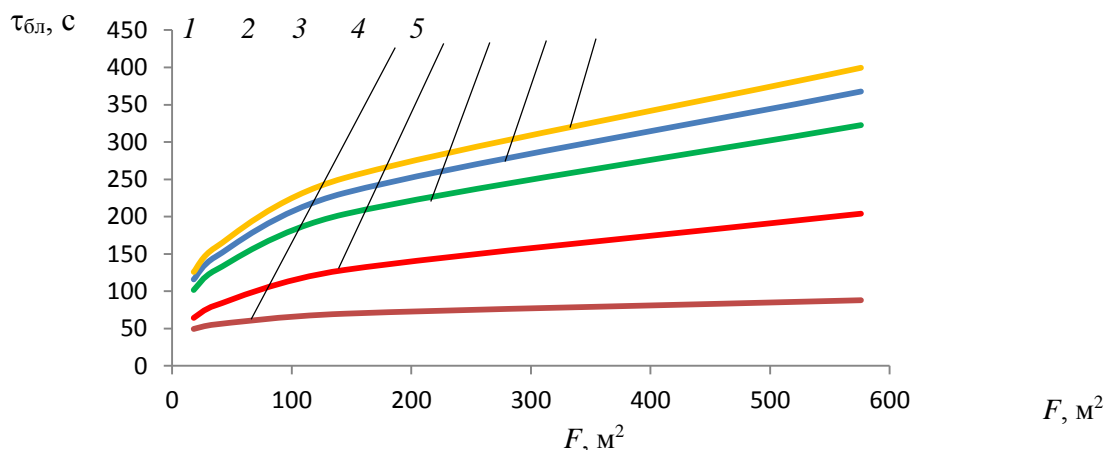


Рис. 1 - Зависимости времени блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара от площади пола помещения при его высоте $H=3$ м по: 1 – потере видимости; 2 – фосгену; 3 – температуре; 4 – кислороду; 5 – циановодороду.

Анализ результатов расчетов показал, что при горючей нагрузке «мягкие детские игрушки»:

- потеря видимости является первым ОФП, блокирующим пути эвакуации;
- парциальные плотности оксида и диоксида углерода не достигли своих критических значений;
- парциальные плотности фосгена и циановодорода достигли своих критических значений;
- парциальная плотность диоксида азота достигла своего критического значения только при высоте помещения $H=3$ м;

- высокотоксичный газ – фосген имеет минимальное время блокирования путей эвакуации среди токсичных газов.

При горючей нагрузке «здания I-II степени огнестойкости: мебель + бытовые изделия»:

- потеря видимости является первым ОФП, блокирующим пути эвакуации;
- парциальные плотности оксида и диоксида углерода не достигли своих критических значений.

Сравнение результатов расчета при различных горючих нагрузках показало, что:

- время блокирования путей эвакуации по потере видимости в случае горючей нагрузки «здания I-II степени огнестойкости: мебель + бытовые изделия» на 26% меньше, чем для нагрузки «мягкие детские игрушки»;

- время начала эвакуации зимой существенно больше необходимого времени эвакуации при обеих горючих нагрузках, т.е. условие безопасной эвакуации не выполняется даже при пренебрежении временем движения людских потоков в безопасную зону;

- время начала эвакуации летом для помещений небольших размеров больше необходимого времени эвакуации, т.е. условие безопасной эвакуации также не выполняется.

Заключение. При пожаре в детских игровых помещениях, расположенных в детских дошкольных учреждениях, многофункциональных торгово-развлекательных центрах и т.п., условие безопасной эвакуации при свободном развитии пожара не выполняется. Поэтому необходима разработка дополнительных противопожарных мероприятий.

Внесение новой горючей нагрузки «мягкие детские игрушки» в базу данных пожарной нагрузки позволит оценить степень возможного отравления детей и обслуживающего персонала смесью таких высокотоксичных газов, как монооксид углерода, фосген и циановодород.

Литература:

1. Присадков В.И., Мусликова С.В., Фадеев В.Е. К вопросу обеспечения пожарной безопасности торгово-развлекательных центров // Современные проблемы гражданской защиты. – 2020. – Т. 1. - №34. – С. 49-54.

2. Кошмаров Ю.А., Пузач С.В., Лебедченко О.С., Нгуен Тхань Хай Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении. – М.: Академия ГПС МВД России, 2021. - 148 с.

3. Пузач С.В., Бачурин Д.В., Акперов Р.Г., Болдрушкиев О.Б., Балаев А.А. Образование токсичных газов при горении мягких игрушек в многофункциональных торгово-развлекательных комплексах // Пожаровзрывобезопасность. 2023. Т. 32. № 1. С. 41–50. DOI: 10.22227/0869-7493.2023.32.01.41-50

4. Парфененко А.П. Нормирование требований пожарной безопасности к эвакуационным путям и выходам в зданиях детских дошкольных образовательных учреждений Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – М.: АГПС МЧС России, 2012. – 24 с.

ВЕРОЯТНОСТНО-ДЕТЕРМИНИРОВАННЫЙ ПОДХОД К РАСЧЕТУ ПОЖАРНОГО РИСКА ОТ ЛЕСНОГО ПОЖАРА

Пузач С.В., заслуженный деятель науки РФ,
профессор кафедры КБС, д.т.н., ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ»
Маламут О.Ю.,

ст. преподаватель кафедры инженерной теплофизики и гидравлики,
Академия ГПС МЧС России

Аннотация. Разработан новый подход к расчету пожарного риска от воздействия лесного пожара с учетом выполнения пассивных и активных противопожарных мероприятий по защите населенных пунктов.

Ключевые слова: лесной верховой пожар, кромка пожара, пирофизическая характеристика, метеорофизическая характеристика.

Введение. Существуют вероятностные и детерминированные методы расчета воздействия лесного пожара на жилые дома. Однако, вероятностный подход не учитывает конкретный механизм воздействия лесного пожара на конструкции дома, а детерминированный не принимает во внимание вероятности возникновения и развития пожара, а также своевременности прибытия пожарных подразделений для тушения. Поэтому актуальной задачей является объединение вышеуказанных подходов.

Методы и организация исследования. Верховой устойчивый повальный лесной пожар [1] является наиболее опасным сценарием лесного пожара (за исключением огненного шторма) по воздействию на горючие конструкции дома. Это связано с тем, что при этом виде пожара огонь движется сплошной стеной от надпочвенного покрова до крон деревьев с большой скоростью (до примерно 8 км/час) до полного выгорания леса [1]. Поэтому излучающая поверхность фронта пожара имеет наибольшие размеры и наибольшую эффективную температуру по сравнению с другими видами лесных пожаров.

Под пожарным риском будем понимать меру возможности реализации пожарной опасности лесного пожара для объекта защиты и ее последствий для людей и материальных ценностей.

Результаты и их обсуждение. Схема воздействия лучистого теплового потока, падающего на деревянные элементы конструкции жилого дома, расположенного вблизи кромки лесного массива, представлена на рисунке 1.

Математическая модель расчета плотности лучистого теплового потока от фронта лесного пожара учтена и используется в детерминированной части метода.

Рассмотрен наиболее опасный тип пожара (с точки зрения максимальной величины лучистого теплового потока, но без учета огненного шторма) – верховой устойчивый повальный пожар, когда огонь движется от надпочвенного покрова до крон деревьев сплошной стеной [1].

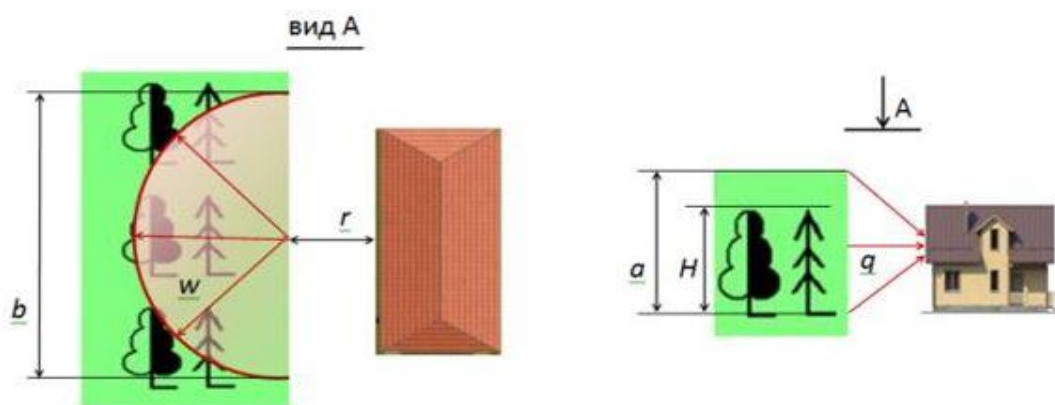


Рис. 1. Схема воздействия лучистого теплового потока на жилой дом от фронта верхового устойчивого повального лесного пожара

Значение для лучистого теплового потока определяется исходными данными задачи (расстояние от крайнего дома до кромки леса, высотой и плотностью расположения деревьев на данном участке), а

также учитывается тип растительности, конкретные пирологические характеристики леса и метеоусловия в данной местности.

Определим частоту пожарного риска с учетом работы пожарных подразделений по охлаждению горючих конструкций дома для предотвращения его возгорания от лучистого теплового потока, падающего от фронта лесного пожара. При этом тушение непосредственно лесного пожара, приводящее к изменению величины вышеуказанного теплового потока, не рассматриваем.

Время подачи первых средств тушения (τ_T , мин):

$$\tau_T = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4, \quad (1)$$

где: τ_1 – промежуток времени от возникновения лесного пожара до сообщения о нём, мин;

τ_2 – сбор личного состава по тревоге, мин;

τ_3 – время для следования подразделения, мин (в соответствии с техническим регламентом о требованиях пожарной безопасности, время прибытия первого подразделения к месту вызова в городских поселениях и городских округах не должно превышать 10 минут, а в сельских поселениях – 20 минут,); мин;

τ_4 – время для развертывания подразделения по введению первых средств тушения, мин.

Величины времен в формуле (1) определяются из исходных данных по характеристикам ближайших пожарных частей, расстоянию между ними и защищаемым объектом и т.д.

Индивидуальный пожарный риск Q_v (1/год), вызванный загоранием деревянных или других элементов конструкций жилого дома от падающего на них лучистого теплового потока от фронта лесного пожара, мы определяем по выражению, аналогичному используемому при расчете индивидуального пожарного риска в «Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности. Приложение к приказу МЧС России от 30.06.2009 № 382» для зданий общественного назначения:

$$Q_v = P_n P_o (1 - P_3) \prod_{i=1}^n (1 - P_{пзи}) , \quad (2)$$

где P_n – частота возникновения лесных пожаров (верховых), 1/год; P_o – вероятность воспламенения конструкций дома, когда отсутствуют противопожарные мероприятия; P_3 – вероятность эвакуации людей из дома наружу; $P_{пзи}$ – вероятность эффективности проведения i -го противопожарного мероприятия; n – количество данных мероприятий.

Время движения кромки лесного пожара определялась с помощью методики расчета, приведенной в работе [2].

Нагрев конструкций здания выполнялся согласно методике, описанной в работе [3].

Результаты расчетов пожарного риска по формуле (2) с учетом работы пожарных подразделений работы пожарных подразделений (без устройства минерализованной полосы) для рассмотренных выше исходных данных представлены в таблице 1.

Табл. 1

Результаты расчетов пожарного риска с учетом работы пожарных подразделений работы пожарных подразделений

Скорость кромки пожара, w , м/с	Время до загорания стены дома без противопожарных мероприятий, мин	Вероятность загорания без противопожарных мероприятий, P_o	Пожарный риск, 1/год	
			Время на подачу первых средств тушения, мин	
			5	10
0,04	5,18	0,999	0,005	4,995
1,11	2,28	0,999	4,995	4,995

Из табл. 1 видно, что увеличение времени подачи первых средств тушения в 2 раза (с 5 до 10 мин) при скорости распространения кромки фронта лесного пожара $w=0,04$ м/с приводит к увеличению пожарного риска в 1000 раз.

Заключение. Данная модель позволяет оценить пожарный риск для дома с учетом конкретных метеорологических условий, характеристик лесного массива, расстояния расположения дома от

кромки леса, пирологических и геометрических параметров (высота деревьев и т.д.), а также при проведении активных и пассивных противопожарных мероприятий.

Литература:

1. Щетинский Е.А. Спутник руководителя тушения пожара. – М.: ЗАО «Спецтехника», 2001. – 75 С.
2. Пузач С. В., Ле Ань Туан, Сафошкина К.Е. Многофакторная математическая модель расчета скорости распространения кромки лесного низового пожара // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2019. - № 4. - С. 7-15.
3. Пузач С.В., Маламут О.Ю. Вероятностно-детерминированный подход к расчету пожарного риска, вызванного воздействием лучистого теплового потока от фронта верхового устойчивого повального лесного пожара на жилой дом // Пожары и чрезвычайные ситуации: предупреждение, ликвидация. № 1. - С. 30–40. DOI:10.25257/FE.2022.1.30-40.

ОЦЕНКА НЕОБХОДИМОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ ТОКСИЧНОСТИ ГАЗОВОЙ СРЕДЫ ПРИ ПОЖАРЕ В ЗДАНИЯХ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ

*Пузач С.В., заслуженный деятель науки РФ,
профессор кафедры КБС, д.т.н., ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ»
Мельничук В.О.,
аспирант КБС НИУ МГСУ*

Аннотация. В данной статье рассматривается вопрос о необходимости проведения дополнительных исследований в области токсичности выделяемых продуктов горения при пожарах в зданиях общеобразовательных учреждений.

Ключевые слова: пожарная безопасность, токсикология, общеобразовательные учреждения, школы, учащийся, отравление, газ, опасные факторы пожара.

В рамках национального проекта «Образование» с 2019 по 2024 год на территории РФ должно появиться 1 034 252,0 000 созданных новых мест в общеобразовательных организациях, в том числе расположенных в сельской местности и поселках городского типа. Также предусмотрено развитие уже построенных образовательных объектов. По итогам 2022 года на данный момент возведено порядка 800 новых школ с мощностью 498 000 учебных мест. Мощность отдельных заведений в крупных жилых районах варьируется в диапазоне 1000-1225 учебных мест. Проводя общую оценочную аналитику данным объектам, можно выделить следующие преимущества и недостатки проектов с точки зрения пожарной безопасности, приведенных в таблице 1.

Табл.1

Преимущества и риски новых современных зданий общеобразовательных учреждений

Преимущества	Риски
Проектирование с учетом актуальной нормативной документации	- Объемы и темпы возведения объектов увеличивают риск недостаточного контроля по проектным и рабочим решениям в строительстве (в т.ч. контроль за стройматериалами); - Большое число современных изделий и облицовочных стройматериалов имеют полимерную основу с неизвестными пожарными свойствами
Новое электротехническое оборудование	Увеличенная нагрузка на электрическую сеть
Современные системы пожарной безопасности	- Увеличение среднего числа учащихся и педагогического состава; - Усложненная индивидуальная планировка, влияющая на качество мероприятий по ПБ; - Хранение остатков строительных материалов для дальнейшей эксплуатации

Исходя из данного анализа, можно сделать промежуточный вывод о том, что возникновение пожара в данных учреждениях может нести большие риски для жизни учащихся и педагогов при осуществлении определенных сценариев.

Основной угрозой, представляющей опасность при пожарах, согласно данным ФГБУ ВНИИПО МЧС РОССИИ (научно-исследовательский институт противопожарной обороны) из таблицы 2 является отравление токсичными продуктами горения.

Табл.2

Статистика по причине гибели людей из-за отравления токсичными продуктами горения при пожаре

Год	2018	2019	2020	2021	2022
Число погибших, чел.	5458	5309	5223	5090	5313
Доля от общего числа погибших при пожарах, %	69,01	62,03	62,85	60,9	69

При этом научные исследования в области токсикологии показывают, что массовое применение полимерных материалов усиливают риски и усложняют безопасную эвакуацию. Опираясь на научную литературу можно получить вывод о том, что экспертиза и нормативно-закрепленные требуемые испытания не дают полноценной картины о токсикологических образованиях при пожарах.

На основании анализа экспериментальных данных по воздействию СО на человека сделан вывод о том, что непрерывное воздействие монооксида углерода с вышеуказанной концентрацией рСО.кр. в течение 25 мин. безопасно для человека.

Однако, экспериментальные исследования влияния СО на человека, как правило, проводились в условиях, когда не было других опасных факторов пожара .

Результаты расчетов показали, что по таблице 3 при максимальной объемной скорости вентиляции легких, соответствующей диффузионной способности легких по СО.

Табл.3

Сравнение времени отравления от концентрации СО

- при рСО=0,0007 кг/м ³	- при рСО=0,0012 кг/м ³
<p><i>средний взрослый человек:</i> легкое отравление через τэ=1,81 мин; среднетяжелое отравление – τэ=4,53 мин; <i>взрослый человек с минимальной массой гемоглобина:</i> легкое отравление – τэ=1,26 мин; среднетяжелое отравление – τэ=3,16 мин.</p>	<p><i>средний взрослый человек:</i> легкое отравление – τэ=1,06 мин; среднетяжелое отравление – τэ=2,64 мин; <i>взрослый человек с минимальной массой гемоглобина:</i> легкое отравление – τэ=0,74 мин; среднетяжелое отравление – τэ=1,84 мин.</p>

Это связано с особенностями вентиляции легких, взаимодействии СО с гемоглобином крови и образовании карбоксигемоглобина, который не способен переносить кислород.

Но помимо экспериментальных данных, которые подтверждают, что воздействие СО на человека начинается при ранних сроках, есть перечень других токсикологических образований, выделяющихся при горении: Двуокись углерода(СО₂), Оксид углерода (СО), Циановодород (HCN), Хлороводород (HCl), Второводород (HF), Оксиды азота (NOx), Аммиак (NH₃), Уксусная кислота (CH₃COOH), Ацетон ((CH₃)₂CO), Формальдегид (HCHO), Акролеин (CH₂CHCHO), Фосген (COCl₂) и прочие образования.

Так, согласно исследованиям, сигнальный кабель марки НГ LS FR HF E1180, рекомендованный для прокладки в зданиях различного назначения: спортивные объекты, театры, офисные и торговые комплексы, ясли, детские сады и т.п., - при горении выделяет СО и HCN в концентрациях, превышающих предельно допустимые величины.

Помимо отдельных уникальных свойств и пагубного влияния этих токсичных образований, одновременное поступление продуктов горения материалов, состоящих из множества химических элементов, приводит к аддитивности действия токсичных газов, например, все те же СО и HCN создают смертельно-опасную удушающую газовую смесь.

Параллельно с научными исследованиями о выделении концентрациях токсичных образований научным обществом ведутся исследования о токсичных продуктах с медицинской точки зрения. 1 декабря 2022 г. в Санкт-Петербургском университете ГПС МЧС России состоялась V Всероссийская научно-техническая конференция «Пожарная безопасность объектов капитального строительства. Нормативы, проектирование, устройство и эксплуатация». На ней было представлено исследование о нарушении обучаемости лабораторных животных в отдаленном периоде интоксикации продуктами горения пенополистирола, пенополиэтилена и вспененного каучука, в рамках которого было выявлено пагубное воздействие интоксикации на когнитивные функции лабораторных животных.

Приведенные исследования позволяют нам сделать вывод о недостаточном объеме данных для прогнозирования опасных факторов пожара в области токсичности и необходимости проведения лабораторных испытаний с опытными образцами современных полимерных эксплуатируемых материалов на выделение и концентрации различных токсичных образований продуктов горения помимо СО и СО₂.

Литература:

1. Паспорт национального проекта РФ «Образование»/
https://edu.gov.ru/application/frontend/skin/default/assets/data/national_project/main/Паспорт_национального_проекта_Образование.pdf
2. Возведение объектов в рамках национального проекта «Образование»/
<https://национальныепроекты.рф/news/svetlye-i-prostornye-kak-v-rossii-stroyat-shkoly-po-natsproektu>
3. Монография Под редакцией заслуженного деятеля науки РФ, доктора технических наук, профессора С. В. Пузача «Образование, распространение и воздействие на человека токсичных продуктов горения при пожаре в помещении»;
4. О.С. Лебедченко, С.В. Пузач, Р.Г. Акперов, О.Б. Болдрушкиев // Образование токсичных газов при терморазложении негорючих сигнальных кабелей во время пожара помещений //
5. Пузач С.В., Бачурин Д.В., Акперов Р.Г., Болдрушкиев О.Б., Балаев А.А. // Образование токсичных газов при горении мягких игрушек в многофункциональных торгово-развлекательных комплексах // Журнал «Пожаровзрывобезопасность» НИУ МГСУ – 09.01.2023 стр. 41-50
6. Пузач С.В., Болдрушкиев О.Б., Акперов Р.Г., Фролов А.Г. // О Необходимости Учета Совместного Воздействия Токсичных Продуктов Горения При Определении Времени Блокирования Путь Эвакуации // В книге: Ройтмановские чтения. Сборник материалов 10-ой научно-практической конференции. Под редакцией Д.А. Самошина . Москва, 2022. С. 96-99.
7. Толкач П.Г., Башарин В.А., Гребенюк А.Н. // Оценка Нарушений Функций Центральной Нервной Системы После Тяжелого Отравления Оксидом Углерода В Эксперименте // журнал [«Бюллетень Экспериментальной Биологии И Медицины»](#) АНО «Издательство российской академии медицинских наук»
8. Толкач П.Г., Башарин В.А., Дмитриев Ю.В. «Нарушение обучаемости лабораторных животных в отдаленном периоде интоксикации продуктами горения строительных материалов»

СПОСОБ СПАСЕНИЯ ПРИ ТУШЕНИИ ПОЖАРА В ПЕРИОД ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА, РЕКОНСТРУКЦИИ, КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА ОБЪЕКТА КАПИТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Данилов М.М.,

доцент кафедры пожарной тактики и службы (в составе УНК пожаротушения), к. т. н., ФГБОУ ВО «Академия Государственной противопожарной службы МЧС России»

Денисов А.Н., профессор

кафедры пожарной тактики и службы (в составе УНК пожаротушения), д. т. н.,

Еремина Т. Ю.,

профессор кафедры КБС, д. т. н. ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ»,

Хохлова А. Ю.,

профессор кафедры надзорной деятельности(в составе УНК организации надзорной деятельности), к. т. н., доц.,

Есаков Р. В., магистрант кафедры пожарной тактики и службы (в составе УНК пожаротушения)

ФГБОУ ВО «Академия Государственной противопожарной службы МЧС России»

Аннотация. В статье рассматривается способ спасения, человека (строителя) при тушении пожаров на объектах, где осуществляется строительство, реконструкция, капитальный ремонт объектов капитального строительства. Смоделирован режим спасения, определяющий перспективные направления для проведения спасательной операции.

Ключевые слова: Строитель, «аварийный строитель», защита, спасение, аварийное спасение, строительство, реконструкция, капитальный ремонт, объект капитального строительства.

Введение. Рассматриваемая задача спасения в условиях комплексной безопасности и поддержки управления пожарно-спасательными подразделениями при организации действий по тушению пожаров на объектах капитального строительства актуальна. Изучение практического опыта позволяет не повторять ошибки. Цена ошибки пожарных – человеческие жизни.

Одним из главных критериев, определяющих особенности действий по организации тушения пожара и расследованию обстоятельств его возникновения, является некоторая совокупность признаков, позволяющих отнести пожар к категории крупных [1].

В зданиях капитального строительства пожарно-спасательные подразделения работают в критических значениях опасных факторов пожара для обычного человека. Так Национальным институтом гигиены и безопасности труда опубликованы результаты исследования среди американских пожарных, которые можно считать анализом влияния опасных факторов пожара (далее ОФП) на людей. Это исследование было самым крупным, нем участвовало свыше 30 тысяч пожарных, которые служили в период с 1950 по 2010 год. Проводя анализ значения данного и подобных исследований выявлено, что люди (строители) при пожаре имеют дело с токсичными продуктами горения.

Исходя из условий проведения строительных работ, можно сделать вывод что строители не защищены комплексно от воздействия на них опасных факторов. Так для соотношения влияния опасных факторов пожара на людей, осуществляющих строительство, реконструкцию, капитальный ремонт объекта капитального строительства, необходимо принимать комплекс защитных мер.

Использование разрабатываемого способа спасения строителя позволит совершенствовать действия пожарно-спасательных подразделений в режиме спасения человека. Развитие этого направления позволит не только обеспечить эффективное спасение человека (в специальной защитной одежде) в экстремальных ситуациях, но и снизить риск его нахождения в здании во время пожара. Это делает способ исключительно актуальным и значимым в области пожарной безопасности объектов, на которых осуществляется строительство, реконструкция, капитальный ремонт.

Цель исследования. Формализовать существующий способ спасения, применяемые звеном газодымозащитной службы при тушении пожаров и предложить способ спасения в зданиях и сооружениях (в том числе строящихся) в период осуществления строительства, реконструкции, капитального ремонта объекта капитального строительства.

Материалы и метод исследования. Область действий при тушении пожара в зданиях и методы спасения во время тушения пожаров являются важными и актуальными не только в сооружениях, принятых на эксплуатацию. Рассмотренный метод [2] с учетом требуемого уровня безопасности в строящихся зданиях. Но в данный момент этот метод проходит стадию научного обоснования и в

рамках исследования предлагается интегрировать способ спасения, используемый звеньями газодымозащитной службы для спасения строителей. Для этого мы выделили направления:

- Проанализировать существующие методы и средства спасения.
- Определить основные требования и критерии в условиях обращения опасных веществ, а также с учетом особенностей зданий.
- Исследовать современные технологии и инновационные разработки в области спасения при пожарах в зданиях.
- Предложить способ спасения, учитывая результаты анализа и полученный опыт при тушении пожаров на реальных объектах.

На основе анализа [3] определен вектор современного подхода к оценке качества деятельности руководителя пожарно-спасательного подразделения при принятии решений в области организации тушения пожаров, исходя из тактических возможностей. По данному направлению исследования, одним из подходов является использование специализированного оборудования, такого как современные средства индивидуальной защиты органов дыхания и зрения (далее СИЗОД) [4]. Это позволяет сотрудникам газодымозащитной службы проводить спасение людей в условиях ОФП. Однако, такие условия спасения требуют обеспечения применения поддерживающих данное решение средств. Дополнительно, можно обратить внимание на необходимость совершенствования оборудования и технологий, используемых строителями. Например, разработка более совершенной унифицированной формы строителя и повышения уровня подготовки для обеспечения безопасности строителей.

Существующие методы и средства спасения при тушении пожаров помогают определить и оценить эффективность, надежность и соответствие потребностям спасения, как шаг в сторону собственной безопасности [5].

Результаты и их обсуждение. Предлагается способ спасения аварийного строителя, учитывая результаты анализа открытых литературных источников и полученный опыт при тушении пожаров на реальных объектах. Рассмотренные методы [6] ставят вопрос по спасению людей из этажей зданий и прежде всего в связи с ограниченностью применения пожарных автолестниц и коленчатых подъемников, в том числе исходя из низкого качества формулировок требований.

Анализ открытых литературных источников показал, что строительство является важным инструментом и может играть роль в обеспечении качества и безопасности при качественном расчетном обосновании адресных решений в неотъемлемой части системы пожарной безопасности. С точки зрения главных целей качество направлено и обеспечивает: безопасность и здоровье людей в т.ч. участников, осуществляющих строительство, реконструкцию, капитальный ремонт объекта.

В целом наша оценка целесообразности, с точки зрения безопасности произведена на основе групп критериев, таких как: сокращения времени реагирования, снижение риска, увеличение эффективности обеспечения тушения пожара, и согласования решений при тушении пожаров.

В качестве меры, способной в подобных ситуациях помочь в спасении лиц, осуществляющих строительство, реконструкцию, капитального ремонта объекта капитального строительства, предлагается метод спасения пожарного. Но на объектах, находящихся в стадии строительства сложно прогнозировать как само развитие пожара, так и наличие опасностей в зоне тушения пожара.

Результаты опытных учений и реальных действий при тушении пожара позволили провести сравнительный анализ используемых средств спасения применяемых при тушении зданий, систематизировать ключевые недостатки и преимущества каждого способа через критерии к обоснованию основной задачи. Рассмотрим использование такого подхода на примере анализа альтернативы, к спасению строителя имеющего, в своем оснащении предлагаемый модуль.

Рассмотрим модуль обеспечения личной защиты строителя на примере модификации боевой одежды пожарного (рисунок 1).



Рис. 1. Концепт обеспечения личной защиты строителя, на примере модификации боевой одежды пожарного: а) вид спереди, б) вид сзади

Практика показывает, что современные требования к одежде диктуют не только условия обеспечения безопасной работы, но и максимальные уровень функциональности и комфорта. Поэтому в настоящий момент для спасения «аварийных» строителей, не способных передвигаться самостоятельно, может быть использовано множество вариантов их транспортировки представленных в виде модификации на примере спасения «аварийного» пожарного, отражённого на рисунке 2.



Рис. 2. Способ обеспечения спасения пожарного - варианты транспортировки:
а), б), в) – горизонтальная транспортировка,
г), д) – вертикальная транспортировка

Наиболее трудоемким этапом спасения «аварийного» строителя является подъем пострадавшего, его отрыв от пола. Имеется несколько практически апробированных способов: подъем от стены; подъем способом «обвертка»; подъем на руки. При этом способ «подъем на руки», инстинктивно применяемый пожарными (особенно малоопытными газодымозащитниками), возможен только с малогабаритными пострадавшими и может быть не применим к людям исходя из иных показателей здоровья и, особенно к «аварийным» без сознания.

Заключение. В результате проведенного комплексного анализа открытых литературных источников, следует, что минимизация потерь от пожаров является важным фактором устойчивого социально-экономического развития страны и одной из составляющих общественной безопасности. Развитие командной работы по интеграции данного способа в экипировку заинтересованных лиц и взаимодействия с другими структурами может позволить более успешно спасать людей и тушить пожары, но необходимо дальнейшее исследование. С целью сохранения жизни и здоровья строителей предлагается усовершенствовать комплект одежды системой «модуль спасения аварийного строителя» (встроенные петли самоспасения и страховочная система). Данный модуль одежды позволит минимизировать время спасения совершенствуя комплекс мер.

Выводы. Представленный способ спасения в перспективном развитии предлагается внедрить в экипировку рабочих (строителей) при проведении строительных работ в зданиях и сооружениях. Такой способ спасения позволит использовать тактические возможности пожарно-спасательных подразделений на строящихся объектах наиболее эффективно и использовать метод ранжирования при спасении пострадавших в дальнейшем развитие рассматриваемого вопроса.

Литература:

1. Власов, К. С. Крупные пожары – критерии отбора / К. С. Власов, М. М. Данилов, А. Н. Денисов // Пожарная безопасность. – 2020. – № 3(100). – С. 65-72. – DOI 10.37657/vniipro.pb.2020.99.86.008. – EDN GLYIJG

2. Интеграция метода поддержки управления комплексной безопасности в строительстве в боевые действия подразделений пожарной охраны / М. М. Данилов, А. Н. Денисов, Д. С. Евтеев, А. А. Антипова // Актуальные проблемы комплексной безопасности в строительстве, тенденции развития в современных условиях : Сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции , Москва, 30 ноября 2022 года. – Москва: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2023. – С. 38-41. – EDN WYPPDC

3. Данилов, М. М. Анализ комплексных условий крайней необходимости и обоснованного риска при выполнении основной боевой задачи / М. М. Данилов, М. А. Есева, Д. С. Корчиго // Угрозы возникновения чрезвычайных ситуаций на потенциально опасных объектах в условиях проведения специальной военной операции : Материалы межвузовского семинара, Санкт-Петербург, 06 октября 2022 года. – Санкт-Петербург: 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», 2022. – С. 15-18. – EDN JETXXF

4. Фионин, Г. Е. Средства индивидуальной защиты органов дыхания пожарных и спасателей на современном этапе / Г. Е. Фионин, И. В. Сараев // Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов : Сборник материалов IX Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 90-летию образования гражданской обороны, Иваново, 19 апреля 2022 года. – Иваново: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий», 2022. – С. 434-444. – EDN VOGFDI

5. Анализ метода аварийной разведки и спасения пожарных / В. Н. Ткачев, М. М. Данилов, А. Н. Денисов [и др.] // Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации : Материалы VII Международной научно-практической конференции. В 2-х частях, Москва, 24 ноября – 08 декабря 2020 года. Том Часть 2. – Москва: Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2020. – С. 57-62. – EDN MVMVPT

6. Поддержка управленческого решения при спасении человека с использованием аварийно-спасательных средств в зданиях повышенной этажности / В. А. Максимкин, А. В. Иванов, А. Н. Денисов, М. М. Данилов // Студенческий форум. – 2023. – № 3-1(226). – С. 5-11. – EDN ORTWWR.

ИНТЕГРАЦИЯ МЕТОДА ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Данилов М.М.,

доцент кафедры пожарной тактики и службы (в составе УНК пожаротушения), к. т. н.,

Денисов А.Н., профессор

кафедры пожарной тактики и службы (в составе УНК пожаротушения), д. т. н.,

Королев П.С.,

адъюнкт кафедры пожарной тактики и службы (в составе УНК пожаротушения)

ФГБОУ ВО «Академия Государственной противопожарной службы МЧС России»

Аннотация. Рассматривается задача интеграции метода обеспечения комплексной безопасности и поддержки в строительстве в управление пожарно-спасательными подразделениями при строительстве подземных сооружений. Актуальным вопросом является реализация сценариев проведения разведки пожара и боевого развертывания в граничных условиях пожаротушения при ведении боевых действий по тушению пожара в подземных сооружениях. Предлагается внедрение решения для подачи воздуха от пожарного автомобиля-базы газодымозащитной службы, позволяющего повысить эффективность работы в непригодной для дыхания среде с детализацией безопасности звеньев газодымозащитной службы при аварийном сценарии.

Ключевые слова: управление, альтернатива, боевое развертывание, боевые действия, тушение пожаров, граф, подземные сооружения, решение задачи, аварийный сценарий.

Введение. Проектирование решений по обеспечению комплексной безопасности при решении задач управления в организационной системе проведения боевых действий по тушению пожара (далее – БД по ТП) на месте пожара в подземных сооружениях (далее – ПС) осуществляется пожарно-спасательными подразделениями (далее – ПСП), которые включаются в множества управляющей и управляемой подсистем, при этом управляемая подсистема является группировкой привлеченных сил и средств на тушение пожара.

На пожаре в ПС может возникнуть ряд обстоятельств, способствующих развитию пожара, и как следствие, к осложнению обстановки. К таким обстоятельствам можно отнести: позднее сообщение о пожаре; длительное отключение силовых электрических кабелей; высокая протяжённость кабельного тоннеля; повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения; снижение видимости в дыму и высокая температура; опасные факторы вспышки перегретого масла маслонаполненных силовых кабелей, аварийные сценарии для звеньев газодымозащитной службы (далее – ГДЗС).

Методы и организация исследования. Сложность обстановки в рассматриваемых сценариях ведения БД по ТП на месте пожара в ПС, будет сказываться как увеличение времени принятия решений, увеличение времени на выполнение поставленных задач и повышение количества граничных условий пожаротушения [1] при их идентификации. Так, при реализации сценария проведения боевого развертывания сил и средств на месте пожара, влияние температуры окружающей среды на действия пожарно-спасательных подразделений (что является одним из основных граничных условий при ведении БД в ПС), связанных с работами, проводимыми в движении на расстояния, может быть описано коэффициентом K_1^D [2]:

$$K_1^D = \begin{cases} (2,18 \cdot 10^{-4})t^2 - 2,0 \cdot 10^{-3}t + 0,99, & \text{при } t < 0 \\ 1, & \text{при } t \in [0; 25] \\ 0,02t + 0,5, & \text{при } t \in (25; 30) \\ (2,18 \cdot 10^{-4})t^2 - 2,0 \cdot 10^{-3}t + 0,99, & \text{при } t \geq 30 \end{cases} \quad (1)$$

где: t – окружающая температура воздуха.

Таким образом действия, включающие в себя проведение разведки, развертывание и др. как работа личного состава пожарно-спасательных подразделений, непосредственно в ПС при ведении БД по ТП на месте пожара сопровождается повышенной температурой окружающей среды, то распределение коэффициента K_1^D будет составлять зависимость (на примере диапазона температур рассчитанной на диапазон рабочей температуры согласно руководству пользования средства индивидуальной защиты органов дыхания):

Исходя из представленной зависимости повышающего коэффициента от окружающей

температуры (Рисунок 1), повышенная температура окружающей среды существенно сказывается на производительности личного состава ПСП при проведении боевого развертывания сил и средств. Например, прокладка магистральной рукавной линии (77 мм), при нормальных условиях работы (25 °С) на расстояние 160 м (10 рукавов напорных) составляет 155 с, а уже в условиях работы при температуре окружающей среды порядка 55 °С будет составлять 239 с. Наблюдается увеличение времени выполнения работ в 1,54 раза, при увеличении температуры окружающей среды в 2,2 раза (зависимость времени проведения боевого развертывания от окружающей температуры представлена на рисунке 2).

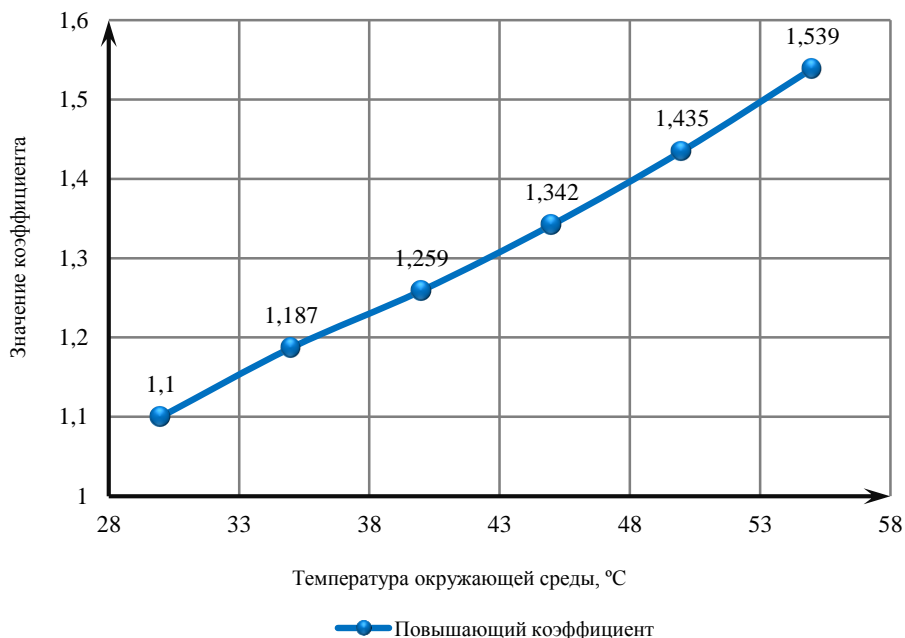


Рис.1. Зависимость повышающего коэффициента от окружающей температуры

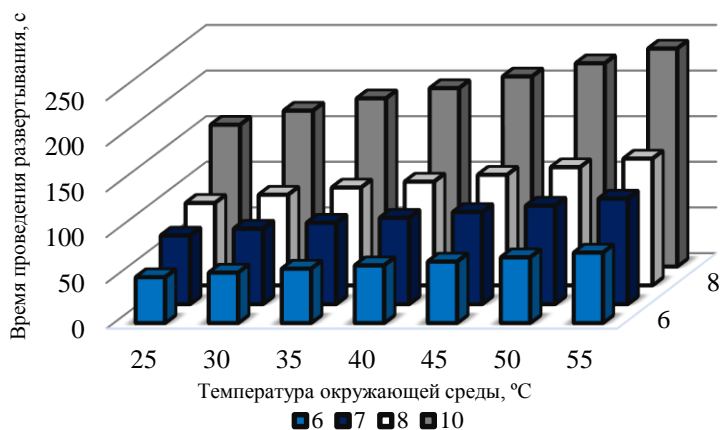


Рис. 2. Зависимость времени проведения боевого развертывания от окружающей температуры

Результаты и их обсуждение. Таким образом, моделируя процесс проведения разведки пожара или боевого развертывания сил и средств в непригодной для дыхания среде звеньями ГДЗС возможно прогнозировать сценарии [6,7], когда возникает необходимость осуществить дозаправку воздушных баллонов непосредственно в объеме сооружения. Для этих целей предлагается предусмотреть на этапах проектирования и строительства ПС систему «сухотрубов» для подачи воздуха для дозаправки дыхательных аппаратов, применяемых звеньями ГДЗС пожарно-спасательных подразделений. Применение результатов работы актуально не только для анализа возможных обстановок и сценариев

ведения боевых действий по тушению пожара на месте пожара в подземных сооружениях, но и для моделирования процесса управления организационной системой пожаротушения в граничных условиях пожаротушения в подземных сооружениях высокой протяженности и площади.

Рассматриваемое условие управления ПСП может считаться приемлемым, при выполнении действий руководителем тушения пожара и в случаях, когда от входа до крайней точки сооружения, пожарному не хватает воздуха в баллоне [4].

Заключение. Предлагаемый метод, может быть рассмотрен соответствующим ансамблем, по доставке в зону ведения действий (с учетом требуемого уровня безопасности) запасов воздуха. Детальная проработка, позволяет рассмотреть вопрос о расположении данной системы, к примеру, через каждые 80-100 метров, в зависимости от конфигурации сооружения. Так, при прибытии к месту тушения пожара автомобиля – базы газодымозащитной службы, будет возможно подключиться снаружи сооружения к системе и, в случае необходимости, осуществить подачу необходимого запаса воздуха для дозаправки баллонов звена ГДЗС.

Так, для интеграции данного решения при обеспечении комплексной безопасности при ведении боевых действий по тушению пожара, необходимо вести учет возникающих негативных факторов, выделяя их в отдельную группу. Данный учет позволит сформировать базу вводных для предварительного планирования на основе решаемых задач в сопоставлении со сведениями фактической пространственно-временной динамики пожара и формирования опорных решений при тушении пожара для обеспечения комплексной безопасности [5] на этапах строительства.

Зависимости повышающего коэффициента от окружающей температуры и времени проведения боевого развертывания от окружающей температуры, полученные по результатам работы будут использованы в дальнейшем исследовании для проведения обоснования моделей решения задач управления при тушении пожаров в подземных сооружениях.

Литература:

1. Королев П.С. Идентификация граничных условий в действиях пожарно-спасательных подразделений по тушению пожаров в подземных сооружениях // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. – 2022. – № 10/2 – С. 55-62.

2. Власов К.С. Модели и алгоритмы поддержки управления тушением пожаров в резервуарных парках на основе применения робототехнических средств. дис. канд. техн. наук: 05.13.10 / Власов Константин Сергеевич. – М., 2016. – 183 с.

3. Модель оперативного управления в принятии опорных решений с учётом оптимальности / Данилова М.А., Данилов М.М., Денисов А.Н., [и др.] // Пожары и ЧС. 2018. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/model-operativnogo-upravleniya-v-prinyatii-pornyh-resheniy-s-uchyotom-optimalnosti>.

4. Интеграция метода поддержки управления комплексной безопасности в строительстве в боевые действия подразделений пожарной охраны / М.М. Данилов, А.Н. Денисов, Д.С. Евтеев, А.А. Антипова // Актуальные проблемы комплексной безопасности в строительстве, тенденции развития в современных условиях: Сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции – Москва: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2023. – С. 38-41.

5. Большеротов А.Л. Структура комплексной безопасности строительства // Вестник МГСУ. – 2011. – № 8. – С. 260-264.

6. Воздействие опасных факторов пожара на звенья газодымозащитной службы при проведении боевых действий по тушению пожара / Власов К.С., Данилов М.М., Королев П.С. [и др.] // Комплексные проблемы техносферной безопасности. Кампания "Мой город готовится": задачи, проблемы, перспективы: сборник статей по материалам XVI Международной научно-практической конференции, – Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2020. – С. 71-75.

7. Королев П.С., Данилов М.М., Денисов А.Н. Решение задачи управления составом оперативного штаба на месте пожара в подземных сооружениях // Современные проблемы гражданской защиты. – 2023. – № 3(48). – С. 28-35.

ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ ЗАЩИЩЕННОСТИ УЧАСТНИКОВ ТУШЕНИЯ ОТ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ ПОЖАРА

Данилов М.М.,

доцент кафедры пожарной тактики и службы (в составе УНК пожаротушения), к. т. н.,

Денисов А.Н., профессор

кафедры пожарной тактики и службы (в составе УНК пожаротушения), д. т. н.,

Плешаков В.В.,

заместитель начальника кафедры надзорной деятельности (в составе УНК организации надзорной деятельности), к. т. н.,

Коновалова А. А.,

начальник лаборатории кафедры надзорной деятельности (в составе УНК организации надзорной деятельности)

ФГБОУ ВО «Академия Государственной противопожарной службы МЧС России»

Аннотация. Актуальность рассматриваемого вопроса обусловлена угрозой для участников тушения пожара при проведении боевых действий по тушению пожаров, возникающих в строящихся и эксплуатируемых зданиях и сооружениях. Угроза жизни и здоровью пожарных участвующих в тушении пожара обусловлена ограниченностью оперативного получения ими информации о температуре окружающей среды (пожара), которая значительно может превышать диапазон рабочей температуры средств индивидуальной защиты органов дыхания и зрения пожарных.

Ключевые слова. безопасность, дыхательный аппарат, здание, пожар, температура, тушение, наклейка.

Введение. Пожарная безопасность является одной из наиболее важных составляющих безопасности жилых зданий. Целью государственной политики в области пожарной безопасности является обеспечение необходимого уровня защищенности личности, имущества, общества и государства от пожаров [1]. Одним из этапов обеспечения эффективного пожаротушения и спасательных работ при тушении пожара – проведение регулярных тренировок и учений сил и средств пожарно-спасательных подразделений, обеспечивающих современное реагирование в развитии системы обеспечения пожарной безопасности. Кроме того, важным аспектом является распространение информации о мерах предосторожности граждан в том числе и участников тушения, в рамках действий в случае возникновения пожара.

Комплексный анализ открытых литературных источников и описаний пожаров показал, что профилактика не учитывает вопрос защищенности участников тушения от опасных факторов пожара. Однако, при проведении мероприятий по обеспечению пожарной безопасности и тренировок сил и средств пожарно-спасательных подразделений, необходимо учитывать потенциальные риски и опасности для пожарных, и принимать соответствующие меры для обеспечения их безопасности. Профессия пожарного одна из самых сложных профессий. В обязанности пожарного входят такие аспекты как тушение пожара, спасение и эвакуация людей, ликвидация последствий пожара, аварий и стихийных бедствий. Представители данной профессии должны обладать хорошей физической подготовкой, высокой стрессоустойчивостью и крепкой психикой. Пожарные - спасатели должны быть дисциплинированы и самоорганизованы, уметь быстро принимать решения в экстренных ситуациях, уметь работать в команде [4].

Комплексно, работа пожарных связана с опасными (экстремальными) условиями труда, соответственно, деятельность пожарных в условиях физических, температурных, химических и иных опасных факторов пожара обуславливается необходимостью применения защитной одежды, средств индивидуальной защиты органов дыхания и зрения (далее — СИЗОД), использованием пожарно-технического оборудования и аварийно-спасательного инструмента [5].

Несмотря на ранее наблюдавшуюся тенденцию к снижению общего количества пожаров, обзор травмирования и гибели пожарных при исполнении обязанностей красноречиво демонстрирует наличие системной проблемы в части готовности личного состава к действиям по сохранению жизни в аварийной ситуации (рисунок 1).

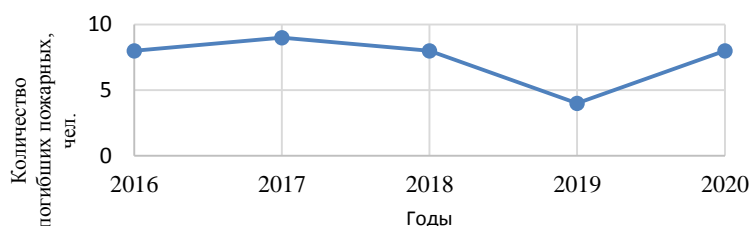


Рис. 1 Динамика показателей гибели пожарных в Российской Федерации

Проведенный анализ данных по травмированию и гибели пожарных за исследуемый период позволил формализовать сопутствующие риски при организации тушения в том числе в строящихся зданиях. При этом следует различать риски для участников тушения пожара в строящемся здании и для гражданских лиц, участвующих в строительстве.

Согласно [2] определены факторы риска, которые могут привести к травмированию или гибели участников тушения пожара: пламя и искры, тепловой поток, повышенная температура окружающей среды, повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения, пониженная концентрация кислорода, снижение видимости в дыму и другие факторы.

Однако, нужно добавить, что на строящихся объектах ситуация усугубляется тем, что на строящийся объект отсутствуют документы предварительного планирования. Таким образом, у руководителя тушения пожара отсутствует возможность заранее ознакомиться с фактической планировкой на момент тушения пожара. Кроме того, на путях следования могут встречаться различные строительные элементы и мусор, что также может затруднить продвижение пожарных как к очагу пожара и/или месту спасения пострадавшего, так и обратно.

Одной из характеристик разрушительного действия пожара является температура, развивающаяся при горении. Для жилых и строящихся домов, общественных зданий температура пожара может достигать 800—900 °С, в некоторых случаях и больше. Однако СИЗОД, используемые участниками тушения пожара, согласно руководству пользования, рассчитаны на диапазон рабочей температуры до 60 °С [6], что значительно меньше фактической температуры, возникающей при пожаре. При этом существует вероятность исправной работы данных аппаратов при большей температуре окружающей среды, однако существует риск выхода из строя аппаратов и в следствии - создание угрозы жизни и здоровью для участников тушения пожара, так как ни один из имеющихся дыхательных аппаратов не имеет средства контроля температуры окружающей среды, что говорит о невозможности точно определить, когда наступает момент превышения температуры окружающей среды (пожара) диапазона рабочей температуры дыхательного аппарата.

Из этого следует, что участники тушения пожара должны иметь информацию о температуре окружающей среды в здании, для принятия дальнейших обоснованных решений при тушении пожара. Для решения данной проблемы предлагается оснастить здания термочувствительными наклейками, которые будут изменять окрас в зависимости от температуры окружающей среды, предусмотрев их расположение возле эвакуационных выходов (рисунок 2). На зеленом фоне черным шрифтом должна отображаться безопасная для работы температура, желтым цветом обозначается фон при температуре, представляющей возможную опасность, а на красном фоне отображается опасная для работы звеньев ГДЗС температура (непосредственная опасность). Данные наклейки должны быть на фотолюминесцентной (светящейся) основе способной обеспечивать время послесвечения 24 ч., прямоугольной или квадратной формы, размерами 250×250 мм (размеры знаков могут меняться в зависимости от расстояния опознания по ГОСТ 12.4.026—2015). Возможно размещение термочувствительных наклеек вблизи планов эвакуации при внесении изменений в соответствующие нормативные документы (рис.2). Подобные термочувствительные наклейки уже используются в различных отраслях промышленности и быту – для измерения температуры отопительных батарей в доме, проведения исследований в лабораториях и т.д.

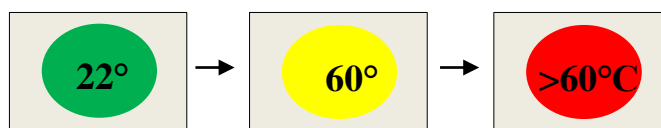


Рис. 2 Пример термочувствительных наклеек для отображения температуры окружающей среды

Заключение. Основываясь на вышеизложенной информации можно сделать вывод, что существует угроза для жизни и здоровья личного состава пожарно-спасательных подразделений при тушении пожара в эксплуатируемых и строящихся жилых домах, общественных и производственных зданий, так как они ограничены в оперативном получении информации о температуре окружающей среды при пожаре, что существенно влияет на их работоспособность, так как зачастую температура пожара значительно превышает диапазон рабочей температуры дыхательных аппаратов, используемые участниками тушения пожара. Для решения данной проблемы предлагается использование термочувствительных наклеек, которые могут информировать личный состав пожарно-спасательных подразделений, участвующих в проведении боевых действий по тушению пожара на месте пожара.

Литература:

1. Основы государственной политики Российской Федерации в области пожарной безопасности на период до 2030 года (утв. Указом Президента Российской Федерации от 1 января 2018 г. № 2) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71749394/#1000> (дата обращения 11.11.2023 г.)
2. Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» // Официальный информационно-правовой портал: сайт. - URL: <https://base.garant.ru/12161584/> (дата обращения: 30.10.2023).
3. Приказ Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий от 16.10.2017 № 444 «Об утверждении Боевого устава подразделений пожарной охраны, определяющего порядок организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ» (Зарегистрирован 20.02.2018 № 50100) // Официальный интернет-портал правовой информации: сайт. - URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201802210017> (дата обращения: 30.10.2023).
4. В. В. Булгаков Формирование профессиональных умений и навыков, физических и психологических качеств пожарных // Отечественная и зарубежная педагогика. 2019. №3 (60).
5. Протасов А.В., Черноусова И.Д. Профессионально-важные качества пожарных // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2014. №1 (5)
6. АППАРАТ ДЫХАТЕЛЬНЫЙ СО СЖАТЫМ ВОЗДУХОМ ДЛЯ ПОЖАРНЫХ ПТС «ПРОФИ». Руководство по эксплуатации ПТС 11.00.00.000РЭ

РАЗРАБОТКА ОГНЕЗАЩИТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ И ПОВЫШЕНИЯ ОГНЕСТОЙКОСТИ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Сивенков А.Б., профессор, д.т.н.

ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ»,

Федотов И.О., старший научный сотрудник

ФГБОУ ВО «Академия государственной противопожарной службы МЧС России»

Аннотация. В работе проводится анализ результатов исследований по оценке эффективности различных конструктивных и неконструктивных видов огнезащиты для материалов и конструкций на основе древесины. Установлены различия в достижении требуемых пределов огнестойкости и классов пожарной опасности деревянных конструкций при использовании огнезащитных средств. Обсуждаются перспективы и пути развития технологий огнезащиты для деревянных конструкций.

Ключевые слова: древесина, деревянные конструкции, класс пожарной опасности, предел огнестойкости, огнезащита.

Ключевыми пожарно-техническими характеристиками строительных конструкций являются их огнестойкость и класс пожарной опасности, характеризующиеся утратой несущей или ограждающей способности от времени воздействия стандартного температурного режима пожара, а также участием конструкций в образовании опасных факторов пожара [1]. В связи с этим, учитывая перспективы в области высотного деревянного домостроения, нами был проведен анализ результатов исследования по оценке эффективности различных конструктивных и неконструктивных видов огнезащиты в обеспечении требуемых параметров огнестойкости и пожарной опасности деревянных конструкций с позиций их влияния на процессы обугливания и интенсивность прогрева деревянного массива.

Наиболее доступными среди огнезащитных материалов являются штукатурные составы на основе различных минеральных наполнителей, обладающие теплоизолирующим механизмом огнезащитного действия. Результаты огневых испытаний сборной ограждающей деревянной конструкции со штукатурным слоем (штукатурка по металлической сетке с ячейкой 10x10 мм), в зависимости от толщины (15-20 мм) свидетельствуют о задержке воспламенения древесного материала в огневой камере (момент достижения температуры 270 °С на защищаемой поверхности) от 22 до 44 минут. Помимо толщины покрытия на данный показатель в значительной степени влияет механическая и термическая прочность слоя, во многом зависящая от степени завершенности процесса отверждения неорганического вяжущего. После полного остывания печи, как это предусмотрено методикой эксперимента, по итогам оценки повреждений первая конструкция, с штукатурным слоем 15 мм, была отнесена к классу пожарной опасности К1(45), длина повреждений составила 173 мм, при допустимых для данного класса 250 мм. Ограждающая конструкция, имеющая штукатурный слой толщиной 20 мм, была отнесена к классу К2(45), длина повреждений под штукатуркой превысила предельно допустимые значения для класса К1 и составила 260 мм. Таким образом, ограждающая конструкция с более массивной конструктивной защитой (толщина 20 мм), имеющая лучшую теплоизоляционную способность в процессе испытания, по степени термического повреждения показала наихудшие результаты, что можно объяснить ее большей инертностью и механическим разрушением. При использовании штукатурных покрытий ожидаемым является переугливание древесины под слоем штукатурки.

В части высокотемпературного прогрева, анализируя ранее проведенные работы, например, работу [2], гипсокартонный лист (ГКЛ) обеспечивает аналогичную теплоизоляцию защищаемой деревянной поверхности. Задержка воспламенения при использовании огнезащитной плиты толщиной 15 мм составляет менее 20 минут. Представленные литературные данные подтверждаются так же и результатами собственных исследований. Так в рамках настоящей работы была подвергнута испытаниям конструкция перекрытия, включающая 2 слоя ГКЛ, общей толщиной 25 мм и лист фиброцементной плиты (ФЦП), толщиной 8 мм по деревянной обрешетке. Искомый класс пожарной опасности К0(45) в данном случае обеспечивается за счет отсутствия непрерывных деревянных поверхностей, древесина в данном случае выполняет роль каркаса. Однако, если включить в состав конструкции вместо ФЦП стандартную плиту OSB, результат, наиболее вероятно, будет аналогичен полученному с использованием штукатурки по деревянной подшивке.

Также представляют интерес результаты исследования инновационных огнезащитных материалов, представляющих собой многослойные ламинаты, изолирующие деревянную конструкцию от воздействия пожара [3]. С этой целью, в частности, были получены стеклотканые покрытия, с

нанесенными на их поверхность пленкообразующими системами на основе модифицированных полисахаридов (МПС), поливинилацетатных дисперсий, синтетических каучуков и меламиноформальдегидных смол содержащие в своем составе катализирующие системы на основе щелочных металлов. Установлено, что для фольгированных стеклотканых и бумажных покрытий возможно получение по ГОСТ 30402 устойчивой группы В1 (трудновоспламеняемые материалы), обеспечивая устойчивость к тепловому потоку не менее 40 кВт/м². При этом в результате проводимых испытаний защищаемая поверхность практически не имела признаков обугливания. Для подтверждения эффективности покрытий на основе фольгированной бумаги были проведены испытания образцов плит CLT, на установке малая огневая печь в условиях стандартного температурного режима по ГОСТ 30247.0 и по ГОСТ 30403. В условиях стандартного температурного режима пожара испытаны два образца плит, с огнезащитой и без огнезащиты, а также по ГОСТ 30403 в условиях теплового режима один образец с покрытием из фольгированной бумаги. По результатам испытания в условиях стандартного режима было отмечено, что средняя скорость обугливания древесины без огнезащиты и с фольгированным покрытием отличалась незначительно 0,8 и 0,7 мм/мин соответственно. Несмотря на это, в условиях теплового режима пожара поверхность древесины имела только поверхностные признаки обугливания, на глубину не более 2 мм, что позволяет говорить о потенциальной возможности достижения класса пожарной опасности К0 (45) для деревянных конструкций с пленочной огнезащитой на основе фольгированных тканей или бумаг.

Проведенные исследования показали, что использование авторских огнезащитных составов позволяет производить целевую модификацию свойств древесины и образующегося при ее термическом разложении угольного субстрата. Введение антипиренов в объем древесного массива путем импульсного импрегнирования позволяет в значительной степени снизить уровень его пожарной опасности, уменьшить скорость переугливания при высоких интенсивностях тепловых потоков в 1,2-1,5 раза для различных составов. Способность глубокой пропитки снижать скорость переугливания объясняется повышением термоокислительной устойчивости образующегося угля, что, в свою очередь способствует замедлению прогрева такой древесины даже в условиях крупномасштабных испытаний при воздействии стандартного температурного режима пожара. Результаты огневых испытаний наглядно демонстрируют возможности импрегнированной древесины в качестве конструктивной защиты. (рис. 1).

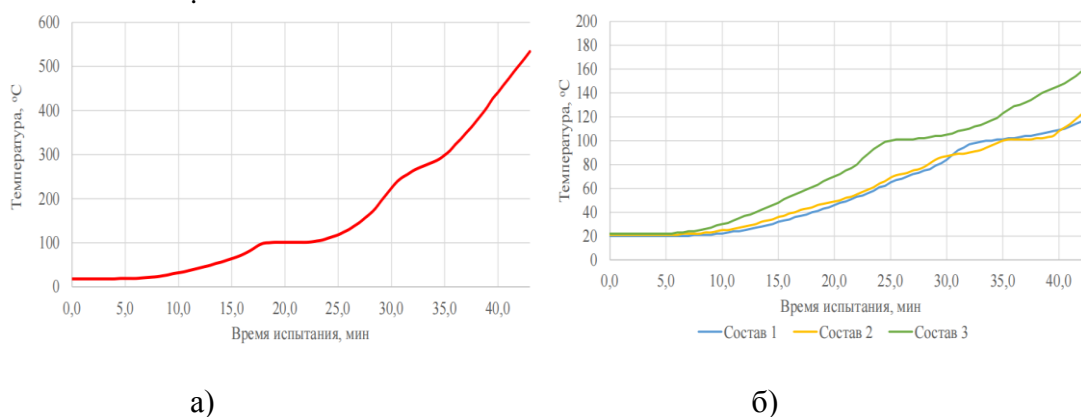


Рис. 1. Динамика прогрева соснового бруса (а) и прогрева соснового бруса, импрегнированного огнезащитными составами (б): 1 – фосфорсодержащий органический антипирен; 2 – фосфоразотсодержащий неорганический антипирен; 3 – антипирен на основе МПС (б) на глубине 20 мм от обогреваемой поверхности.

Нанесение поверхностным способом неконструктивных видов огнезащиты представляют интерес при использовании ее как в обособленном виде, так и в комбинации с огнезащитным конструктивом. Прежде всего, представляют интерес результаты исследований по оценке влияния огнезащитных средств различной химической природы на интенсивность процесса обугливания и температурного прогрева деревянной конструкции и сравнение этих результатов с использованием конструктивных видов огнезащиты. Обнаружено значительное влияние вида и химической природы огнезащитного средства, а также механизма огнезащитного средства на показатели пожарной опасности и

огнестойкости деревянной конструкции. Так, изменение скорости обугливания в сравнении с нативной древесиной (0,7 мм/мин) при использовании поверхностных видов огнезащиты изменяется как в большую, так и в меньшую стороны. При использовании антипиренов, работающих по механизму каталитической дегидратации, наблюдается незначительное повышение скорости обугливания до значений 0,75-0,85 мм/мин. Положительная динамика в снижении скорости обугливания деревянных конструкций установлена при использовании коксообразующих антипиренов и вспучивающихся покрытий (снижение скорости обугливания до 0,58-0,65 мм/мин и 0,45-0,5 мм/мин соответственно). Интересным является тот факт, что некоторые антипирены, механизм которых связан со смещением процесса терморазложения в низкотемпературную область и повышением степени карбонизации, значительно снижают интенсивность прогрева деревянных конструкций, даже не уступая вспучивающимся огнезащитным покрытиям и некоторым конструктивным видам огнезащиты при сопоставимой толщине материала. Как показали исследования угольного остатка, причиной этого является формирование карбонизата с соответствующей структурой и свойствами под влиянием этих антипиренов, т.е. эти огнезащитные составы способствуют регулированию процесса обугливания. Ранее экспериментально по ГОСТ 30247 нами была установлена возможность повышения пределов огнестойкости деревянных цельных балок на величину не менее 10% при поверхностном использовании подобных антипиренов. Огнезащитный эффект при импульсной импрегнации древесины данными антипиренами значительно возрастает как в части снижения скорости обугливания (до 0,52-0,6 мм/мин), так и интенсивности прогрева деревянных конструкций. Изучаемый вопрос также является актуальным в свете применения огнезащитных составов для исключения или снижения интенсивности тлеющего (беспламенного) горения, что с точки зрения применения конструктивных видов огнезащиты является проблематичным.

Выявленные особенности поведения деревянных конструкций с конструктивной и неконструктивной огнезащитой в условиях огневого воздействия могут быть основой для применения различных огнезащитных технологий в высотном деревянном домостроении.

Литература:

1. Sivenkov A.B., Berlin A.A., Mukhamedgaliev B.A., Almenbayev M.M., Makishev Zh.K., Rakhmetulin B.Zh. Fire Hazard and Fire Resistance of Wooden Structures // Springer Nature Switzerland AG 2023. XVI, 269 p.
2. Just A., Schmid J., Konig J. Gypsum plasterboards used as fire protection – Anaysis of a dstabase/ SP Technical research institute of Sweden, SP Report: 2010:29, 2010. – 30 p.
3. Polishchuk, E.Yu., Sivenkov, A.B., Kenzhehan, S.K. Heating and charring of timber constructions with thin-layer fire protection. Magazine of Civil Engineering. 2018. 81(5). Pp. 3–14. doi: 10.18720/MCE.81.1.

ТЕРМИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ БУМАГИ ДЛИТЕЛЬНОГО ЕСТЕСТВЕННОГО СТАРЕНИЯ

*Сивенков А.Б., профессор кафедры КБС, д.т.н.,
Румянцева А.А., аспирант кафедры КБС НИУ МГСУ*

Аннотация. В работе изучены термические превращения бумаги длительного естественного старения. Результаты свидетельствуют о потере химической и термической устойчивости исследуемых материалов в результате естественного старения с протеканием гидролизной дестабилизации лигноуглеводного комплекса, а также нарушении морфологической структуры материала. Показано, что для бумаги длительного естественного старения характерна высокая степень термического повреждения и тепловыделения, а также повышенная склонность к тлеющему горению.

Ключевые слова: бумага, целлюлоза, лигнин, лигноуглеводный комплекс, естественное старение, инфракрасный спектр, термический анализ, энергия активации, термическое повреждение, тепловыделение, тлеющее горение.

Изучение особенностей поведения различных материалов в условиях пожара является важнейшим звеном в сфере обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений различного функционального назначения. По результатам ранее проведенных исследований можно свидетельствовать о том, что одними из наиболее пожароопасных являются материалы на основе целлюлозы, имеющие значительную теплоэнергетическую способность. Данные материалы являются одним из главных видов пожарной нагрузки [1]. Важнейшими факторами, оказывающими влияние на различные свойства материалов, являются продолжительность и условия выдержки в естественных условиях [2, 3]. Срок естественной выдержки материалов на основе бумаги на различных объектах может исчисляться десятками и даже сотнями лет, что определяет актуальность изучения свойств подобных материалов, а также их термической устойчивости и пожароопасности.

Исследования проводились в отношении бумаги различных сортов и года выпуска (с 1946 по 2020 год). Для исследования были задействованы ИК-Фурье спектрометр Bruker (в диапазоне частот $4000 \dots 500 \text{ см}^{-1}$ с разрешением 2 см^{-1}), а также методы термического анализа (ТГ, ДТГ, ДСК) на термовесах ТГА-951 термоанализатора «Du Pont 9900» (среда – воздух, скорость нагрева $20 \text{ }^\circ\text{C}/\text{мин}$).

По результатам исследования установлено, что в процессе естественного старения в материалах на основе бумаги происходят необратимые физико-химические изменения, приводящие к гидролизной дестабилизации состава, структуры и свойств материала, утрате его термической стабильности. Для большинства образцов бумаги установлено снижение плотности бумаги более чем на 20%, что может свидетельствовать о значительных изменениях в морфологической структуре материала. По нашему мнению, это может способствовать образованию более развитой структуры угольного субстрата в условиях высокотемпературного нагрева, имеющего повышенную склонность к тлеющему горению.

По результатам анализа ИК-спектров можно сделать вывод о том, что полосы поглощения от 1700 до 4000 см^{-1} характеризуют типичные участки изменения пиковых значений волновых чисел для целлюлозных материалов, особенно в диапазоне 3000 до 3700 см^{-1} . Этот диапазон волновых чисел характеризуется валентными колебаниями гидроксильных групп целлюлозы, вовлеченных внутри – и межмолекулярные связями ($3700\text{-}3100 \text{ см}^{-1}$), С-Н-связей в метиленовых ($2945, 2853, 2914, 2897, 2870, 2970 \text{ см}^{-1}$) и в метиновых группах ($3000\text{-}2800 \text{ см}^{-1}$). Колебания ароматических фрагментов получены для полос поглощения $1600, 1500$ и 875 см^{-1} , полосы при 1267 см^{-1} – валентные колебания группы -С-О-С- и полосы поглощения при 1267 см^{-1} – валентные колебания метиленовых групп, характерных для лигнина. В целом, наблюдается общая картина физико-химических превращений лигноуглеводных компонентов, приводящими к образованию кислотных катализаторов процесса гидролиза и непосредственно гидролизных продуктов. Важнейшая роль в сопровождении деструктивных процессов лигноуглеводной части отводится в данном случае гидролитической деструкции. Известными продуктами гидролитического распада лигноуглеводных комплексов являются такие как: бензальдегид, бензойная кислота, ванилин, фурфурол, этилбензол, а также другие альдегиды, моно- и олигосахариды.

Анализ кривых термического анализа свидетельствует о двухстадийном процессе термоокислительного разложения для всех исследуемых образцов. На начальной стадии до $150\text{-}160 \text{ }^\circ\text{C}$ для всех образцов происходит сопоставимая потеря влаги в пределах $4,7 \dots 6,2 \%$ (рисунок 1, а, б).

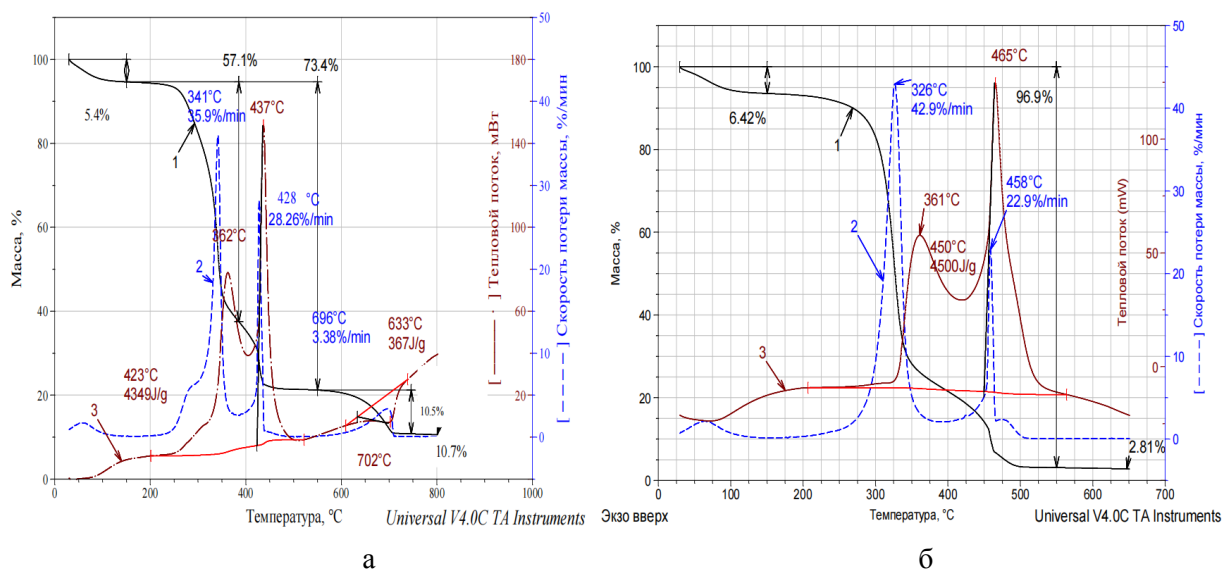


Рис.1. ТГ (1), ДТГ (2) и ДСК (3) кривые: а – образец бумаги (2020 год); б – образец бумаги (1946 год) (атмосфера – воздух, 20 °С/мин)

Анализ термогравиметрических кривых позволяет выделить характерные особенности данного процесса для образцов бумаги. На стадии формирования угольного слоя (150-375 °С) для бумаги естественного старения происходит повышение потери массы (до 48 %) со смещением экзотермического пика в низкотемпературную область (рис. 1, а, б).

Значения эффективных параметров процесса окисления кокса (энергия активации и логарифм предэкспоненты) указывают на снижение энергетических затрат необходимых для начала реакционно-окислительного процесса. Полученные результаты для образцов бумаги естественного старения также обнаруживают повышение диапазона окислительных реакций угольного остатка на 33-45 %, что фактически является определяющим для возрастания потери массы в интервале температур 150-550 °С на 10-25%, а также снижение величины золы при температуре 650 °С для некоторых образцов до 74 % (образец 1946 года). Для бумаги естественного старения также установлено более продолжительное протекание реакции окисления угольного слоя со смещением этой стадии в область более высоких температур (451-465 °С, сдвиг температурного участка на 5-9%). Для всех образцов, имеющих соответствующую угольную структуру с наличием фрагментов ароматической природы, можно наблюдать заметное повышение значений тепловыделения в интервале температур 150-550 °С (до 47 %), включающего в себя выделение тепла как в газовой, так и в твердой фазе.

Полученные результаты свидетельствуют о значительной потере химической и термической устойчивости материалов на основе целлюлозы в результате естественного старения с протеканием гидролизной дестабилизации лигноуглеводного комплекса, а также о нарушении морфологической структуры материала. Это во многом определяет аномальную степень термического повреждения и тепловыделения при термодеструкции бумаги длительного естественного старения, а также повышенную склонность к тлеющему горению.

Литература:

1. Sivenkov A.B., Berlin A.A., Mukhamedgaliev B.A., Almenbayev M.M., Makishev Zh.K., Rakhmetulin B.Zh. Fire Hazard and Fire Resistance of Wooden Structures // Springer Nature Switzerland AG 2023. XVI, 269 p.
2. Заиков Г.Е. Старение, стабилизация и горение полимеров и композитов. О приоритетах в исследованиях // Известия Высших учебных заведений. Химия и химическая технология. Том 53, выпуск 12. 2010. – С.143-145.
3. G.E. Zaikov, A.L. Buchachenko, V.B. Ivanov Aging of polymers, polymer blends and polymer composites, New York, Nova Science Publ., 2002, Vol. 1. – 258 p.

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЛЕГКОБРАСЫВАЕМЫХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЗРЫВОУСТОЙЧИВОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

*Громов Н.В.,
заместитель директора ИКБС, старший преподаватель кафедры КБС, к.т.н.,
Азамов Ж. М.,
аспирант кафедры КБС НИУ МГСУ*

Аннотация. Легкобрасываемая конструкция (ЛСК) - строительная конструкция, позволяющая освободить сбросной проем в помещении при воздействии на нее нагрузок от внутреннего дефлаграционного взрыва, тем самым снизив взрывное давление до безопасного уровня.

В 2014 году вступил в силу ГОСТ Р 56288 «Конструкции оконные со стеклопакетами легкобрасываемые для зданий. Технические условия» [1], который регламентирует требования к светопрозрачным ЛСК. За почти десятилетний период после выхода документа в России появилось достаточное количество производителей ЛСК, изделия которых успешно прошли сертификационные испытания и показали свою эффективность и работоспособность.

Ключевые слова: Легкобрасываемая конструкция (ЛСК) дефлаграционный взрыв.

В промышленности применяются специализированные и порой весьма сложные конструкции. Наряду с этим, согласно СП 56.13330-2021 «Производственные здания» [2] в качестве ЛСК допускается использовать одинарное остекление окон и фонарей. При этом оконное стекло относится к легкобрасываемым конструкциям при толщине 3,4 и 5 мм и площади не менее 0,8; 1 и 1,5 м² соответственно.

Согласно данным специалистов в области взрывобезопасности и взрывоустойчивости, оконное остекление толщиной 4 мм и площадью 1 м² должно обеспечить вскрытие сбросных проемов в помещении в случае аварийного взрыва при давлении от 1,5 до 2,5 кПа [3,4] или от 1,5 до 3,8 кПа [5]. Последние экспериментальные исследования такого остекления были проведены более 20 лет назад и требовали подтверждения с помощью современного контрольно-измерительного оборудования при испытаниях в натурных условиях взрывным способом.

В рамках комплексной научно-исследовательской работы по оценке эффективности ЛСК различного типа специалистами НИЦ «Взрывобезопасность» ИКБС НИУ МГСУ были проведены испытания на взрывоустойчивость стекла строительного по ГОСТ 24866-14 и ГОСТ 111-2014 толщиной 4 мм и площадью 1 м². Испытания проводились в натурных условиях на взрывной камере объемом 8 м³. Параметры эксперимента фиксировались высокоточными датчиками давления и скоростной видеокамерой со скоростью съемки 1000 кадров/с.

На рисунке 1 показаны усредненные результаты трех экспериментов.

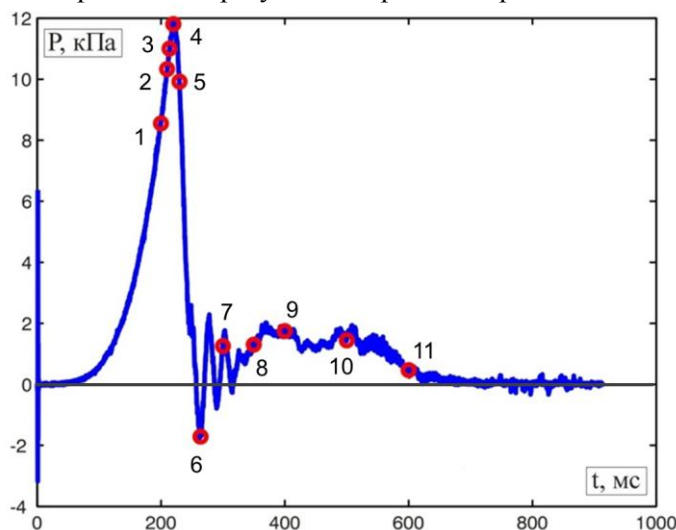


Рис. 1 - График зависимости взрывного давления от времени в испытательной камере
Время: 1 – 200мс; 2 – 210мс; 3 - 214мс; 4 – 220мс; 5 – 230мс; 6 – 264мс; 7 – 300мс; 8 – 350мс; 9 – 400мс; 10 – 500мс; 11 – 600мс.

Давление: 1 - 8.55кПа; 2 - 10.33кПа; 3 - 11.00кПа; 4 - 11.81кПа; 5 – 9.92кПа; 6 – -1.72кПа; 7 – 1.26кПа; 8 – 1.34кПа; 9 – 1.74кПа; 10 – 1.44кПа; 11 – 0.47кПа

Результаты экспериментов показали, что вскрытие одинарного остекления происходит при избыточном давлении 11 кПа (точка 3 графика). Это существенно выше результатов, полученных авторами [3,4,5] и превышает допустимые нагрузки на большинство зданий и сооружений (около 5 кПа).

Таким образом, натурные взрывные испытания ставят под сомнение возможность применения одинарного остекления с характеристиками, указанными в СП 56.13330-2021 «Производственные здания», в качестве ЛСК.

Литература:

1. ГОСТ Р 56288. «Конструкции оконные со стеклопакетами легкобрасываемые для зданий. Технические условия».
2. СП 56.13330-2021 «Производственные здания».
3. Комаров А.А. Прогнозирование нагрузок от аварийных дефлаграционных взрывов и оценка последствий их воздействия на здания и сооружения. Диссертация на соискание степени д.т.н., М.: МГСУ, 2001.
4. Пилюгин Л.П. Обеспечение взрывоустойчивости зданий с помощью предохранительных конструкций. М.: Ассоциация «Пожарная безопасность и наука» 2000 г.
5. Орлов Г.Г. Легкобрасываемые конструкции для взрывозащиты промышленных зданий. М.: Стройиздат, 1987 г.

ИЗМЕНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ, МОДИФИЦИРОВАННОЙ СОСТАВАМИ НА ОСНОВЕ ФОСФОНОВЫХ КИСЛОТ С УЧАСТИЕМ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

Покровская Е.Н., д.т.н.,
Пахомов А.В., аспирант кафедры КБС НИУ МГСУ

Аннотация. Показано влияние углеродных нанотрубок в составах на основе фосфоновых кислот на взаимодействие с поверхностью древесины, что приводит к образованию плотного равномерного укрывистого покрытия, способствующего увеличению огнезащитности.

Ключевые слова: поверхность древесины, модификация, фосфоновые кислоты, углеродные нанотрубки

Введение. Древесина широко используется в качестве строительного материала в домостроении. Обеспечение огнезащиты деревянных конструкций и деревянных строительных материалов является актуальной задачей. Поверхностное модифицирование древесины широко применяется при огнезащите деревянных конструкций, строительных материалов и изделий из древесины.

В данной работе рассмотрено влияние углеродных нанотрубок в разработанных составах на основе фосфоновых кислот.

Целью работы является изучение поверхности модифицированной древесины составами на основе фосфоновых кислот и влияние углеродных нанотрубок в разработанных огнезащитных составах.

Материалы и методы. В исследовании применялись образцы древесины заболони сосны.

В качестве модификаторов использовались тридцатипроцентные водные растворы нитрилтриметилфосфоновой кислоты (НТФ) и оксиэтилидендифосфоновой кислоты (ОЭДФ) с добавлением углеродных нанотрубок (УНТ) и полых алюмосиликатных микросфер (АСПМ). Структурные формулы представлены на рисунке 1.

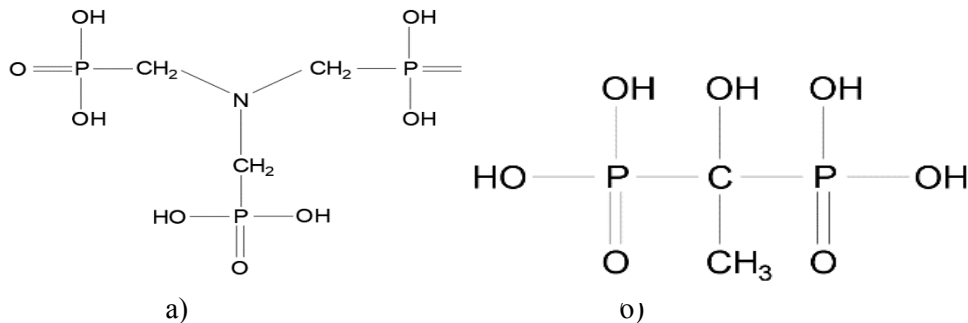


Рис. 1. Структурные формулы: а) НТФ; б) ОЭДФ.

Модифицирование образцов древесины проводилось путем поверхностного нанесения кистью составов на основе фосфоновых кислот с участием углеродных нанотрубок с расходом 180 г/м². Образцы древесины заболони сосны, модифицированные разработанными составами представлены на рисунке 2.

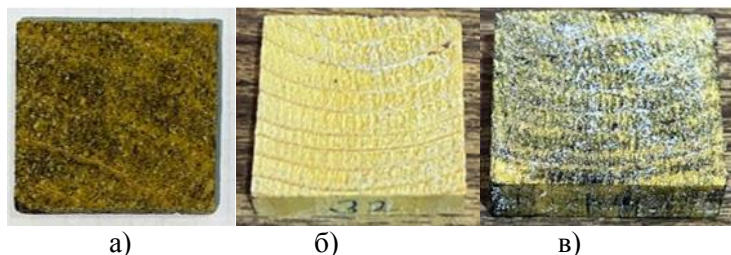


Рис. 2. Образцы древесины заболони сосны, модифицированные разработанными составами: а) с участием УНТ; б) с участием АСПМ; в) с участием УНТ, АСПМ.

Исследование поверхности модифицированных образцов проводилось с помощью растрового электронного микроскопа FEI Quanta 250, производства «FEI Company», США.

ИК спектроскопия проводилась на ИК-Фурье спектрометре Nicolet iS50 производства «Thermo Fisher Scientific».

Результаты и их обсуждения. Снимки растровым электронным микроскопом поверхности модифицированных образцов древесины представлены на рисунке 3.

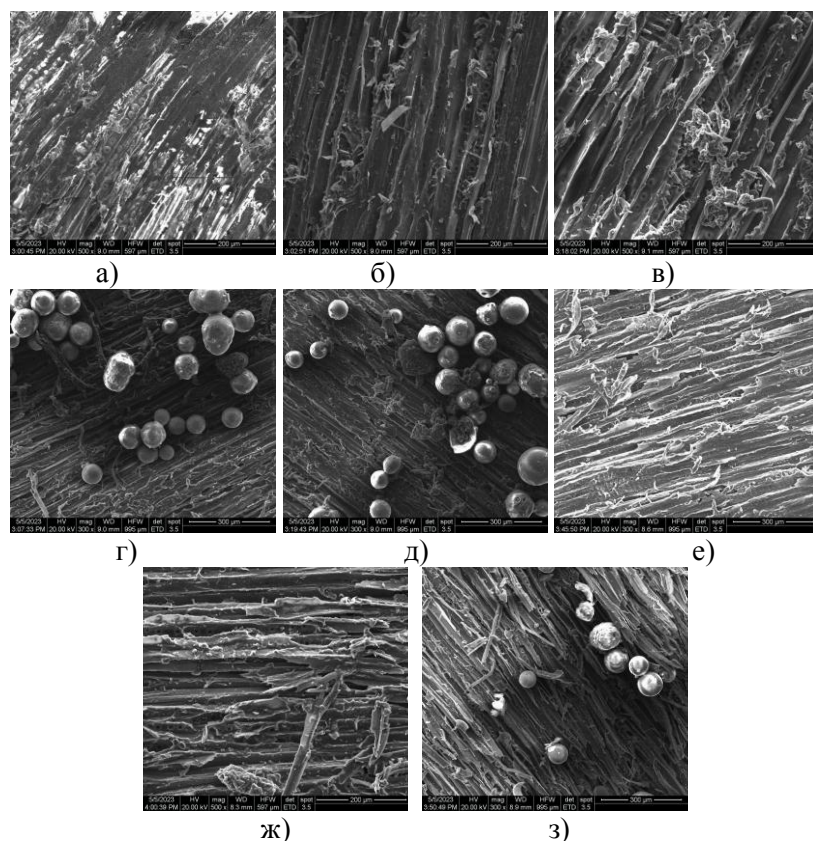


Рис. 3. Снимки растровым электронным микроскопом образцов древесины заболони сосны, модифицированных составом: а) не обработанный; б) НТФ30%; в) НТФ 30%, УНТ 0,1%; г) НТФ 30%, АСПМ 5%; д) НТФ 30%, УНТ 0,1%, АСПМ 5%; е) ОЭДФ 30%; ж) ОЭДФ 30%, УНТ 0,1%; з) ОЭДФ 30%, АСПМ 5%.

При модифицировании образцов составами на основе фосфоновых кислот НТФ 30% и ОЭДФ 30% (рис. 3 б, е) поверхность древесины остается неизменной. Хорошо просматривается капиллярная структура поверхности, покрытие равномерное. При введении в растворы НТФ и ОЭДФ углеродных нанотрубок (рис. 3 ж) и в) на поверхности выделяются более плотные модифицированные участки. Модификация происходит более интенсивно. На снимках поверхности, модифицированной составами на основе фосфоновых кислот с участием АСПМ отмечается хаотичное расположение микросфер на поверхности. АСПМ при нормальных условиях не вступает в химическое взаимодействие с поверхностью древесины.

Модифицированные образцы древесины испытывались на пожароопасность методом игольчатого пламени в соответствии с ГОСТ 27484-87. Снимки растровым электронным микроскопом поверхности образцов после испытаний и потеря массы при горении представлены на рисунке 4.

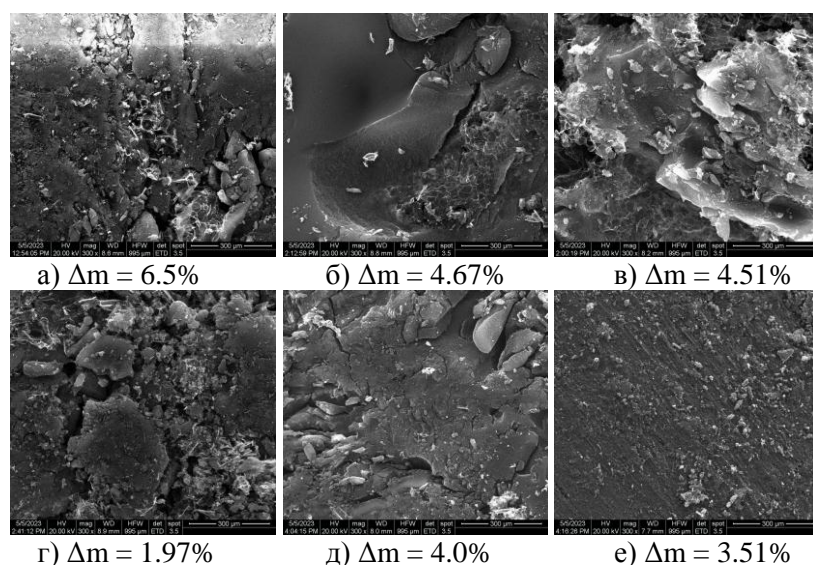


Рис. 4. Снимки растровым электронным микроскопом кокса, полученных после испытаний образцов игольчатым пламенем, модифицированных составами: а) НТФ 30%; б) НТФ 30%, УНТ 0,1%; в) НТФ 30%, АСПМ 5%; г) НТФ 30%, УНТ 0,1%, АСПМ 5%; д) ОЭДФ 30%; е) ОЭДФ 30%, УНТ 0,1%.

На снимках поверхности образцов древесины после испытания игольчатым пламенем видно, что поверхность образцов обработанных составами НТФ 30% и ОЭДФ 30% неоднородная, при этом при добавлении УНТ 0,1% поверхность более плотная. УНТ способствует более интенсивному взаимодействию фосфорорганических соединений с поверхностью древесины. При наличии в составе АСПМ поверхность неоднородная, появляются отдельные более плотные участки.

Поверхность модифицированных образцов древесины до и после испытаний на пожароопасность исследовалась методом ИК спектроскопии.

Для модифицированных образцов в области поглощения $3500-3000\text{ см}^{-1}$ интенсивность поглощения уменьшается, что говорит о химическом взаимодействии между компонентами составов на основе фосфоновых кислот и поверхностью древесины по гидроксильным группам (-ОН). Также появляются новые полосы поглощения $938, 967\text{ см}^{-1}$ характеризующие наличие связей Р-О-Р.

В спектрах образцов древесины, поверхностно модифицированной разработанными составами после испытаний игольчатым пламенем, образуются новые полосы поглощения в области $811-633\text{ см}^{-1}$, характерных для связей Р-О-Р, Р-О-СН₃. Указанные связи являются остатками фосфорсодержащей основы огнезащитных систем (НТФ, ОЭДФ). В спектрах образцов, модифицированных системами включающими алюмосиликатные полые микросферы появляются пики в области $1090-1020\text{ см}^{-1}$, характерные для связей Si-O-Si, Si-O-C.

Заключение. При изучении поверхности древесины, модифицированной разработанными составами на основе фосфоновых кислот с участием УНТ, показано, что на поверхности образуются более плотные, укрупненные структуры огнезащитного слоя, что приводит к уменьшению потери массы при горении. Углеродные нанотрубки являются катализатором взаимодействия между фосфоновыми кислотами и поверхностью древесины, что приводит к увеличению огнезащитности.

Литература:

1. Покровская Е.Н. Разработка наномодифицированных полифункциональных защитных систем для деревянных конструкций // Вестник МГСУ. 2021. Т. 16. Вып. 1. С. 59–66. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.1.59-66
2. Покровская Е.Н. Огнезащита деревянных конструкций модификацией в тонком поверхностном слое // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2018. Вып. 2. С. 86-90. DOI: 10.25257/FE.2018.2.86-90
3. Wang G., Bai S. Synergistic effect of expandable graphite and melamine phosphate on flame-retardant polystyrene // Journal of Applied Polymer Science. 2017. Vol. 134. P. 45474. DOI: 10.1002/app.45474

**АКТУАЛЬНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОЖАРОВ ПРОЛИВА НЕФТЕПРОДУКТОВ С
ТЕМПЕРАТУРАМИ НИЖЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВСПЫШКИ**

*Батманов С.В., к. т. н., доцент кафедры КБС
Сухарский С.П., аспирант кафедры КБС НИУ МГСУ*

Аннотация. В статье рассматривается проблема моделирования распространения пламени по аварийным проливам высококипящих нефтепродуктов на примере дизельного топлива. Обзор направлен на обоснование актуальности выбранной темы и рассмотрении экспериментальных и теоретических исследований в данном направлении. Производится анализ механизмов развития пламени по поверхности пролива. Предлагаются методы экспериментальных и теоретических исследований линейной скорости распространения фронта пламени. Модели предлагаются для жидкостей, с температурами проливов ниже температуры вспышки. Полученные данные являются составной частью научного исследования в рамках работы аспиранта.

Ключевые слова: пожар пролива, аварийные проливы, высококипящие нефтепродукты, температура вспышки, скорость фронта пламени, опасные факторы пожара, моделирование пожаров пролива.

Введение. В современных условиях, в связи с повышением спроса, увеличиваются объемы транспортировки и хранения нефтепродуктов. В данной статье будут рассматриваться светлые нефтепродукты, с высокими температурами кипения, на примере дизельного топлива. В качестве объекта защиты была принята железнодорожная эстакада. Наличие значительных объемов нефтепродуктов на железнодорожных эстакадах повышает их пожарную опасность. Свойства нефтепродуктов определяют пожаровзрывоопасность аварийных проливов, с учетом температур внешней среды и географического положения можно сделать вывод о наличии паровоздушной фазы в области воспламенения. Анализ статистики аварий позволяет сделать вывод, что пожары на железнодорожных эстакадах не редкость. Пожары пролива дизельного топлива представлены случаями. Прогнозирование динамики таких пожаров возможно при наличии сведений о скорости распространения фронта пламени по проливу. Для высококипящих светлых нефтепродуктов эта величина однозначно не определена [8,11]. Данное обстоятельство обусловлено сложность совместных процессов нагревания и испарения аварийного пролива.

В период с 2000 по 2018 гг. в открытых источниках представлено описание более 10 случаев аварий и пожаров на ж/д транспорте. В табл. 1 представлены характерные случаи и проанализирована хронология событий. Особое внимание было уделено виду транспортировки нефтепродуктов или горючего вещества.

Табл. 1

Случаи аварий и пожаров на железнодорожных цистернах, в период с 2000 года по настоящее время

№ п/п	Дата	Место	Нефтепродукт	Ущерб
1.	05.07.2000	г. Омск, УПТК ОАО «Омск-нефтепроводстрой»	бензин, газовый конденсат	гибель 5 человек, 85 человек получили травмы различной степени тяжести
2.	10.07.2001	Московская область, ж/д станция г. Люберцы	бензин	4 железнодорожные цистерны и автомобильная цистерна были повреждены огнем, один человек получил ожоги 2-й степени
3.	15.06.2005	Московская область, Ногинская нефтебаза	бензин	В результате взрыва погибло двое рабочих, один получил тяжелые ожоги. Вследствие создавшейся угрозы были эвакуированы 254 пациента родильного дома и более 800 человек из группы жилых домов, расположенных в непосредственной близости от нефтебазы
4.	28.06.2005	ЗАО «Петербургский нефтяной терминал»	дизель	смертельный исход
5.	16.07.2005	ОАО «Объединенное железнодорожное хозяйство»	бензин	Смертельно травмированы два человека

6.	14.08.2005	СНЭ нефтебазы ООО «ТопРесурс», г. Балашиха Московской области	бензин	В результате аварии шесть человек получили тяжелые ожоговые травмы и впоследствии скончались
7.	05.09.2006	ООО "Ульяновск-терминал" НК "ЮКОС"	дизель	Получили смертельные ожоги шесть человек
8.	31.12.2006	Нефтебаза ООО «Авто»	бензин	Полностью уничтожены огнем четыре резервуара объемом 200м ³
9.	28.09.2012	Нижний Новгород, станция «Горький-Сортировочный»	бензин	В результате пожара огнем уничтожены 4 железнодорожные цистерны, повреждения получили 1 железнодорожная цистерна, 2 платформы, 6 полувагонов и 1 вагон, повреждена обшивка административного здания, расположенного в 100 метрах от очага пожара
10.	01.01.2013	Станция «Мытищи-товарные»	бензин	В результате пожара повреждения получили 2 железнодорожные цистерны
11.	30.09.2013	г. Вологда, станция Лоста-Сортировочная	газовый конденсат	
12.	05.02.2014	Железнодорожная станция Поздино Кировского отделения Горьковской железной дороги	газовый конденсат	пожар распространился на три десятка частных гаражей и нежилое строение. Была проведена эвакуация около 700 человек из окрестных жилых домов. Из-за аварии пришлось изменить маршруты следования порядка 30 железнодорожных составов, задержка в пути некоторых из них достигла 16 часов
13.	12.02.2014	ЗАО «Рязанская нефтеперерабатывающая компания»	метилтретб утиловый эфир	В результате пожара огнем повреждены сливоналивная эстакада, емкости и резервуары для хранения нефтепродуктов, железнодорожные цистерны, административные здания завода
14.	15.02.2018	Саратовская область, 3-й Нефтяной проезд поселка Увек, промывочно-пропарочная станция железной дороги	нефть	В результате пожара огнем повреждены железнодорожные цистерны

По результатам анализа данных Табл. 1 следует, что нефтепродукты с высокой температурой вспышки* (дизельное топливо, керосин), представлены и характеризуются сценариями, связанными с пожаром пролива. Данное обстоятельство подтверждает актуальность выбранной темы исследования. Пожар пролива вызывает распространение пламени на соседние оборудование и аппараты вовлекая в аварию новые объемы.

Особенности развития пожара пролива на железнодорожной эстакаде. Аварии пролива, как правило, имеют большие объемы и поверхности. Граница эстакады строго регламентирована и ограничивает аварию пролива, средняя глубина пролива не превышает 10 см. Локальное воспламенение пролива происходит и объективно и не рассматривается в данной работе. В качестве цели исследования принята линейная скорость фронта пламени на авариях пролива. Температура воспламенения дизельного топлива, в экспериментальных установках превышает 40°C. На практике реализация таких температур привязана к географическому расположению эстакады и является максимальной температурой летнего периода. Исходя из этого область размещения рассматривает эстакады, представленные на рисунке 1.



Рис. 1. Условное разделение Российской Федерации по параллели 60 градусов с.ш. для наглядного изображения абсолютной максимальной температуры летнего периода года меньше 35 °С

Температура менее 40°C возможна выше красной полосы, что соответствует параллели 60° с.ш. (сведения СП 131.13.330.2020 Строительная климатология) [9].

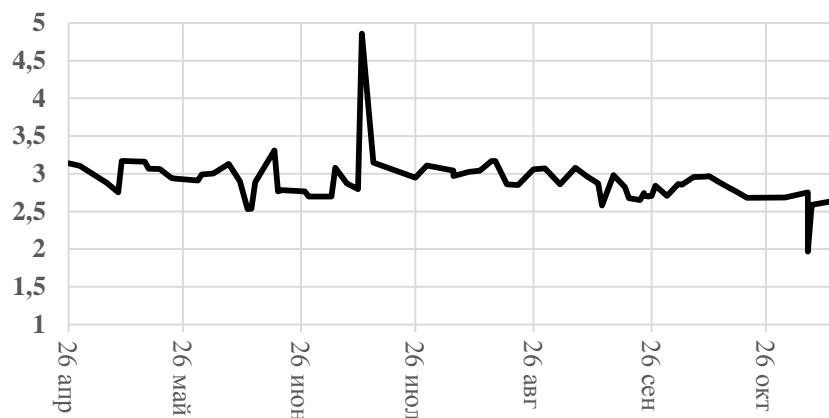
Лабораторный стенд. С целью экспериментального изучения процесса распространения пламени по аварийным проливам в статье представлен обзор некоторых научных исследований. Работы, посвященные изучению распространения пламени по горючим жидкостям, возможно, разделить на два блока: физическое и численное моделирование. При изучении этого вопроса исследователи уделяли большое внимание физическим свойствам экспериментальных жидкостей. Такие параметры как вязкость, плотность, поверхностное натяжение определяли ход и результаты эксперимента. Интерес представляют жидкости, которые принимались в качестве экспериментальных. Экспериментальная работа с нефтепродуктами представляет определенные трудности, связанные, например, с повышением их вязкости. Для этих целей предлагалось использовать полиизобутилен в качестве добавки [1, 2]. Учитывая, что поверхностное натяжение нефтепродуктов незначительно остается производить измерения градиентов скорости и температуры в жидкости и сравнить их с ранее полученными результатами. В этой связи некоторые исследования [3-6] выполнялись с водными растворами спиртов (метанол, бутанол и др.). Замена нефтепродуктов спиртами продиктована следующими предпосылками: отсутствие необходимости применять добавки, изменяющие вязкость жидкости и возможность изменять пожароопасные свойства приготовлением водных растворов. Таким образом, область экспериментальных жидкостей ограничена нефтепродуктами с высокими температурами вспышки и водными растворами спиртов.

Изучение аварийных проливов возможно с применением поддонов различной конфигурации в плане. Поддоны моделируют поверхность, на которой происходит аварийный пролив. Определены две, наиболее предпочтительные формы – это окружность и прямоугольник. Достоинства той или иной формы достаточно хорошо освещены, простота изготовления прямоугольного поддона и применение делают его более предпочтительным. Важную роль при моделировании поверхности пролива (поддона) играет ширина лотка при «неограниченной» длине. При ширине лотка до 20 см на скорость распространения пламени значительное влияние оказывает эффект прилипания поверхностного слоя нагретого продукта, что повышает скорость распространения пламени. С увеличением ширины лотка это влияние снижается, однако, скорость распространения пламени постоянно возрастает. Исследователи инициировали воспламенение источниками различного исполнения: точечный нагретый элемент, искровой разряд, нагретый провод. Для изучения конвекции в жидкости стенки поддона изготавливались прозрачными с применением боросиликатного стекла марки Pyrex. Было замечено, что материал дна поддона не влияет на охлаждение экспериментальной жидкости и, следовательно, не приводит к потуханию пламени. Основным материалом для изготовления поддона является алюминий. В качестве измерительного оборудования применяются малоинерционные термпары (от 0,25 мм), скоростные видеокамеры (от 100 кадров в секунду), шпирен-камеры и различные способы визуализации конвекции в жидкости. На начальном этапе исследований, для определения точных характеристик экспериментальной жидкости применяются вискозиметры, ареометры/плотномеры. Для определения температур вспышки используют лабораторные установки открытый и закрытый тигель. В отношении температуры вспышки, а именно лабораторного способа определения величины мнения исследователей разнятся. Данное обстоятельство продиктовано

существенными различиями экспериментальных методов и диапазонами итоговых значений величины.

При изготовлении экспериментальной установки (лотка), чтобы исключить качественное влияние пламени на конвекцию в слоях жидкости, возможно использовать нагревательные элементы, как альтернативу пламени, в первых сериях экспериментов. Это позволит уточнить влияние геометрических параметров аварийного пролива: неровности подстилающей поверхности, наличие слоя воды и.т.п. на конвекцию поверхностного слоя. Дополнительно, это позволит рассмотреть влияние плотности, вязкости нефтепродукта конкретной марки и даже отдельной партии. На рисунках 2 и 3 представлены зависимости величины вязкости дизельного топлива от марки и даты поставки. Интерес представляет тот факт, что пробы осуществлялись на конкретной нефтебазе центрального региона страны и соответствуют различным периодам года.

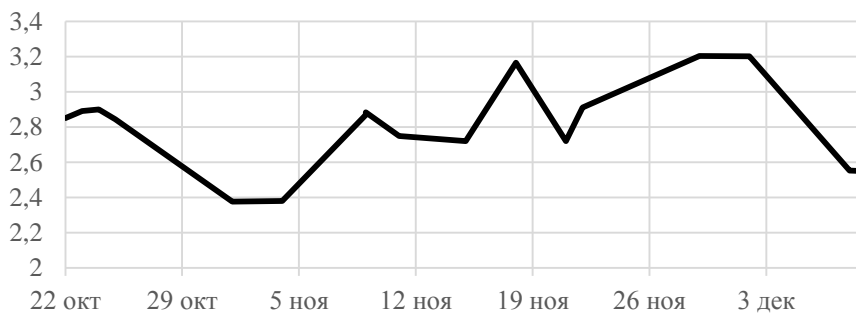
сСт



Дата

Рис. 2 Вязкость дизтоплива Евро С вид III класс 5 (нефтебаза центрального региона)

сСт



Дата

Рис. 3 Вязкость дизтоплива Евро F вид III класс 5 (нефтебаза центрального региона)

Представленные зависимости свидетельствуют о колебании величины вязкости в пределах 1,5-5 сСт, что соответствует стандартным значениям ГОСТ 305-2013 «Топливо дизельное. Технические условия» [10]. Топливо типа Евро F менее вязкое, в сравнении с Евро С. Колебания величины вязкости, очевидно, вызваны использованием железнодорожных цистерн для транспортировки различных нефтепродуктов.

Таким образом, изучение процесса теплопереноса в жидком нефтепродукте предполагает уточнение значений вязкости и плотности для каждой экспериментальной жидкости.

Литература:

1. Сириньяно У.А. Распространение пламени над жидким топливом: потоки, обусловленные поверхностным натяжением. Научно-технический журнал о горении, 1970.
2. Гласман И. Распространение пламени по жидкому топливу. Журнал пожарной безопасности, 1981.
3. Косеки Х. Крупномасштабные пожары в бассейнах: Результаты недавних экспериментов. Наука о пожарной безопасности – материалы шестого Международного симпозиума. 2000.
4. Маньхоу Ли. Передовые исследования материалов, машиностроение и аэрокосмическая инженерия, 2014.
5. Старк Г. В. Пожары при разливе жидкости. Серия симпозиумов Института инженеров-химиков, 1972.
6. Скарсбо Л. Р. Экспериментальное исследование пожаров в бассейнах и валидация различных моделей CFD-пожаротушения. Физико-технический факультет Бергенского университета, 2011.
7. Научный журнал «Fire Safety Journal Simulating, Fire dynamics in multicomponent pool fires»
8. Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».
9. СП 131.13330.2020 Свод правил. Строительная климатология.
10. ГОСТ 305-2013 «Топливо дизельное. Технические условия»
11. Приказ Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий от 10 июля 2009 г. № 404.

**МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДОПРОНИЦАЕМОСТИ СВЕТОПРОЗРАЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ
СОВМЕСТНОМ ДЕЙСТВИИ ВЕТРА И АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ**

Константинов А.П., зам. директора ИКБС, ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ»

Траоре А.С., аспирант кафедры КБС НИУ МГСУ

Аннотация. Нормативный предел водопроницаемости светопрозрачных ограждающих конструкций в РФ, также методы лабораторных испытаний водопроницаемости не привязаны к условиям строительства (климатические параметры региона строительства, высота здания и пр.). В данной работе предлагается новый подход к определению параметров лабораторных испытаний с учетом всех требований проекта.

Ключевые слова: водопроницаемость, светопрозрачные фасадные конструкции, проливный дождь, давление ветра при дожде.

Введение. Протечки светопрозрачных конструкций являются крайне нежелательными явлениями, т.к. приводят к повреждению внутренней отделки помещений и пр.

В настоящее время в РФ требования к водонепроницаемости светопрозрачных конструкций нормируются, но они не являются научно обоснованными, а назначены по аналогии с европейскими нормами. Такая же ситуация обстоит и с методами лабораторных испытаний светопрозрачных конструкций - существующие методы испытаний не соотносятся с климатическими условиями РФ.

Данные обстоятельства приводят к тому, что запроектированные согласно действующим нормам и качественно выполненные светопрозрачные конструкции могут в процессе эксплуатации протекать.

Выход из этой ситуации заключается в применении научно обоснованных исходных данных для определения параметров косого дождя, а также методов лабораторных испытаний на водонепроницаемость.

Анализ существующих стандартов испытаний на водопроницаемость. В мире разработано и действует более 30 стандартов, регламентирующих методы испытания светопрозрачных конструкций на водопроницаемость. Обзор допустимых в настоящее время мировых стандартов лабораторных испытаний на водопроницаемость представлен в таблице 1.

Табл. 1
Обзор допустимых в настоящее время мировых стандартов лабораторных испытаний на водопроницаемость

Стадия тестирования	Метод испытания	Стандарт испытания	Тип испытываемых СПК
До начала основного периода эксплуатации	Статический	CWCT section 6	Фасады, окна
		ASTM E 331-09	Окна, двери
		BS EN 1027:2016	Окна, двери
		ГОСТ-26602.2-99	Фасады
		AAMA/WDMA/CSA 101/I.S. 2/A 440-08	Окна, двери
		AS 4420.Part 1 and 5	Окна, двери
		NZS 4211-2008	Окна, двери
	Циклический	ASTM E 547-09	Окна, двери
		UNE 85-229:1985	Окна, двери
		SNZ AS/NZS 4284-2008_Method B	Фасады
		AAMA/WDMA/CSA 101/I.S. 2/A 440-08	Окна, двери
	Аэродинамический	CWCT section 7	Фасады, окна
		AAMA 501.1-05	Окна, двери
		F Pr EN 1560:2009	Крыши
Динамический	ISO 15821:2007	Окна, двери	

Однако большинство из них не позволяет выполнять испытания, которые бы имитировали все характерные режимы воздействия косого дождя на фасады для заданного климатического региона строительства.

Предлагается новый подход к определению параметров лабораторных испытаний светопрозрачных фасадов на водопроницаемость. Суть метода заключается в применении следующих предпосылок. На основе климатических данных о интенсивности вертикальных осадков и скорости ветра во время дождя определяется зависимость интенсивности горизонтальных осадков и давления ветра. На основании известных зависимостей [2] определяется интенсивность дождя требуемый расход воды в ходе испытаний (уравнение 1):

$$WDR = DRF \times RAF \times V_z \times r_h \quad (1)$$

где V_z – скорость ветра на высоте z , (м/с); r_h – количество горизонтальных осадков, (мм/ч); RAF – коэффициент пропуска дождя; DRF – коэффициент осаждения проливного дождя.

Коэффициент DRF определяется уравнением (2) по зависимости, определенной в [3]:

$$DRF = \frac{1}{0,054888D_{50}^3 - 0,888016D_{50}^2 + 4,91844D_{50} - 0,166033} \quad (2)$$

где D_{50} – средний диаметр капли во время дождя, мм

Средний диаметр капли можно определить согласно [4]:

$$D_{50} = 0.69^{2,25} \times 1,3 \times r_h^{0,232} \quad (3)$$

Для того чтобы определить давление ветра на основе скорости следует применить уравнение (4) [1]:

$$P = 0,43 \cdot V_{T=10}^2 \quad (4)$$

где $V_{T=10}$ – скорость ветра, м/с, на уровне 10 м над поверхностью земли для местности типа А, превышаемая в среднем один раз в 50 лет.

Величину интенсивности горизонтальной составляющей осадков можно определить с умножением исходных значений на $\cos 45^\circ$, затем их перевести в мм/мин.

Для преобразования величин с 10 минутных значений в 3-х секундные значения можно воспользоваться формулами (5) и (6) [5,6]:

$$V_{T=10\text{мин}} = 0.69V_{T=3\text{с}} \quad (5)$$

– для ветра во время дождя;

$$\frac{i(t)}{i_h} = \left(\frac{3600}{t}\right)^{0,42} \quad (6)$$

– для горизонтальных осадков

где $i(t)$ – неизвестная кратковременная интенсивность осадков, t – заданный интервал, с; i_h – почасовая интенсивность осадков, (мм/ч).

Выводы. Анализ действующих методов лабораторных испытаний светопрозрачных конструкций по водопроницаемости показал, что они проводятся с использованием стандартных величин ветровых и дождевых воздействий, соответствующих определенным нормативным классам, но не привязаны к фактическим условиям эксплуатации конкретной конструкций (климатическим, расположению на здании и пр.).

Чтобы учесть условия эксплуатации конкретной конструкций при испытаниях на водопроницаемость, предлагается использовать разработанную методику, которая учитывает:

- ✓ взаимосвязь ветрового давления (в Па) от интенсивности горизонтальных осадков (в мм/мин или л/м²/мин);
- ✓ интенсивность проливного дождя;
- ✓ косое падение капель при испытаниях.

Литература:

1. СП 20.13330.2016 «нагрузки и воздействия»
2. Штраубе Ж.Ф., Бернетт Э.Ф.Р. Упрощенный прогноз проливного дождя на зданиях, Материалы международной конференции по строительной физике, 2000. стр. 375–82.
3. Dingle, A.N., and Lee, Y., Terminal Fall Speeds of Raindrops, J. of Appl. Meteor., Vol 11, 1972, p. 877 - 879.
4. Best A. C. The size distribution of raindrops, Quart. Journ. R., Meteorol. Soc., 7.6, № 327, 1950, p. 16—17.
5. Mejin A., Wind-Borne Debris Resistance of Façades, Identification of Alternative Impact Test Requirements, 2022
6. Linsley R.K., Kohler M.A., Paulhus J.L.H., Applied Hydrology, 1975