

ПОЖАРОВЗРЫВО БЕЗОПАСНОСТЬ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ 5'2008

Прогнозирование изменения кинетики тепловыделения при горении стеклопластика

Обеспечение безопасности систем местных отсосов

Влияние жесткости воды на эффективность тушения спиртосодержащих углеводородных топлив



Показатели пожаровзрывоопасности нитроуксусного эфира

Применение информационно-аналитической системы для моделирования и оценки пожарной обстановки

Типы современных установок пожаротушения для защиты складов с высотным стеллажным хранением



ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ

ТОМ 17 ♦ №5 ♦ 2008

FIRE & EXPLOSION SAFETY

Научно-технический журнал
ООО "Издательство "Пожнаука"

The Journal of the Russian Association
for Fire Safety Science ("Pozhnuka")

СОДЕРЖАНИЕ

НОВОСТИ, КОНФЕРЕНЦИИ, ВЫСТАВКИ

- XVII специализированная выставка "СИББЕЗОПАСНОСТЬ. СПАССИБ-2008", 18 сентября 2008 г., г. Новосибирск, Россия **3**

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

- Евграфов П. М., Нестеров А. В., Нестерова О. В.** Подготовка населения к действиям при пожарах как единая информационно-техническая и психологическая проблема **5**

ПРОЦЕССЫ ГОРЕНИЯ

- Кузнецов Г. В., Стрижак П. А.** Пожароопасность процессов взаимодействия разогретых до высоких температур частиц с тканями, пропитанными горючими жидкостями **16**
- Барботько С. Л.** Прогнозирование на основе математической модели изменения кинетики тепловыделения при горении стеклопластика **23**
- Субботин А. Н.** Численное исследование зажигания конденсированных веществ проволокой, нагреваемой электрическим током **29**
- Барановский Н. В., Барановская С. В.** Теплообмен нагретой частицы и поверхностных тканей верхних дыхательных путей **35**
- Захаревич А. В., Кузнецов Г. В., Максимов В. И.** Механизм зажигания бензина одиночной нагретой до высоких температур металлической частицей **39**

ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТЬ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

- Веприкова А. А., Райкова В. М., Новикова И. В.** Энергия взрыва конденсированных взрывчатых смесей и двухфазных аэрозвесей, содержащих жидкое горючее и металл **43**
- Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Авдеев А. С., Пищальников А. В., Орлов С. А., Уломский Е. Н., Артемьев Г. А.** Показатели пожаровзрывоопасности нитроуксусного эфира **48**

ОГНЕЗАЩИТА

- Балакин В. М., Полищук Е. Ю., Горбунова Е. М., Рукавишников А. В.** Исследование огнезащитных и физико-химических свойств фосфорсодержащих карбамидаминоформальдегидных олигомеров **54**

(продолжение на следующей странице)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЖАРОВ

Белицкий В. И., Аглиуллин Р. И. Применение географической информационно-аналитической системы для моделирования и оценки пожарной обстановки в очаге ядерного поражения **57**

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Тетерин И. М., Фирсов А. В. Некоторые вопросы анализа рисков при транспортировке грузов повышенной опасности. Часть 2 **61**

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ, ОБЪЕКТОВ

Вогман Л. П., Шмурнов П. В. Обеспечение пожарной безопасности систем местных отсосов. Расчетные методы **64**

ТУШЕНИЕ ПОЖАРОВ

Воевода С. С., Маркеев А. В. Влияние жесткости воды на эффективность тушения спиртосодержащих углеводородных топлив **70**

ПОЖАРНАЯ АВТОМАТИКА

Поляков Д. В., Еремин Ю. С. Типы современных установок пожаротушения для защиты складов с высотным стеллажным хранением **73**

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ. СПРАВОЧНИК **78**

Журнал включен в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК России для публикации трудов соискателей ученых степеней, в Реферативный журнал и Базы данных ВИНТИ РАН.

Сведения о журнале ежегодно публикуются в Международной справочной системе по периодическим и продолжающимся изданиям "Ulrich's Periodicals Directory".

Перепечатка материалов только по согласованию с редакцией.

Авторы несут ответственность за содержание представленных в редакцию материалов и публикацию их в открытой печати.



XVII специализированная выставка СИББЕЗОПАСНОСТЬ. СПАССИБ–2008

18 сентября 2008 г., г. Новосибирск, Россия

18 сентября в МВЦ “ITE Сибирская Ярмарка” завершила работу XVII специализированная выставка систем и средств охраны и безопасности, услуг по безопасности бизнеса, аварийно-спасательного оборудования, систем, средств и методов спасения “СИББЕЗОПАСНОСТЬ. СПАССИБ–2008”.

В выставке принимали участие 130 компаний из г.г. Москвы, Санкт-Петербурга, Новосибирска, Абакана, Бийска, Братска, Барнаула, Иркутска, Екатеринбурга, Кемерово, Красноярска, Казани, Королева, Миасса, Омска, Тулы, Пензы, Перми, Ростова-на-Дону, Самары, Саратова, Томска, Челябинска.

Выставка имеет официальную поддержку аппарата полномочного представителя Президента в Сибирском федеральном округе, МЧС России, Сибирского регионального центра МЧС России, администрации Новосибирской области, мэрии Новосибирска и проходит при непосредственном участии СРЦ МЧС России и всех подразделений МЧС Сибирского федерального округа.

На официальной церемонии открытия форума гостей и участников приветствовали: Сапожников Геннадий Алексеевич, заместитель губернатора, руководитель департамента науки, инноваций, информатизации и связи Новосибирской области; Терешков Валерий Ильич, заместитель начальника Сибирского регионального центра МЧС России, капитан 1-го ранга; Бурцев Виктор Николаевич, начальник управления мэрии по делам ГО, ЧС и обеспечению пожарной безопасности; Слезко Сергей Михайлович, руководитель департамента “Восток” компании ITV Group (г. Москва); Джун Бум Ким, президент компании JS Teletek Ltd. (Южная Корея). Выступающие отмечали актуальность и значимость проекта, его важную роль в информировании населения о последних достижениях и разработках в области индустрии безопасности.

Традиционно после торжественной церемонии прошли показательные выступления Ассоциаций боевых искусств и Союза силовых структур, а также взвода специального назначения Новосибирского военного института.

Экспозиция предоставила посетителям возможность подробно ознакомиться с новейшими разработками во всех сферах индустрии безопасности. Наиболее широко на выставке были представлены охранные и пожарные сигнализации. Продукцию импортного и российского производства в данном разделе демонстрировали около 40 компаний, среди которых такие крупные, как “Аргус-Спектр”, ITV, “Аврора”, Корпорация “Грумант”, “Формула безопасности” и многие другие.

Значительная часть экспонентов предлагала вниманию посетителей системы охранного телевидения и наблюдения, оборудование по комплексному оснащению и проектированию интегрированных систем безопасности, системы оперативной связи и оповещения. Кроме того, на выставке были представлены инженерно-технические средства безопасности, аварийно-спасательное и поисково-спасательное оборудование, системы защиты информации, услуги охранных предприятий.

Спонсорами выставки выступили компании ITV и JVC — ведущие разработчики программного обеспечения для построения интеллектуальных систем видеонаблюдения и комплексных систем безопасности. На своем стенде компании представили результат совместной работы — видеорегистратор MATRIX NVR, объединивший надежность и отказоустойчивость аппаратной платформы JVC и функциональность программного обеспечения ITV. Еще одна новинка, продемонстрированная на стенде, — сетевая видеочасть WaveCam, позволяющая получать изображение высочайшего качества. Основным преимуществом данной модели является умение различать мельчайшие детали даже в условиях плохого освещения.





На стенде ассоциации “Электронные системы” внимание посетителей привлекал миниатюрный движущийся электропоезд, призванный наглядно продемонстрировать в работе одну из разработок компании — систему “Бастион-Состав”, предназначенную для распознавания номеров и учета перемещений железнодорожных вагонов.

Корпорация “Груммант” провела на стенде презентации оборудования торговых марок AceCor и AceVision производства JS Teletek (Южная Корея), причем комментарии о новинках можно было получить непосредственно у президента компании JS Teletek — господина Джун Бум Кима.

Презентацию разработок Ассоциации предприятий индустрии безопасности Сибирского региона в рамках выставки провел Сибирский региональный центр МЧС России.

Ключевым событием второго дня выставки стала научно-практическая конференция “Проблемы совершенствования природной, техногенной и пожарной безопасности населения и территорий муниципальных образований субъектов Российской Федерации Сибирского федерального округа”, которую провели совместно Сибирский региональный центр Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Главное управление МЧС России по Новосибирской области. На конференции обсуждался широкий спектр вопросов — предупреждение лесных пожаров и направления противопожарной защиты лесов, актуальные вопросы биологической безопасности, защита населенных пунктов от воздействия паводковых вод, решение проблем жилищно-коммунальной сферы; ряд докладов был посвящен современным научным разработкам в области пожаротушения.

Деловая программа выставки включала более двадцати специализированных семинаров и презентаций, которые организовали многие компании-участники. Обширную программу семинаров подготовила корпорация “Груммант”. Несколько мероприятий, посвященных темам информационной и технической безопасности, а также системам видеонаблюдения, провела компания “Аврора”.

Завершилась работа выставки подведением итогов и награждением победителей конкурса “Золотая медаль ITE Сибирская Ярмарка”.

В номинации “Научные и технические разработки в области систем безопасности” Большой Золотой медали удостоились ЗАО “СТРИН Лабс” и ITV Group за разработку и продвижение сетевых видеокамер WaveCam для систем безопасности.

В номинации “Научные и технические разработки в области систем безопасности” Большая Золотая медаль была вручена ООО “НПО “Сибирский Арсенал” (г. Новосибирск).

В номинации “Методические разработки в области защиты и безопасности” Большую Золотую медаль получило Управление по СФО аппарата Государственного антинаркотического комитета Федеральной службы РФ по контролю за оборотом наркотиков за разработку учебно-методического пособия “Правовое регулирование противодействия незаконному обороту наркотиков и их контрабанде”.

В номинации “Научные и технические разработки в области средств спасения” Большой Золотой медали удостоилась Государственная экспертиза МЧС России, Сибирский филиал (г. Красноярск) за внедрение системы независимой оценки рисков.

В номинации “Производство средств спасения” Большую Золотую медаль вручили ООО “РЦ “Барьер-ЧС” (г. Искитим, НСО) за разработку и производство современных средств спасения.

В номинации “Практические действия в области спасения населения” Золотую медаль получили Сибирский региональный центр МЧС России и Ассоциация предприятий индустрии безопасности Сибирского региона (г. Красноярск) за практические действия в области защиты населения и территорий Сибирского федерального округа от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

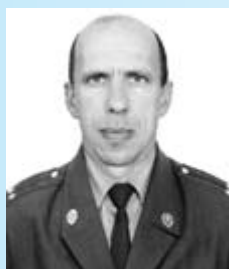
В номинации “Продвижение новых технологий средств спасения на российский рынок” Большой Золотой медали удостоено Государственное бюджетное учреждение Новосибирской области “Центр по обеспечению мероприятий в области гражданской обороны и защиты в чрезвычайных ситуациях и пожарной безопасности Новосибирской области” за продвижение новых технологий в области защиты населения и территорий по Новосибирской области.

В номинации “Методические разработки в области защиты и спасения” Большой Золотой медалью награждено ГОУ ВПО “Сибирский государственный технологический университет” (г. Красноярск) за создание учебно-методических материалов, научных разработок и практическую подготовку руководителей и специалистов по проблемам комплексной безопасности Сибирского региона.

*Пресс-служба компании
“ITE Сибирская Ярмарка”*



Канд. техн. наук, начальник цикла
ГОУ ДПО "Подольский учебный
центр ФПС", Академия ГПС МЧС РФ
П. М. Евграфов



Заместитель начальника
ГОУ ДПО "Подольский
учебный центр ФПС"
А. В. Нестеров



Старший преподаватель
ГОУ ДПО "Подольский
учебный центр ФПС"
О. В. Нестерова

УДК 614.841

ПОДГОТОВКА НАСЕЛЕНИЯ К ДЕЙСТВИЯМ ПРИ ПОЖАРАХ КАК ЕДИНАЯ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКАЯ И ПСИХОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОБЛЕМА

Рассматривается проблема подготовки населения к действиям при пожаре. Показываются неэффективность существующих методов подготовки, информационно-техническая непроработанность проблемы, отсутствие учета общих закономерностей восприятия населением проблем пожарной безопасности, а также психофизиологических особенностей поведения людей в условиях пожара. Намечаются общие пути решения проблемы.

Введение

Государство, конституционно гарантируя защиту жизни, здоровья и имущества людей, не может оставить без внимания такое общественно-опасное явление, как пожар. Последним рубежом обороны общества от этой опасности является *организация действий на пожаре*.

Время от времени оборона эта рушится и рушится с тяжкими последствиями — г.г. Ухта, Владивосток, последние пожары на объектах социального значения. К сожалению, печальное явление такого рода приобрело статистические масштабы. Общеизвестно, что пожары должна тушить пожарная охрана. В связи с этой известной истиной при очередных огненных трагедиях средства массовой информации последствия от пожаров зачастую несправедливо списывают на пожарную охрану. Говоря о неблагоприятном положении с пожарами, в данной статье мы не будем развивать тему недостаточности финансирования, низкой технической оснащенности, кадровых проблем, социальной незащищенности пожарной охраны, хотя все это имеет место. Перейдем сразу к тематике статьи, сказав, что даже *наличие идеальной пожарной охраны не является достаточным условием достижения желаемой пожарной безопасности (ПБ) при пожаре*.

Что же еще нужно?!

К сожалению, общество не осознает, что в деле защиты его от пожара, *кроме пожарной охраны, есть другая сторона, без активной позиции, без деятельной работы которой невозможно добиться положительного результата — это само общество*.

Общество само создает условия для пожаров, нарушает правила пожарной безопасности, активно не принимает попыток Государственного пожарного надзора (ГПН) МЧС России по наведению порядка в области ПБ. И в завершающем звене цепи ошибок — на пожаре — сколько бы напрасных потерь можно было избежать при правильных действиях различных представителей общества: руководителей организаций, ответственных лиц, простых сотрудников и граждан.

МЧС России проводит государственную политику в области ПБ, элементом которой, заключенным в соответствующих нормативных документах, является *подготовка населения к действиям во время пожаров*. Насущная необходимость такой подготовки вытекает из осознания:

- невозможности стопроцентного исключения возникновения пожаров путем проведения различных превентивных мероприятий;
- нарастания угрозы пожаров с ростом техногенной деятельности человека;

- невозможности защиты общества на всех стадиях пожара только силами и средствами государства;
- исключительной важности действий по ликвидации пожара и предотвращению его последствий *в начальной стадии возникновения пожара*, действий, которые может проводить принципиально только находящееся вблизи от очага пожара население.

Многочисленные пожары с человеческими жертвами, случившимися из-за неготовности населения к действиям в условиях пожара, говорят об актуальности этой проблемы.

Реализовать в жизни качественное решение задачи подготовки населения к действиям при пожарах архисложно. К сожалению, не только население не видит особой сложности и актуальности проблемы, но и в пожарной охране в целом нет желаемого *действенного* отношения к этой задаче. Проблема носит многогранный характер. В данной публикации мы практически не касаемся крайне тяжелого вопроса *организационного механизма реализации мероприятий*, требующихся для решения проблемы. Не затрагиваем мы и важнейшей, *юридической* грани задачи. В статье рассматриваются лишь *информационно-техническая и психологическая составляющие проблемы*. Такое рассмотрение само по себе конфликтно вследствие разницы методологии точных технических наук и психологии, взаимного отторжения многих их адептов, лишь за собой признающих право голоса в “своей” области. Однако техническое решение по управлению поведением людей не может не учитывать их психологических реакций, а психологические реакции вызываются окружающей средой, описываемой и формируемой методами точных наук. Добавим, что одной из составляющих *психологической устойчивости* человека в условиях чрезвычайной ситуации является его *информационная устойчивость*. Осознание, что ты знаешь, как поступить, осознание, что ты не находишься в безвыходном состоянии, в тупике, придает дополнительные психологические силы. Поэтому разделение проблемы на информационную и психологическую составляющие в определенной мере условно.

Своей целью на данном этапе мы видим *анализ сложности проблематики*, причем не подробнейший анализ, который в рамках статьи невозможен, а лишь наиболее отчетливо видимой авторами части “большого айсберга”. Но даже такой “усеченный” анализ дает представление о тяжести проблемы. Несмотря на имеющиеся трудности, проблема не является неразрешимой, иллюстрацией чего служит заключительная часть статьи, где намечаются *предположительные контуры направлений решения*.

Рассмотрим сначала с критических позиций существующую систему подготовки населения к действиям при пожаре.

Информационно-техническая недостаточность постановки и решения проблемы

В основном подготовка населения осуществляется в формах *противопожарных инструктажей* и специального обучения по программе *пожарно-технического минимума* — для работников различных организаций, в формах *агитации и пропаганды* — для неорганизованного населения.

Не только не отвергая, но и признавая необходимость всех выше названных форм подготовки населения в области пожарной безопасности, мы тем не менее считаем, что именно в плане *подготовки населения к действиям при пожарах* эти формы низкоэффективны по причине их *малой информативности* в рассматриваемой области. Но, может быть, никакой особо сложной информации для успешной организации действий при пожаре не требуется?

Организация действий на пожаре в значительной степени определяется процессами развития пожара. Однако пожар как физико-химическое явление на сегодня изучен недостаточно. Развитие пожара существенно зависит от трудно учитываемых индивидуальных особенностей горящего объекта. Поэтому и организация действий на горящем объекте имеет серьезную индивидуальную составляющую. Также необходимо отметить существенно субъективный характер методов определения степени опасности на пожаре, без которых невозможно предпринимать ни одно действие. О многих *информационных пожарно-технических проблемах* подобного рода можно еще говорить, к некоторым проблемам мы еще вернемся, но для понимания невозможности решить все имеющиеся проблемы с налета, для понимания сложности организации действий на пожаре добавим, что предметом постоянного разбирательства пожарной охраны являются многочисленные ошибки, допускаемые *ее* сотрудниками на пожарах. А ведь они — профессионалы, прошедшие специальное обучение, имеющие практический опыт тушения пожаров. По вопросам пожарной тактики написаны объемные учебники, многочисленные научные труды, тем не менее ошибки есть и будут в дальнейшем — слишком информационно сложен объект работы пожарных.

Но корректно ли сравнение сложности работ на пожаре, проводимых профессиональными пожарными и населением?

Если обратиться к основному, но абсолютно не достаточному для реальной организации действий нормативному документу, регламентирующему

обязанности населения при пожаре [1], то мы увидим, что население обязано: сообщать о пожаре пожарной охране; самостоятельно до прибытия пожарной охраны *проводить тушение, эвакуацию людей* и материальных ценностей; осуществлять различные технические и организационные *мероприятия по ограничению распространения пожара и обеспечению безопасности людей*. Очевидно, с полным правом можно говорить о *качественной схожести работ на пожаре, проводимых пожарной охраной и населением*.

Коль скоро мы пришли к выводу об интеллектуальной сложности организации работ на пожаре, то, очевидно, данную сложность должен отражать и процесс подготовки населения. Посмотрим, насколько это справедливо для применяемых сейчас форм подготовки.

Обучение по программе пожарно-технического минимума наиболее информативно по сравнению с другими формами подготовки. Однако если взять широко известный справочник по пожарно-техническому минимуму [2], то из трехсот страниц текста лишь две содержат информацию о действиях при пожаре, причем информативное ядро этого материала лишь дублирует Правила [1].

Авторы также рассмотрели “Полный курс пожарно-технического минимума” авторов А. Я. Корольченко и Д. А. Корольченко [3]. Издание представляет собой справочное пособие в области пожарной безопасности предприятий и организаций. Оно содержит широкий круг сведений, необходимых и полезных для организации системы пожарной безопасности хозяйственных объектов, имеющих различное функциональное назначение и разную степень пожарной опасности. По нашему мнению, данное издание наиболее полезно для специалистов в области пожарной безопасности, работающих в должностях инженеров пожарной безопасности предприятий и организаций. Оно также является источником полезных сведений, с помощью которых можно формировать курсы лекций по пожарно-техническому минимуму для конкретных предприятий. Материал издания преимущественно направлен на реализацию мер пожарной безопасности профилактического характера. Сведения, содержащиеся в нем, достоверны, так как основываются на юридических и технических нормах пожарной безопасности. К сожалению, вследствие практического отсутствия отечественных разработок издание почти не содержит рекомендаций по организации действий населения при пожаре. Впрочем заметим, что в отличие от такой формы обучения населения, как производственные инструктажи, обучение по программе пожарно-технического минимума не нормируется в общероссий-

ском масштабе, что создает определенные сложности при разработке и комплектации соответствующих программ обучения.

Практическое ознакомление с инструкциями по действиям при пожаре различных организаций также почти ничего, отличного от Правил [1], конкретизирующего и творчески развивающего общеизвестные положения, не дает. По большей части эти инструктажи формальны и малоинформативны. Следует отметить, что задача разработки противопожарных инструктажей возлагается на работодателей, сфера профессиональных интересов которых слабо связана с ПБ. В такой ситуации нереально ожидать профессиональных, качественных инструкций.

Агитация и пропаганда в плакатной форме обладают неплохой наглядностью, но в деле разъяснения информационно сложных положений могут служить только подсобным средством. К тому же плакатная форма не может сравниться по массовости охвата населения с телевизионной формой агитации и пропаганды, имеющей большие потенциальные возможности. Однако на сегодняшний день бессистемные репортажи с мест пожара очень мало дают положительной информации по части организации действий населения.

Таким образом, *низкая информационная ценность существующих форм подготовки населения к действиям при пожарах несомненна*.

Такое положение дел имеет вполне объективную основу. Оно объясняется, главным образом, несоответствием сложности исследуемого объекта, которым является пожарная безопасность, относительно скромным научным, методическим, штатным, финансовым возможностям творческой части пожарного ведомства. Изучая действия при пожаре, пожарная наука в первую очередь концентрирует усилия на решении проблем профессиональных пожарных — вопросы пожарной тактики пожарных подразделений нашли широкое освещение и в учебной, и в научной литературе. А заняться проблемами организации подготовки населения на столь же качественном уровне пока не удастся.

Отметим, что многие наработки относительно тактики пожарных могут быть заимствованы для организации действий населения. В особенности это применимо для объектов, имеющих собственные полнокровные пожарные расчеты, созданные в рамках ведомственной, муниципальной или частной пожарной охраны. Однако лишь немногие объекты имеют свою пожарную охрану, да и проблема организации действий населения при пожаре звучит как проблема первоочередных действий в начальной стадии пожара не пожарных, а обычных людей, оказавшихся ближе всего к очагу пожара, и

других обычных людей, активно или пассивно задействованных в действиях при пожаре.

Что же определяет разницу в подготовке населения и пожарных?

Первое основное отличие заключается в том, что хотя изучаемый объект у пожарных и населения один и тот же — пожар, однако *пожарные, в силу более позднего прибытия на место возгорания, имеют дело почти всегда с развившимся пожаром, население же, предполагается, — с пожаром в начальной стадии*. Законы развития пожара на этих стадиях различны, следовательно различны и подходы к тушению. Тактические задачи, решаемые в ходе обучения пожарных, всегда предполагают развившийся пожар. С пожаром на начальной стадии благодаря своему вооружению и подготовке огнеборцы справляются легко, поэтому тактика действий на этой стадии практически не изучается и не вырабатывается.

Развившийся пожар несет большую опасность, чем пожар в начальной стадии: более высокая температура, меньше кислорода для дыхания, больше отравляющих газообразных веществ. Казалось бы, по этой причине населению в условиях начинающегося пожара действовать менее опасно, чем пожарным по своему прибытию. Однако не следует забывать о *втором важном отличии* между пожарными и населением — *различной экипировке*.

Население не имеет боевой одежды пожарных, защищающей от воздействия высокой температуры, не имеет средств индивидуальной защиты органов дыхания от вредных и отравляющих газообразных продуктов горения, которыми вооружена пожарная охрана. Поэтому, несмотря на менее развитые опасные факторы пожара, говорить однозначно о меньшей опасности для населения не приходится.

Покажем некоторые *проблемы, существующие в проведении работ на пожаре*.

Обращаем внимание, что одним из мероприятий, требуемых [1] от руководителей организаций при пожаре, является *обеспечение правил охраны труда*. Существуют правила охраны труда для пожарных [4], а также специальные ведомственные приказы, направленные на обеспечение безопасности работ на пожарах, но все это написано не для населения. Для него есть только нормативное требование обеспечения безопасности, а правил, учитывающих специфику его действий при пожаре, нет. *Правила безопасности на пожарах для населения* только предстоит разработать. Определять же тактику действий населения при пожаре надо с учетом этих правил, т.е. с учетом *отсутствия экипировки* и обязательно с выработкой *практических критериев определения степени опасности работы в условиях пожара*.

Большой, практически не решенной информационной проблемой является проведение при пожаре *эвакуации* людей, закрепленное нормативными требованиями. Даже в учениях по эвакуации возникает масса различных проблем. В условиях же пожара задача организации быстрой и безопасной эвакуации больших масс людей еще более осложняется.

Наиболее весомым нормативным документом, касающимся эвакуации, является ГОСТ [5], но основное назначение этого документа — в определении требований к путям эвакуации и степени пожарной безопасности для людей посредством сравнения расчетных значений времени эвакуации людей из здания с расчетными значениями времени достижения предельно допустимых значений опасных факторов пожара. Практические вопросы *организации эвакуации* в данном стандарте не рассматриваются, хотя таких вопросов очень много.

Так, неясен *критерий определения степени опасности возгорания*, с помощью которого можно узнать, когда следует начинать эвакуацию. Вспомним пожар в г. Владивостоке, где именно задержка начала эвакуации послужила причиной гибели людей. Но и вдаваться в противоположную крайность нельзя, когда эвакуация объявляется при любом запахе дыма. Принимая решение об эвакуации, следует учитывать индивидуальную опасность конкретного здания или производства, а также материальные затраты, связанные с остановкой деятельности предприятия.

Ожидает решения также частная проблема *определения очередности выхода людей* (в случаях неодинаковой опасности для отдельных групп или недостаточной пропускной способности эвакуационных путей).

Отдельную проблему организации эвакуации представляет составление планов эвакуации. Очевидна формальность составляемых сейчас планов, которые хороши только тогда, когда реального пожара нет. Если же случится пожар, а он может происходить в *различных* местах здания и блокировать *различные* эвакуационные пути, то такой план эвакуации сразу же станет бессмысленным для людей, отрезанных от выходов. В ряде организаций с массовым пребыванием людей имеется много сторонних посетителей, которые ничего об этих планах не знают, для которых они вообще бесполезны. Ясно, что планировать пожар надо по-другому, многовариантно, с учетом развития опасных факторов пожара, причем предполагать доведение этого планирования некими эффективными способами до всех возможных исполнителей, как постоянно работающих в данной организации, так и сторонних посетителей.

Выносить личные вещи или не выносить? Дифференцировать как-то свои действия в зависимости от времени года, времени суток или нет? Надо ли активно управлять потоками эвакуирующихся или пустить все на самотек; если надо, то как? Как управлять эвакуацией в организациях, где много сторонних посетителей, не знакомых с путями и правилами эвакуации, не надеясь на показавшую свою низкую эффективность электронную систему управления эвакуацией (светящиеся стрелки и указатели)? Вопросов больше, чем ответов.

Итак, необходимо тщательно разработать методологию проведения *самостоятельной (без помощи пожарных) эвакуации* с тем, чтобы не подводить ситуацию к последней черте — спасанию людей пожарными прямо из огня, как это было в г. Владивостоке (рис. 1).

Тушение — одно из важнейших мероприятий при пожаре. Но оно по своим результатам потенциально содержит противоречие. С одной стороны, тушение — опасная для здоровья и жизни тушащего работа, а жизнь и здоровье человека — есть главные ценности нашего общества, защищаемые Конституцией. Известны случаи, когда сотрудники организации гибли при тушении. С другой стороны, отказ от тушения приведет к развитию пожара и возможному росту угрозы здоровью и жизни других людей, находящихся в здании. Случаев бездействия, приведших к тяжким последствиям, очень много. Отмеченное противоречие отразилось в п. 109 Правил [1], где говорится о проведении тушения “по возможности”. Однако нигде не раскрывается конкретное содержание термина “по возможности”. Понятно, что прояснение значения этого термина следует увязывать, опять же, с еще неразработанными правилами безопасности населения при пожарах. Общую информационную задачу в отношении тушения, проводимого населением, с учетом пробелов в его экипировке можно сформулировать следующим образом: определение критериев безопасности тушения, какими средствами и силами следует осуществлять тушение.

Неопределенность существует и в проведении требуемых Правилами [1] специальных организационно-технических мероприятий, важнейшим из которых является *отключение электричества и вентиляции (кондиционирования)*.

Только на первый взгляд отключение электричества не содержит в себе никаких проблем. Практика же пожаров с многочисленными случаями неотключения или задержки отключения электричества убеждает в обратном. Слабые организационные места выявляются и при проведении учений на объектах. Надо сказать, что для крупных организаций в ряде случаев вопрос *оперативного* проведе-



Рис. 1. Спасание людей пожарными в г. Владивостоке

ния соответствующих отключений не так прост и технически. В контексте осуществляемых при пожаре действий порядок отключения электроэнергии должен учитывать также и специфику отключаемых объектов. Так, в зависимости от особенностей производственного процесса конкретной организации отключение электроэнергии может привести к существенным материальным потерям. Перечень вопросов, на которые необходимо ответить по *каждому* объекту, примерно следующий:

- при каких условиях пожара осуществляется *общее* отключение объекта, кто его проводит и кто принимает решение об *общем* отключении;
- кто и при каких условиях пожара проводит *локальные* отключения электричества, кто принимает решение;
- каков порядок отключения электроэнергии *в темное время суток*.

Результат отключения вентиляции не очевиден. С одной стороны, это способствует ограничению развития пожара и распространения его опасных факторов. С другой стороны, отключение вентиляции задымленного помещения, где находятся люди, может привести к их гибели. Понятна поэтому оговорка в п. 110 [1] относительно отключения вентиляции, что оно должно производиться “*при необходимости*”, но разъяснения этой оговорки нет. Очевидно, что нормативно требовать и спрашивать за невыполнение нормы можно только при ее полной определенности. Чтобы эта норма стала рабочей, необходимо описать наиболее типичные ситуации и решения, им соответствующие; следует на основе анализа таких ситуаций выработать алгоритм принятия решений и довести его до соответствующих лиц. Отметим, что подобная неопределенность формулировок присуща всем нормам, касающимся действий населения при пожаре.

Таким образом, даже не слишком углубившись в тему, мы показали, что проблема организации действий населения при пожаре носит информационный пожарно-технический характер, выражающийся в научно-практической непроработанности многих вопросов, отсутствии нужной информации.

Психологическая составляющая проблемы

Достаточно ли человеку, оказавшемуся невольным участником пожара, *знать* о том, что ему надо делать, чтобы исполнить предписанную ему обязанность, сохранив при этом свою жизнь и здоровье? К сожалению, нет. Даже при решении вышеозначенной информационной проблемы исполнение людьми действий, наиболее адекватных складывающейся ситуации, совсем не гарантировано. Причиной тому являются *общие особенности психики человека и психофизиологические особенности поведения людей в условиях такой чрезвычайной ситуации, как пожар*.

Авторам пришлось проводить занятия по ПБ на различных объектах. Составным элементом этих занятий был опрос сотрудников объекта относительно степени пожароопасности их объекта. Из статистики мнений выработалось убеждение о *самоуспокоенности* населения по вопросам пожарной безопасности. Самоуспокоенность же приводит к безразличному отношению к проблемам ПБ, к тому, что население попросту *не хочет ничего знать о пожарной безопасности, не хочет изучать свои обязанности в области ПБ, не хочет учиться действиям при пожаре*. Общественную значимость у нас, к прискорбию, приобрело не сознательное выполнение правил пожарной безопасности, а пренебрежение ими, выполнение их из-под палки ГПН МЧС России. Это — громадная проблема, обусловленная в существенной степени *общими закономерностями психологии людей*, проблема, которая, не будучи решенной хотя бы на удовлетворительном уровне, сделает бесполезной все наши достижения в информационной проработке организации действий при пожаре. Это — айсберг, который топил, топил и продолжает топить ВСЕ (!!!) усилия в области ПБ, сколь титаническими они бы не были.

Контрпродуктивно в современном обществе полагаться на самостоятельное зарождение в его недрах адекватного отношения к какому-либо сложному общественному явлению. *Мнение общества по вопросам ПБ надо формировать*. Очевидно, что *самоуспокоенность населения следует всеми силами разрушать, без этого невозможно ожидать никакого положительного отношения населения к проблемам ПБ*.

Чтобы изменить что-то в данном направлении, надо знать истоки этой самоуспокоенности, причины негативно-равнодушного отношения к проблемам ПБ. В чем же проявляется это явление?

Первоисточником самоуспокоенности является *элементарная безграмотность населения в области ПБ*, когда люди не видят и не понимают *степени пожарной опасности* окружающего их пространства. Хотя, безусловно, каждый взрослый человек неоднократно видел телекадры пожаров и их жертв, тем не менее в отношении себя он считает, что опасность не так велика и маловероятна. Показ чужих несчастий вообще люди воспринимают довольно отстраненно. А тогда, когда сознание общества все-таки потрясено каким-нибудь бедствием, как при пожаре в г. Владивостоке, с течением времени острота переживаний притупляется и сходит на нет. В конце концов, самоуспокоенность сводится к мнению, что *если где и будет пожар, то не у нас, если кто-то пострадает, то не мы сами, придет пожарная охрана и ликвидирует опасность*. Действительно, среди общей массы людей редко кто лично попадал в условия пожара, но ведь также далеко не каждый в течение своей жизни был ограблен, сбит автомашиной, избит отморозками с нанесением тяжелых повреждений, далеко не каждая женщина была изнасилована. Однако все принимают меры предосторожности *по различным* вопросам безопасности, но только не по пожарной безопасности.

Никто, кроме специалистов пожарной охраны совместно с психологами, не сможет изменить описанное ментальное отношение населения к проблемам ПБ; пожарная охрана просто обязана этим заниматься. И как-то этим она занимается, но, по всей видимости, что-то в этом направлении делается не так. Что?

Научно-практического материала, способного обрисовать степень пожарной опасности для людей их среды обитания, наработано много. В каждом конкретном случае, применив справочники, таблицы, расчетные модели, можно получить даже численное выражение пожарной опасности. Однако нужно ли это делать? Представляется, что, может быть, и очень точное, научное, но бесстрастное и сухое описание пожарной опасности окружающего нас мира — плохой вариант работы с населением. *Нужно яркое и талантливое воздействие на умы*. Но где же взять столько талантов, их же просто нет в требуемом количестве и быть не может. Именно поэтому нужен *единый качественный учебно-методический материал*, который можно транслировать на большие группы населения. Сейчас же ничего подобного мы не имеем.

Еще на один аспект, негативно влияющий на недооценку пожарной опасности обществом, хотелось бы обратить внимание. В настоящее время по

тотальности и степени воздействия на умы ничто не может сравниться с телевидением. Телевизионные репортажи с мест пожара или учений пожарных серьезно влияют на *улучшение имиджа пожарной охраны МЧС России*, что, безусловно, важно. Но есть и отрицательный момент в проводимой сейчас агитации. Когда телезритель видит эффектные кадры тушения с использованием авиационной техники (рис. 2), демонстрацию возможностей спасания людей из высотных зданий с помощью автолестниц и других средств спасания, у него в голове неминуемо складывается представление о безграничных возможностях пожарной охраны. Появление *самостоятельности* населения в таких условиях естественно. Зачем беспокоиться о собственных действиях во время пожара, если приедут пожарные, потушат и спасут? Население не понимает, что с телевизионных экранов демонстрируются *лучшие образцы техники и работы, то, к чему надо стремиться*. Показывается некий *идеал*. А между идеалом (телекартинкой) и реальностью всегда имеется разрыв, подчас — весьма существенный. Наша пожарная охрана, безусловно, героическая, однако может далеко не все, и поэтому дело защиты от пожара — забота не исключительно пожарной охраны, но и личное дело каждого.

Таким образом, в отношении разрушения негативно-пассивного отношения населения к проблемам ПБ задача может быть сформулирована как *разработка способов и средств стимуляции интереса населения к проблемам пожарной безопасности*. Речь идет как о методах точечного (в пределах учебной группы), так и *массового* воздействия на сознание людей.

Говоря о решении *общей* психологической проблемы при разработке методов воздействия на сознание людей, мы не должны сводить все к единому шаблону, так как существуют группы людей, сильно *различающиеся* по своим мотивациям в отношении обучения мерам ПБ. Следовательно, даже при решении *общей* проблемы *воздействие на сознание должно быть дифференцированным*. Таким образом, от *общих закономерностей психики* мы переходим к учету *психологических особенностей* различных групп людей.

В первую очередь мы бы выделили следующие группы и подгруппы: работающее (руководители и собственники организаций, руководители среднего звена, рядовые работники) и неработающее население. Следует также различать группы населения по половому признаку, возрасту. Каждая из этих групп требует своего подхода. Например, заинтересовываем рядовых работников, следует бороться с *психологией маленького человека*, от которого ничего не зависит и с которого невелик спрос. Рядовой работник не может быть принципиальным противни-



Рис. 2. Есть ли предел возможностей МЧС России?

ком внедрения мер ПБ в организации, главное, по мнению такого работника, чтобы лично от него не требовалось при этом больших затрат умственной и физической энергии. Отсутствие же интереса у руководителя организации помимо прочих причин, наоборот, обусловлено *психологией большого человека*, которому “море по колено”, *который считает деньги* и не хочет их тратить на такую “ерунду”, как пожарная безопасность.

Как отмечалось, знания о правильном поведении в той или иной ситуации пожара не гарантируют действия человека сообразно этим знаниям. Причинами тому являются *стресс* и *определенные особенности психики* различных людей.

Каждый раз, говоря о проблемах организации действий населения при пожаре, мы приводим весьма показательный пример общеизвестного пожара в г. Владивостоке. Все видели по телевидению кадры горящего здания, выбрасывающихся из объятых пламенем и дымом окон, срывающихся с рекламных растяжек женщин. Если бы не задержка вызова пожарной охраны в сорок минут, таких жертв не было. Примечательно, что о необходимости звонка в пожарную охрану знали все, в том числе и пострадавшие от пожара люди, каждый из них проходил противопожарный инструктаж, т.е. знание о необходимости звонка у людей было. *Проще этого знания вряд ли что-то иное можно придумать*. Но никто из участников пожара не позвонил, хотя технические возможности для этого были. Задыхаясь от дыма, звонили по мобильным телефонам своим близким, прощаясь с ними, но не в пожарную охрану. Звонок поступил только от посторонних лиц. К вопросу о психологических закономерностях: примечательно, что данный случай не только не является исключением, он типичен. Множество пожаров получают свое развитие из-за задержки вызова пожарной охраны.

Выходит, что *даже элементарному знанию мы до сих пор не смогли научить*. Что же говорить о подготовке населения к интеллектуально сложным действиям?!

Однако не так все просто на самом деле, и неудачи в деле подготовки населения не должны приводить к выводу о бесполезности работы с ним. Христовы заповеди существуют более двух тысячелетий, все говорят, что их надо соблюдать, тем не менее нарушения заповедей повсеместно и ежесекундно продолжают. Но это не является основанием отмены базовых моральных принципов и прекращения христианского воспитания.

Мы убеждены, что ситуация с обучением населения не является тупиковой, *качество подготовки улучшить можно*. Чтобы сдвинуть решение проблемы, надо в корне менять подход к обучению, переводить его на современные научные рельсы, осуществлять *с учетом общей психологии людей и поведения их в условиях чрезвычайных ситуаций*.

Заметим, что и в стрессовом состоянии, и без такового знания о необходимости передачи сообщения о пожаре у людей имеются, они никуда деться не могут, но остаются не востребуемыми, отодвигаются куда-то на задний план. Сформулируем поэтому данную психологическую проблему как проблему *активации имеющейся нужной информации в экстремальных условиях*.

Предложения по *учету психофизиологических особенностей поведения людей при пожаре* для организации их действий не могут быть сформулированы без изучения этих особенностей. К сожалению, подобного рода исследований явно недостаточно. Тем не менее наработки в этом направлении имеются, например публикация [6]. Обратим внимание на то, что в таком сложном практическом вопросе, как организация действий при пожаре, психофизиологические особенности поведения людей существуют не сами по себе, они тесно связаны с различными техническими и организационными вопросами. Проблема слишком объемна, но попытаемся хотя бы *примерно* показать ее сложность, отметив лишь *некоторые частные психологические вопросы*, связанные с поведением людей при пожаре. Отдельные психологические особенности поведения мы уже отмечали ранее. Подведем некоторый итог.

1) Люди зачастую неправильно реагируют или вообще не реагируют на появление неявных признаков пожара (дыма). Как отмечалось выше, это приводит, по крайней мере, к задержке вызова пожарной охраны. Возможных причин такого поведения две: одна — перекладывание своих обязанностей на окружающих, вторая — малая значимость данного сообщения в глазах каждого по отношению к самому себе в сочетании с пренебрежением общественными интересами. Заметим, что указанный психологический фактор, выражающийся в перекладывании на других своих обязанностей, когда

человек задает себе вопрос “а почему я?”, чрезвычайно силен. Его нельзя не учитывать.

2) Психологическое изучение поведения людей во время пожара свидетельствует о том, что большинство людей не способны принимать сложные многоэтапные решения в условиях стресса, тем более длительное время. Из этих исследований следует, что люди способны принять одно-два наиболее существенных решения, от силы — три. Реальное же решение на пожаре носит сложный многоступенчатый характер. Как можно преодолеть это противоречие?

3) Как показывают опыт и соответствующие исследования, в местах массового скопления людей объявление о некоей опасной чрезвычайной ситуации оказывает на многих дестабилизирующее психологическое воздействие, вплоть до возникновения неуправляемой паники. С другой стороны, без объявлений невозможно управлять действиями масс людей. Людей следует психологически мобилизовать и сообщить им о действиях, которые они должны предпринимать, но не вызвать при этом панику. Как это сделать?

4) Отключение электроэнергии, а следовательно, и света, в темное время суток существенно затруднит управление эвакуацией и тушение пожара, поэтому оно способно содействовать возникновению паники. Наличие аварийного освещения не решает полностью этой проблемы, тем более не везде оно есть. Какие меры можно предложить для уменьшения негативных последствий во время выключения света?

5) Эффективности доведения сообщения до каждого человека мешает “барьер внимания”, когда занятый человек не замечает того, что происходит вокруг него и передаваемые сообщения. Как привлечь внимание людей к первому сообщению?

6) Как показывают опыт и проведенные исследования, используемые системы управления эвакуацией (светящиеся знаки) обладают невысокой эффективностью. Постоянные сотрудники и так хорошо знают конструктивные особенности своего здания и в условиях нормальной видимости в таких знаках не нуждаются. Кроме этого, для постоянных сотрудников по отношению к этим указателям действует эффект привыкания (они всегда находятся во включенном режиме и светятся); сотрудники просто не обращают на них внимания. В условиях задымления эти знаки плохо видно. Посетители в условиях стресса также обращают на них мало внимания. Как учесть эти психофизиологические особенности восприятия, чтобы сделать либо систему управления эвакуацией, либо саму эвакуацию более эффективной?

7) К первичному сообщению о пожаре посетители, по разным причинам и в разных формах, отно-

сятся неадекватно (несерьезно), не выполняя предписаний администрации об оставлении помещения. Все это существенно увеличивает время полной эвакуации. Что можно предложить в этом случае?

8) Существует также такое явление, как возвращение людей в горящее здание. В отдельных случаях процент возвращающихся людей может быть очень высок. Этот эффект объясняется тем, что под влиянием чувства опасности люди интуитивно занимаются самоспасанием, забыв обо всем другом. Когда они выбрались из здания и первый стресс прошел, люди вспоминают об оставленных вещах, невыполненном долге по спасению людей и тушению пожара, и они возвращаются в здание. В результате создаются препятствия движению основного потока эвакуирующихся. Как можно бороться с этим явлением?

9) В большой толпе в условиях стресса проявляются различные отрицательные модели поведения. В результате эвакуация может проходить стихийно, т.е. неоптимально и даже с эксцессами. Особенно ситуация обостряется, когда в толпе находится много людей, не знакомых с планировкой здания и правилами эвакуации данной организации. Как реально организовать эвакуацию большой массы людей, направив их по нужным эвакуационным путям?

10) Поведение людей сильно различается в зависимости от их возраста, пола, профессии. Планируя общие правила поведения людей на пожаре без учета психофизиологических особенностей поведения различных групп, мы не получим качественного решения проблемы.

11) Крайне тяжелым представляется решение проблемы организации эвакуации в детских дошкольных учреждениях, особенно если пожар происходит во время сна, в вечернее время, зимой. Даже при большом желании администрации и педагогов этих учреждений учения по эвакуации, которые иногда проводятся, слишком далеки от реальности и напоминают скорее детский утренник (рис. 3). А как можно планировать действия в подобных учреждениях без учета женского контингента воспитателей, *женской психологии*, в корне отличающейся от мужской? На рис. 4 представлен фрагмент системы ПБ одного из детских садиков. Все вроде бы есть — утвержденные планы эвакуации, обязанности номеров пожарного расчета при пожаре. Наглядно изображены действия номеров пожарного расчета (мужчины в касках). Но где вы видели мужчин в детском саду, какие каски, откуда? Тушение же пожара женщинами при чрезвычайно развитом у них инстинкте самосохранения не исключается, однако весьма проблематично. Разве не понятно, что все это — фикция? Можно только поклониться в ноги беззаветно любящим детей воспитателям, но нельзя не признать малоэффективной



Рис. 3. Учение по эвакуации в детском саду. Действительно ли оно?

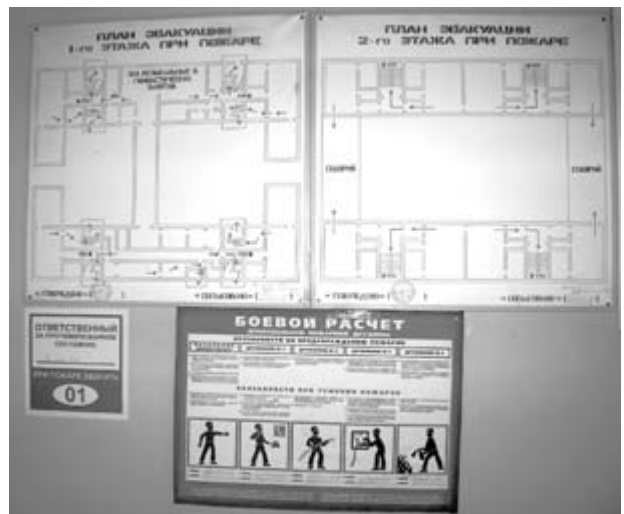


Рис. 4. Все хорошо, прекрасная маркиза..., но формально

их работу без специальных исследований в области детской, женской психологии в комплексе с пожарной проблематикой.

Общие направления решения проблемы

Наиболее рациональным организационным решением проблемы представляются разработка *целевой федеральной (на уровне МЧС России) программы*, предусматривающей создание *специальной организационной структуры* из наиболее квалифицированных специалистов (научных работников по направлению пожарной безопасности и психологов, преподавателей), проведение научных работ, создание учебно-методических пособий, разработка соответствующих норм пожарной безопасности.

Непосредственным источником получения требуемого материала должно быть проведение практических учений на различных объектах с использованием, конечно, имеющегося опыта пожарной охраны и теоретических разработок. Учения



Рис. 5. Тревожить и шокировать сознание людей

надо планировать исходя из различных сценариев развития пожара. Проведение такой работы подкреплено существующей нормативно-правовой базой [1, 7], согласно которой организации обязаны планировать свои действия при возможном наступлении ЧС, а объекты с массовым пребыванием людей должны проводить учения по эвакуации не реже одного раза в полгода. Обеспечение проведения этих учений следует возложить на ГПН.

Простого решения проблемы равнодушно-негативного отношения населения к ПБ существовать не может. Позитивное воздействие на сознание населения должно быть тотальным и систематическим. Проблема эта комплексная и решение ее должно быть комплексным, вестись по различным направлениям и осуществляться различными методами. Здесь требуются творчество и талант.

Громадную роль в данном вопросе следует отвести *телевизионной форме пропаганды и агитации*. Необходим талантливый телевизионный показ *реальности и опасности пожара для каждого*. Отбросив ложно понимаемый гуманизм, надо показывать людские беды и внушать, что все это может произойти ни с кем-то другим, а именно с тобой. Пропаганда и агитация в области ПБ должны быть скальпелем хирурга, излечивающим сознание людей. Из нынешнего расслабленного положения мозгов можно выйти только через встряску, через боль. Необходимо периодически (поводов для этого, к сожалению, более чем достаточно) *тревожить и шокировать сознание людей* (рис. 5). Просто показать труп — полдела, а показать жизнь благополучной семьи и последующую трагедию, например покалеченного огнем ребенка, оставшегося без родителей и отданного в детдом, — это многих не оставит равнодушными. На Западе уже давно не вызывает сомнения максимальная эффективность *социальной рекламы* под названием *“шок и ужас”*. У нас, в России, ГИБДД заказало серию такой рекламы. Федеральной противопожарной службе МЧС России пора подключаться к этому процессу.

Руководителей организаций слезой не проймешь. Им, от которых в первую очередь зависит реализация мер ПБ на объектах, надо давать другую информацию и тоже в яркой форме. Показывать сгоревшие предприятия, уголовные дела против руководителей, приводить подробно законодательство, случаи отказа страховщиков от страховых выплат из-за неверных действий или бездействия во время пожара сотрудников и объяснять законность таких отказов.

Надо объяснять, что рассчитывать *только* на пожарную охрану неумно и опасно. Пожарная охрана — не сказочный джин, она не всесильна. Надо объяснять, что пожарная охрана хорошо делает свою работу не только *благодаря* присущим ей качествам, но и *вопреки* многим объективным препятствиям в ее работе. От такого показа *имидж пожарной охраны МЧС России только выиграет*. Насколько глупо и пошло смотрелись бы наши военные фильмы, если бы немецкие войска изображались в них не как чрезвычайно умный и храбрый враг, а как скопище болванов и трусов. Какой грошовой тогда представлялась бы наша победа и как несерьезен был бы образ нашей армии. Обратим внимание, что именно следствием завышенных ожиданий относительно возможностей пожарной охраны и соответствующих разочарований при конкретных пожарах являются резко негативные и несправедливые нападки средств массовой информации на пожарную охрану МЧС России.

Заслуживает внимания опыт правовых телепередач типа *“Час суда”*. Это и образование населения, и самофинансирующееся шоу с неплохим рейтингом. Даже в рамках таких передач можно строить удачную противопожарную работу. Если наладить еще и выпуск собственной образовательной программы, это было бы просто замечательно.

Необходимо присмотреться к такому школьному предмету, как обеспечение безопасности жизни (ОБЖ). Образовывать людей лучше всего с детства. Перед началом учебного года учебник ОБЖ получил убийственную до неприличия критику в средствах массовой информации. Думается, если привлечь статистику ежегодных смертей от различных чрезвычайных ситуаций, то многие происшествия (лавины, землетрясения, наводнения и т.п.), не говоря уж об оружии массового поражения, отойдут на задний план перед таким каждодневным бедствием, как пожар. Для детей в рамках этого предмета нужно сделать очень яркий и интересный раздел по действиям во время пожара. Он должен быть простым и доходчивым, чтобы его смог преподавать непрофессионал: любой отставник Министерства обороны или женщина.

Проблема, которую мы сформулировали как необходимость *активации имеющейся нужной ин-*

формации в экстремальных условиях, известна в различных областях экстремальной деятельности человека. Общий рецепт ее решения также известен, например [8]. Дело в том, что работа сознания гораздо медленнее работы подсознания. Кроме того, сознательное мышление очень уязвимо в условиях стресса. В быстроразвивающихся сложных и опасных условиях сознательно думать просто некогда. Профессиональные пожарные по большей части действуют на подсознании. Это не означает, что они не пользуются полученными ранее сознательно знаниями, просто эти знания переносятся в область подсознания. Говоря языком преподавателей, знания переходят в прочное умение. Этому процессу у пожарных способствует то, что они кроме теоретических знаний имеют большую практику. Такой практики население, к счастью, лишено. Поэтому суперзадачей практической психологии в подготовке населения к действиям при пожаре является перевод полученных в ходе обучения знаний на подсознательный уровень. Здесь мы ставим большой знак вопроса, но это не говорит о безопасности работы в данном направлении.

Существуют различные психотехники перевода знаний на подсознательный уровень. При применении этих методик используются самопрограммирование, медитация, самогипноз. Однако этот путь требует большой самостоятельной работы обучающегося, что делает его пригодным лишь для людей с большим желанием достигнуть профессиональных высот; вряд ли он имеет массовое применение по

отношению к населению. Нам бы хотелось, чтобы к данной работе подключились психологи, именно от них мы ждем интересных предложений.

Заметим, что тотальность и систематичность воздействия на людей нельзя достигнуть без разработки новых методов активного обучения, несущих в себе мощный психологический заряд (в отличие от общепринятых методов обучения, способных усыпить любого). Со своей стороны, мы имеем некоторые теоретические наработки в части организации действий населения при пожарах. Разработана и современная технология обучения [9]. Речь идет о компьютерных деловых играх и применении метода анализа конкретных ситуаций. На сегодня это, пожалуй, самые эффективные формы обучения, оказывающие серьезное эмоциональное воздействие на обучаемого. Перевод полученных знаний на подсознательный уровень здесь осуществляется за счет психологического погружения обучаемого в атмосферу игры и систематического ее повторения. Закончен пилотный вариант компьютерной программы для обучения населения [10], состоящий из пятнадцати требующих решения конкретных ситуаций и деловых игр, описывающих определенные характерные условия пожара. Данная форма подготовки может быть применена в массовом порядке.

В заключение подчеркнем еще раз, что только при методичности и систематичности проводимой работы можно ожидать положительного результата, разовые акции не помогут.

ЛИТЕРАТУРА

1. **ППБ 01–03.** Правила пожарной безопасности в Российской Федерации.
2. **Собурь, С. В.** Краткий курс пожарно-технического минимума. 2-е изд., доп. / С. В. Собурь. — М.: Пожарная книга, 2004. — 304 с.
3. **Корольченко, А. Я.** Основы пожарной безопасности предприятия. Полный курс пожарно-технического минимума / А. Я. Корольченко, Д. А. Корольченко. — М.: Пожнаука, 2006. — 314 с.
4. **ПОТРО-01–2002.** Правила по охране труда в подразделениях Государственной противопожарной службы МЧС России.
5. **ГОСТ 12.1.004–91.** Пожарная безопасность. Общие требования.
6. **Дутов, В. И.** Психофизиологические и гигиенические аспекты деятельности человека при пожаре / В. И. Дутов, И. Г. Чурсин. — М.: Изд-во Специализированного научно-практического центра экстренной медицинской помощи “Защита”, 1993. — 300 с.
7. **Федеральный закон** от 21 июля 1997 года № 116-ФЗ “О промышленной безопасности опасных производственных объектов”.
8. **Зуев, Ю.** Сознание в поединке / Ю. Зуев // Психология экстремальных ситуаций: Хрестоматия / Сост. А. Е. Тарас, К. В. Сельченков. — М.: АСТ; Мн.: Харвест, 2001. — 480 с.
9. **Евграфов, П. М.** Ноу-хау обучающих программ и деловых игр / П. М. Евграфов, Ю. М. Глуховенко. — М.: Изд-во АРС, 2004. — 222 с.
10. **Евграфов, П. М.** Контрольно-обучающая программа для подготовки сотрудников объектов к действиям при пожаре / П. М. Евграфов, И. П. Евграфов // Интернет-журнал “Технологии техносферной безопасности”. — 2008. — № 4. — <http://ipb.mos.ru/ttb>.

Поступила в редакцию 11.08.08.



Д-р физ.-мат. наук, профессор
Томского политехнического
университета
Г. В. Кузнецов



Аспирант Томского
политехнического университета
П. А. Стрижак

УДК 536.468

ПОЖАРООПАСНОСТЬ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАЗОГРЕТЫХ ДО ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР ЧАСТИЦ С ТКАНЯМИ, ПРОПИТАННЫМИ ГОРЮЧИМИ ЖИДКОСТЯМИ

Численно исследован процесс зажигания горячей частицей, образующейся в результате резки или сварки стальных конструкций, смеси воздуха с парами жидкого топлива, поступающими с поверхности ткани, пропитанной жидким горючим веществом. Установлено влияние на время задержки воспламенения парогазовой смеси начальной температуры источника нагрева и объемной доли жидкости в ткани. Приведены результаты исследований для трех типичных горючих жидкостей (бензин, керосин, дизельное топливо) и трех широко распространенных тканей (шерсть, шелк, лен). Выделены предельные условия воспламенения системы "жидкость – ткань".

Введение

Процессы воспламенения жидких горючих веществ все больше привлекают внимание исследователей [1–3]. Это можно объяснить постоянным повышением требований пожарной безопасности на предприятиях различных отраслей промышленности и необходимостью разработки современных средств прогнозирования и предотвращения неконтролируемых возгораний [1, 4]. Наиболее опасны процессы воспламенения жидких горючих веществ на химических и нефтеперерабатывающих производствах [5]. Однако довольно часто возгорания жидкостей происходят на предприятиях других отраслей промышленности и в быту.

В частности, строительные и ремонтные работы нередко выполняются на открытых площадках в непосредственной близости от резервуаров с различными горюче-смазочными жидкостями, строительной техники и транспортных средств, работающих на жидком топливе. При этом в ходе ряда технологических операций, характерных для ремонтных работ (сварка и резка металлов), образуются разогретые до высоких температур частицы металлов. Процессы взаимодействия таких частиц как потенциальных источников зажигания с типичными горючими жидкостями рассмотрены в работе [3]. Однако не менее значимую проблему с точки зрения пожарной безопасности представляют процессы взаимодействия разогретых металлических частиц с тканями, используемыми для очистки ремонтиру-

емых металлических конструкций и двигателей строительной техники. Эти ткани (частично или полностью пропитанные горюче-смазочными жидкостями) являются гетерогенными пожароопасными структурами.

В специальной технической и нормативной литературе отсутствует информация о возможности воспламенения паров горючих жидкостей, поступающих в воздух с поверхности ткани, содержащей фиксированную долю жидкого вещества. Однако эти пожароопасные процессы довольно часто наблюдаются на практике.

Целью данной работы являются оценка пожарной опасности процессов взаимодействия тканей, пропитанных типичными жидкими горючими веществами, с разогретой до высоких температур металлической частицей и анализ факторов, влияющих на интенсивность этих процессов.

Постановка задачи

Рассматривается следующая схема исследуемого процесса. В начальный момент времени в ткани содержится жидкое горючее вещество, объемная доля которого известна (рис. 1, а). При попадании на поверхность ткани частицы, нагретой до высоких температур, компоненты горючей жидкости начинают испаряться. Частица представляет собой расплав металла, покрытый оболочкой закристаллизовавшегося вещества. Образующиеся пары горючего перемешиваются с воздухом и нагреваются

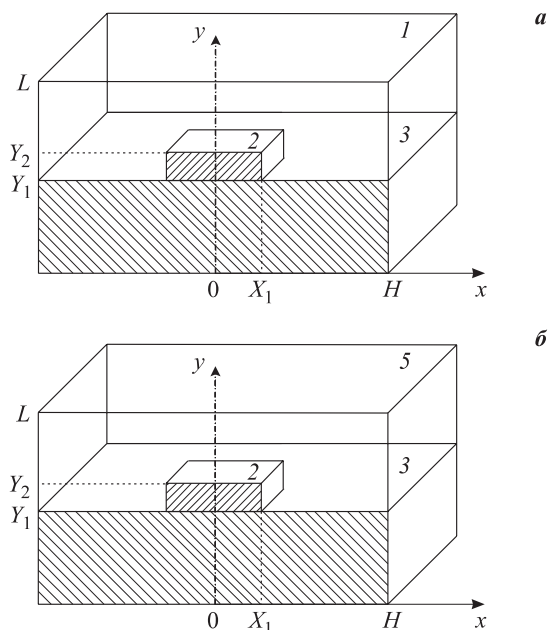


Рис. 1. Схема области решения задачи в начальный момент времени $t = 0$ (а) и при $0 < t < t_3$ (б): 1 — воздух; 2 — частица; 3 — ткань, пропитанная жидким горючим веществом; 5 — парогазовая смесь

за счет энергии разогретой частицы. При достижении критических температур парогазовой смеси и концентрации в ней горючего происходит воспламенение (рис. 1, б).

Широкое распространение на практике получили шерстяные, льняные и шелковые ткани. В связи с этим при исследовании процесса зажигания реализация условий воспламенения в рассматриваемой системе (см. рис. 1) представляет наибольший интерес для этих тканей и типичных пожароопасных жидкостей (бензин, керосин, дизельное топливо). Из-за достаточно больших трудностей точного описания реальных форм частиц, образующихся при резке и сварке металлов, в качестве источника нагрева выбрана стальная частица в форме параллелепипеда малых размеров $H_{ч}$ и $L_{ч}$, при этом характерные размеры области решения задачи зажигания H и L принимались значительно больше указанных $H_{ч}$ и $L_{ч}$.

Исследования процесса зажигания в рассматриваемой системе (см. рис. 1) выполнены при следующих допущениях:

1) в результате испарения компонентов горючей жидкости образуется одно вещество с известными характеристиками;

2) теплофизические характеристики материала частицы, ткани, жидкости и воздуха не зависят от температуры;

3) не учитывается возможная неидеальность теплового контакта на границе “частица – ткань”

(деформация соприкасающихся поверхностей ткани и частицы).

В качестве условий воспламенения приняты [6]:

1) тепло, выделяемое в результате химической реакции паров горючего с окислителем, больше тепла, передаваемого от частицы системе “жидкость – ткань” и в воздух;

2) температура парогазовой смеси превышает начальную температуру частицы.

Математическая постановка

При численном исследовании процесса зажигания в рассматриваемой системе (см. рис. 1) математическая модель включает уравнения движения, неразрывности, диффузии, энергии, теплопроводности в твердой фазе с учетом выделения тепла в результате кристаллизации частицы, теплопроводности для ткани, пропитанной жидким горючим веществом ($0 < t < t_3$) [3]:

- $Y_1 < y < Y_2, X_1 < x < H; Y_2 < y < L, 0 < x < H$

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + u \frac{\partial \omega}{\partial x} + v \frac{\partial \omega}{\partial y} = v_5 \left(\frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} \right) + \beta g_y \frac{\partial T_5}{\partial x}; \quad (1)$$

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = \omega; \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \rho_5 \left(\frac{\partial C_z}{\partial t} + u \frac{\partial C_z}{\partial x} + v \frac{\partial C_z}{\partial y} \right) = \\ = \rho_5 D_5 \left(\frac{\partial^2 C_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C_z}{\partial y^2} \right) - W_o; \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \rho_5 C_5 \left(\frac{\partial T_5}{\partial t} + u \frac{\partial T_5}{\partial x} + v \frac{\partial T_5}{\partial y} \right) = \\ = \lambda_5 \left(\frac{\partial^2 T_5}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_5}{\partial y^2} \right) + Q_o W_o; \end{aligned} \quad (4)$$

- $Y_1 < y < Y_2, 0 < x < X_1$

$$C_2 \rho_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} = \lambda_2 \left(\frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_2}{\partial y^2} \right) + \frac{W_k Q_k}{L_{ч}}; \quad (5)$$

- $0 < y < Y_1, 0 < x < H$

$$C_3 \rho_3 \frac{\partial T_3}{\partial t} = \lambda_3 \left(\frac{\partial^2 T_3}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_3}{\partial y^2} \right). \quad (6)$$

Начальные условия (см. рис. 1, а) ($t = 0$): $T_3 = T_0$ при $0 < y < Y_1, 0 < x < H$; $T_2 = T_ч$ при $Y_1 < y < Y_2, 0 < x < X_1$; $T_1 = T_0, C_z = 0, \psi = 0, \omega = 0$ при $Y_1 < y < Y_2, X_1 < x < H; Y_2 < y < L, 0 < x < H$.

Граничные условия (см. рис. 1, б) ($0 < t < t_3$): на границе “частица – парогазовая смесь” ($y = Y_2, 0 < x < X_1; x = X_1, Y_1 < y < Y_2$) устанавливались граничные условия IV рода для уравнений энергии и теплопроводности, условие равенства нулю гради-

ентов соответствующих функций для уравнений диффузии, движения, неразрывности; на границе “парогазовая смесь – ткань” ($y = Y_1, X_2 < x < H$) для уравнения энергии задавались граничные условия IV рода с учетом испарения компонентов жидкости с поверхности ткани, для уравнений диффузии, движения, неразрывности — граничные условия II рода; на границе “частица – ткань” ($y = Y_1, 0 < x < X_1$) для уравнений теплопроводности устанавливались граничные условия IV рода, на оси симметрии и границах ($y = 0, y = L, 0 < x < H; x = H, 0 < y < L$) для всех уравнений задавалось условие равенства нулю градиентов соответствующих функций.

В приведенных выше формулах использованы следующие обозначения: C — удельная теплоемкость, Дж/(кг·К); C_2 — массовая концентрация паров жидкого горючего вещества ($0 < C_2 < 1$); C_o — массовая концентрация окислителя; D — коэффициент диффузии, m^2/c ; g_y — ускорение свободного падения в проекции на ось y , m/c^2 ; Q_k — тепловой эффект кристаллизации частицы, кДж/кг; Q_o — тепловой эффект реакции окисления паров горючего в воздухе, МДж/кг; T — температура, К; T_0 — начальная температура воздуха и жидкости, К; T_c — начальная температура частицы, К; t — время, с; t_s — время задержки воспламенения, с; u, v — составляющие скорости конвекции смеси паров горючего и окислителя в проекции на ось x и y соответственно, м/с; W_k — массовая скорость кристаллизации частицы, кг/($m^2 \cdot c$); W_o — массовая скорость окисления паров горючего в воздухе, кг/($m^3 \cdot c$); x, y — координаты декартовой системы координат; β — коэффициент термического расширения, K^{-1} ; λ — коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); ν — кинематическая вязкость, m^2/c ; ρ — плотность, кг/ m^3 ; ψ — функция тока, m^2/c ; ω — вектор вихря скорости, c^{-1} ; индексы “1”, “2”, “3”, “4”, “5” соответствуют воздуху, частице, системе “жидкость – ткань”, парам горючего, парогазовой смеси соответственно.

Теплофизические характеристики пропитанной жидкостью ткани как гетерогенной системы определялись по формулам:

$$\lambda_3 = \lambda_{31}(1 - \varphi_{32}) + \lambda_{32}\varphi_{32};$$

$$C_3 = C_{31}(1 - \varphi_{32}) + C_{32}\varphi_{32};$$

$$\rho_3 = \rho_{31}(1 - \varphi_{32}) + \rho_{32}\varphi_{32},$$

где φ_{32} — объемная доля жидкости в ткани; индексы “31”, “32” соответствуют материалу ткани и жидкости.

Объемные доли компонентов парогазовой смеси вычислялись из их массовых концентраций по выражениям:

$$\varphi_4 = \frac{C_2/\rho_4}{C_2/\rho_4 + (1 - C_2)/\rho_1};$$

$$\varphi_4 + \varphi_1 = 1.$$

Теплофизические характеристики смеси паров горючего с окислителем в воздухе рассчитывались из соотношений:

$$\lambda_5 = \lambda_1\varphi_1 + \lambda_4\varphi_4;$$

$$C_5 = C_1\varphi_1 + C_4\varphi_4;$$

$$\rho_5 = \rho_1\varphi_1 + \rho_4\varphi_4.$$

Для вычисления массовой скорости окисления паров горючей жидкости в воздухе использовалось выражение [7]:

$$W_o = k_0(1 - C_2)^{m_1} C_2^{m_2} \rho_5 \exp\left[-\frac{E}{RT_5}\right],$$

где k_0 — предэкспоненциальный множитель, c^{-1} ; E — энергия активации, кДж/моль; R — универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К); m_1 и m_2 — постоянные.

Массовая скорость кристаллизации частицы рассчитывалась по формуле:

$$W_k = V_k \rho_2,$$

где V_k — линейная скорость кристаллизации частицы, м/с.

Линейная скорость кристаллизации частицы определялась на каждом шаге по времени из соотношения:

$$V_k = \frac{\delta(x, y, t + \Delta t) - \delta(x, y, t)}{\Delta t},$$

где $\delta(x, y, t + \Delta t)$, $\delta(x, y, t)$ — расстояние от нижней грани частицы до фронта кристаллизации на $(t + \Delta t)$ -м и t -м шагах по времени, м; Δt — шаг по времени, с.

Кинематическая вязкость смеси паров горючего с воздухом определялась по интерполяционной формуле [8]:

$$\nu_5 = \frac{r + wT_5}{\rho_5} \cdot 10^7,$$

где r, w — постоянные (для бензина $r = 171, w = 0,35$; для керосина $r = 35, w = 0,4$; для дизельного топлива $r = 190, w = 0,45$).

Коэффициент диффузии паров горючего в воздухе вычислялся по формуле [8]:

$$D_5 = s \cdot 10^{-6} \left(\frac{T_5}{273}\right)^k,$$

где s, k — постоянные (для бензина $s = 7,83, k = 1,89$; для керосина $s = 4,9, k = 1,6$; для дизельного топлива $s = 2,87, k = 1,96$).

Метод решения

Система дифференциальных уравнений, описывающих процессы тепло- и массопереноса в рассматриваемой системе (см. рис. 1), с соответствующими начальными и граничными условиями решалась методом конечных разностей [9]. Для решения разностных аналогов дифференциальных уравнений (1)–(6) использовался локально-одномерный метод [9]. Система одномерных разностных уравнений решалась методами итераций [10] и прогонки при использовании неявной четырехточечной разностной схемы [9]. В связи с существенной нелинейностью и нестационарностью исследуемого процесса устанавливались неравномерный шаг по времени и нерегулярная координатная сетка.

Результаты и обсуждение

Теоретические исследования выполнены при следующих значениях теплофизических и термодинамических характеристик взаимодействующих веществ [8, 11, 12]:

- воздух:
 $C_1 = 1190$ Дж/(кг·К), $\rho_1 = 1,161$ кг/м³,
 $\lambda_1 = 0,026$ Вт/(м·К);
- сталь:
 $C_2 = 470$ Дж/(кг·К), $\rho_2 = 7831$ кг/м³,
 $\lambda_2 = 49$ Вт/(м·К), $Q_k = 205$ кДж/кг;
- бензин:
 $C_{32} = 2060$ Дж/(кг·К), $\rho_{32} = 751$ кг/м³,
 $\lambda_{32} = 0,116$ Вт/(м·К), $C_4 = 2280$ Дж/(кг·К),
 $\rho_4 = 2,5$ кг/м³, $\lambda_4 = 0,027$ Вт/(м·К),
 $Q_o = 45$ МДж/кг, $E = 130$ кДж/моль,
 $k_0 = 7 \cdot 10^6$ с⁻¹;
- керосин:
 $C_{32} = 2190$ Дж/(кг·К), $\rho_{32} = 885$ кг/м³,
 $\lambda_{32} = 0,117$ Вт/(м·К), $C_4 = 2370$ Дж/(кг·К),
 $\rho_4 = 2,8$ кг/м³, $\lambda_4 = 0,028$ Вт/(м·К),
 $Q_o = 43,8$ МДж/кг, $E = 190$ кДж/моль,
 $k_0 = 7 \cdot 10^7$ с⁻¹;
- дизельное топливо:
 $C_{32} = 2980$ Дж/(кг·К), $\rho_{32} = 887,7$ кг/м³,
 $\lambda_{32} = 0,1169$ Вт/(м·К), $C_4 = 3230$ Дж/(кг·К),
 $\rho_4 = 3,1$ кг/м³, $\lambda_4 = 0,029$ Вт/(м·К),
 $Q_o = 42$ МДж/кг, $E = 250$ кДж/моль,
 $k_0 = 9 \cdot 10^8$ с⁻¹;
- шелк:
 $C_{31} = 1386$ Дж/(кг·К), $\rho_{31} = 1560$ кг/м³,
 $\lambda_{31} = 0,060$ Вт/(м·К);

- шерсть:
 $C_{31} = 1721$ Дж/(кг·К), $\rho_{31} = 1320$ кг/м³,
 $\lambda_{31} = 0,052$ Вт/(м·К);
- лен:
 $C_{31} = 1580$ Дж/(кг·К), $\rho_{31} = 1500$ кг/м³,
 $\lambda_{31} = 0,088$ Вт/(м·К);
- размеры области решения:
 $L = 20 \cdot 10^{-3}$ м, $H = 10 \cdot 10^{-3}$ м;
- размеры частицы:
 $L_q = 1 \cdot 10^{-3}$ м, $H_q = 4 \cdot 10^{-3}$ м.

Задачи численных исследований процесса зажигания в рамках представленной математической модели состояли в определении возможности воспламенения парогазовой смеси, образующейся в результате испарения компонентов жидкого топлива с поверхности пропитанной им ткани (см. рис. 1), и установлении зависимостей времени задержки воспламенения t_3 от величины объемной доли жидкости в материале ткани φ_{32} , начальной температуры частицы T_q , вида топлива и материала ткани.

В табл. 1 представлена зависимость времени задержки воспламенения смеси паров типичного жидкого топлива (бензина) с воздухом от начальной температуры стальной частицы T_q при фиксированной объемной доле бензина в пропитанной им шерстяной ткани $\varphi_{32} = 0,15$. Анализируя полученную зависимость t_3 от T_q , можно сделать вывод о том, что при $T_q = 2000$ К значение t_3 практически в два раза меньше аналогичного показателя для случая $T_q = 1000$ К. Полученный результат подчеркивает резкое увеличение скорости протекания исследуемого процесса при температурах источника нагрева выше 1500 К. Это можно объяснить дополнительным поступлением теплоты в жидкость и газовую область вокруг частицы за счет кристаллизации последней.

Из табл. 1 видно, что в случае $\varphi_{32} \leq 0,15$ условия воспламенения не реализуются при достаточно высокой начальной температуре частицы $T_q = 950$ К. Результаты работы [3] показывают, что для случая взаимодействия жидкого бензина со стальной частицей при $T_q = 950$ К и остальных адекватных параметрах исследуемого процесса воспламенение происходит. Отсутствие воспламенения в рассматриваемой системе (см. рис. 1) при $T_q = 950$ К обусловлено недостаточным содержанием паров горючего в газовой области над частицей. Это, в свою очередь, вызвано относительно небольшим значением φ_{32} .

Таблица 1. Время задержки воспламенения в системе “стальная частица – шерстяная ткань – бензин – воздух” в зависимости от величины T_q при $\varphi_{32} = 0,15$

T_q , К	2000	1800	1600	1500	1400	1200	1000	950
t_3 , с	1,716	1,847	2,268	2,521	2,764	3,323	3,934	Нет воспламенения

Таблица 2. Время задержки воспламенения в системе “стальная частица – шерстяная ткань – керосин – воздух” в зависимости от величины φ_{32} при $T_q = 1500$ К

φ_{32}	0,20	0,18	0,16	0,15	0,14	0,12	0,10	0,08
t_3, c	1,890	2,114	2,417	2,687	2,796	3,091	3,632	Нет воспламенения

В табл. 2 приведена зависимость времени задержки воспламенения смеси воздуха с парами широко распространенного топлива (керосина), поступающими с поверхности пропитанной им шерстяной ткани, от объемной доли компонентов горючей жидкости в ткани. Табл. 2 демонстрирует существенное влияние φ_{32} на характеристики зажигания в рассматриваемой системе (см. рис. 1). Полученная зависимость t_3 от φ_{32} объясняется тем, что при незначительных концентрациях компонентов горючих жидкостей в ткани менее интенсивно происходит испарение жидкости, меньше паров горючего диффундирует в воздух, снижается концентрация горючего в газовой области над частицей. Это приводит к увеличению времени задержки воспламенения t_3 , а при $\varphi_{32} = 0,08$ вообще не реализуются условия воспламенения.

Для оценки пожарной опасности и инерционности исследуемого процесса в системе “стальная частица – шерстяная ткань, пропитанная бензином, – воздух” на рис. 2 приведена зависимость t_3 от T_q и φ_{32} . Видно резкое увеличение t_3 при уменьшении T_q и φ_{32} . В этом случае частица, остывая, отдает тепло гетерогенной системе “жидкость – ткань”, которая содержит недостаточную для воспламенения φ_{32} . При таких условиях высока вероятность отсутствия возгорания в рассматриваемой системе (см. рис. 1). Однако при увеличении T_q и φ_{32} риск воспламенения возрастает. Следует отметить, что представленная на рис. 2 поверхность является границей, разделяющей области реализации воспламенения (под поверхностью) и его отсутствия (над поверхностью).

На базе представленной газофазной модели воспламенения выполнены исследования для нескольких видов топлив и материалов тканей (табл. 3). Анализ численных значений t_3 , представленных в табл. 3, показывает, что условия воспламенения реализуются для различных комбинаций типичных горючих жидкостей и материалов тканей при $T_q = 1500$ К и $\varphi_{32} \geq 0,15$.

В качестве иллюстрации результатов теоретических исследований на рис. 3 и 4 приведены положение характерных изотерм и поле концентраций горючего в момент воспламенения.

Анализируя рис. 3, можно сделать вывод, что размеры зоны прогрева ткани существенно больше аналогичных параметров для случая взаимодействия жидкости с горячей частицей [3]. При этом тем-

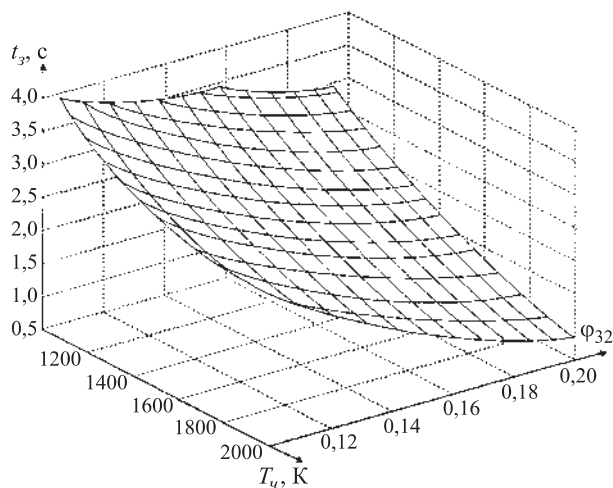


Рис. 2. Зависимость времени задержки воспламенения от T_q и φ_{32} в системе “стальная частица – шерстяная ткань, пропитанная бензином, – воздух”

Таблица 3. Время задержки воспламенения в системе “стальная частица – ткань – жидкое топливо – воздух” в зависимости от материала ткани и вида топлива при $T_q = 1500$ К, $\varphi_{32} = 0,15$

Вид топлива	Материал ткани		
	лен	шелк	шерсть
	t_3, c		
Бензин	2,204	2,343	2,521
Керосин	2,338	2,481	2,687
Дизельное топливо	2,525	2,615	2,904

пература ткани как гетерогенной системы вблизи нижней поверхности частицы достигает значительно больших температур по сравнению с аналогичными показателями при зажигании жидкостей [3].

В зависимости от материала ткани, ее пористости и относительного содержания в ней компонентов жидкости размеры зоны прогрева могут существенно меняться. В частности, при заполнении пор твердой конденсированной фазы (ткани) компонентами жидкого топлива высока вероятность их интенсивного испарения вблизи границы “частица – пористая ткань”. Это в определенных условиях (при высоких T_q , φ_{32}) может приводить к воспламенению смеси паров горючего с воздухом в порах ткани или на ее поверхности. Следует отметить, что процессы зажигания тканей в порах представляют самостоя-

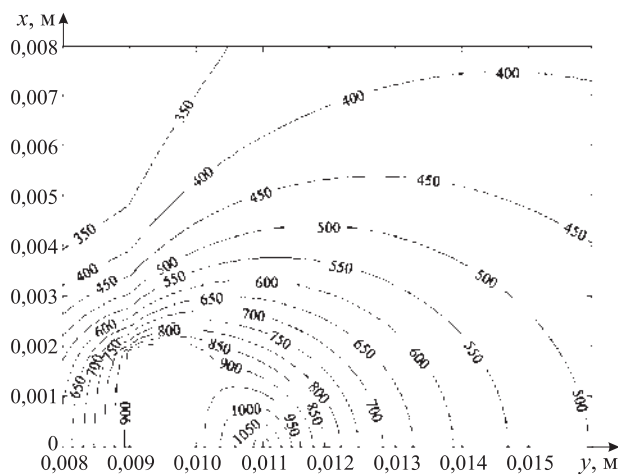


Рис. 3. Изотермы системы “стальная частица – шерстяная ткань, пропитанная бензином, – воздух” в момент воспламенения ($t_3 = 3,934$ с) при $T_4 = 1000$ К, $\varphi_{32} = 0,15$

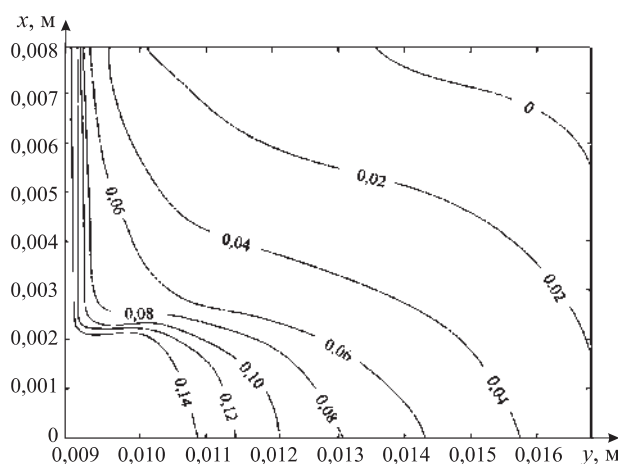


Рис. 4. Поле концентраций горючего в системе “стальная частица – шерстяная ткань, пропитанная бензином, – воздух” в момент воспламенения ($t_3 = 3,934$ с) при $T_4 = 1000$ К, $\varphi_{32} = 0,15$

тельную научную проблему и требуют отдельного исследования.

Анализ поля концентраций (см. рис. 4) показывает, что максимум C_2 наблюдается вблизи границы

испарения компонентов жидкости. При этом снижение концентрации горючего по мере удаления от поверхности ткани происходит неравномерно. Полученный результат объясняется тем, что большая часть паров горючего поступает в воздух с поверхности ткани вблизи высокотемпературной частицы вследствие интенсивного испарения компонентов жидкости в этой области. Поднимающиеся пары горючего вдоль боковых граней частицы дополнительно нагреваются за счет тепла источника зажигания. При достижении верхней границы частицы потоки паров горючего соединяются. Это приводит к увеличению концентрации горючего (см. рис. 4) и температуры парогазовой смеси вблизи верхней грани частицы (см. рис. 3).

Численный анализ рис. 3 и 4 показывает, что воспламенение парогазовой смеси происходит в непосредственной близости от верхней грани частицы при относительно небольшом содержании паров горючего в воздухе. Учитывая высокую скорость распространения пламени по поверхности пропитанной горючей жидкостью ткани и полученные численные значения t_3 , можно сделать вывод, что вероятность возгорания и последующего пожара достаточно велика даже в случае частично пропитанных тканей.

Заключение

Полученные численные результаты теоретических исследований позволяют объяснить механизм и причины широко распространенных возгораний при проведении ремонтных и других работ на площадках, содержащих ткани, частично или полностью пропитанные жидкими горючими веществами. На основе созданной модели воспламенения можно оценить инерционность процессов зажигания тканей из различных материалов в условиях их взаимодействия с высокотемпературными источниками нагрева малых размеров.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (код проекта 06-08-00366-а).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Блинов, В. И.** Диффузионное горение жидкостей / В. И. Блинов, Г. Н. Худяков. — М.: Изд-во АН ССР, 1961. — 201 с.
2. **Варшавский, Г. А.** Горение капли жидкого топлива / Г. А. Варшавский // Теория горения порохов и взрывчатых веществ. — М.: Наука, 1982. — С. 87–107.
3. **Кузнецов, Г. В.** Зажигание накаливаемой одиночной частицей жидких углеводородных топлив / Г. В. Кузнецов, П. А. Стрижак // Известия Томского политехнического университета. — 2008. — № 4. — С. 5–9.
4. **Горшков, В. И.** Тушение пламени горючих жидкостей / В. И. Горшков. — М.: Пожнаука, 2007. — 268 с.

5. **Собурь, С. В.** Пожарная безопасность нефтегазохимических предприятий: справочник / С. В. Собурь. — М.: ПожКнига, 2004. — 431 с.
6. **Виллюнов, В. Н.** Теория зажигания конденсированных веществ / В. Н. Виллюнов. — Новосибирск: Наука, 1984. — 190 с.
7. **Франк-Каменецкий, Д. А.** Диффузия и теплопередача в химической кинетике / Д. А. Франк-Каменецкий. — М.: Наука, 1987. — 502 с.
8. **Варгафтик, Н. Б.** Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей / Н. Б. Варгафтик. — М.: ООО "Старс", 2006. — 720 с.
9. **Самарский, А. А.** Теория разностных схем / А. А. Самарский. — М.: Наука, 1983. — 616 с.
10. **Коздоба, Л. А.** Методы решения нелинейных задач теплопроводности / Л. А. Коздоба. — М.: Наука, 1975. — 227 с.
11. **Щетинков, Е. С.** Физика горения газов / Е. С. Щетинков. — М.: Наука, 1965. — 739 с.
12. Теплотехнический справочник / Под ред. В. Н. Юренева, П. Д. Лебедева. — М.: Энергия, 1975. — Т. 1. — 743 с.

Поступила в редакцию 26.06.08.

FIREPRESS@GMAIL.COM 107023, Москва,
пл. Журавлева, д. 2, стр. 2
т./ф.: (495) 228-09-03

Издательство


«ПОЖНАУКА»

ПРЕДСТАВЛЯЕТ:

А.Я. Корольченко, Д.А. Корольченко

**Пожаровзрывоопасность веществ и материалов
и средства их тушения**

Справочник. В 2-х ч. Ч.1 – 713 с. Ч.2 – 774 с.



В справочнике описана современная система оценки пожаровзрывоопасности веществ и материалов, включающая экспериментальные расчетные методы. Приведены общие сведения о пожаротушении, свойствах средств тушения, а также рекомендации по средствам и способам тушения. Представлены данные о пожаровзрывоопасных свойствах более 6500 веществ и материалов, используемых в различных отраслях промышленности: химической, нефтехимической, газоперерабатывающей, медицинской, деревоперерабатывающей и др., а также в строительстве. Справочник предназначен для сотрудников проектных организаций, работников промышленных предприятий всех отраслей промышленности, работников пожарной охраны, преподавателей и студентов технических ВУЗов.



Канд. техн. наук, начальник сектора
ФГУП "Всероссийский научно-исследо-
вательский институт авиационных
материалов (ВИАМ)", ГНЦ РФ

С. А. Барботько

УДК 614.841.345:629.7.042.2

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИЗМЕНЕНИЯ КИНЕТИКИ ТЕПЛО ВЫДЕЛЕНИЯ ПРИ ГОРЕНИИ СТЕКЛОПЛАСТИКА

На основе математической модели прогрева – термодеструкции – горения слоистого тела выполнены расчеты и проведена оценка влияния изменения свойств полимерного композиционного материала на кинетику тепловыделения. По результатам сопоставления расчетных и экспериментальных данных сделан вывод о возможности прогнозирования тепловыделения при горении стеклопластиков с использованием математической модели.

Введение

В зависимости от области применения и функционального назначения элемента конструкции материалы, использованные при изготовлении изделий, должны оцениваться на пожарную безопасность в соответствии с нормативной документацией. Для элементов конструкций интерьера пассажирских салонов самолетов (панели стен, потолка, перегородок и т.п.) в соответствии с требованиями Авиационных правил [1, Приложение F, Части I, IV, V] применяются методы определения горючести, тепловыделения и дымообразования. Наиболее жесткими, с точки зрения сложности удовлетворения нормам, являются требования по ограничению тепловыделения (максимальной скорости выделения тепла и общего его количества, зафиксированного за первые две минуты испытания).

При разработке новых материалов и типовых элементов конструкций необходимо представлять, как изменение их свойств (толщины, процентного содержания связующего, теплофизических свойств полимера и т.п.) сказывается на их пожарной опасности, в частности на кинетике тепловыделения при горении.

В публикациях [2–4] было показано, что разработанная математическая модель прогрева и термодеструкции слоистого тела позволяет достаточно точно на основании имеющихся справочных данных (теплоемкость, теплопроводность, теплота термодеструкции, теплота сгорания, коксовое число и др.) описывать кинетику выделения тепла при горении модельных материалов. В работе [2] было показано влияние толщины стеклопластика, в

статье [3] проведена оценка влияния исходной теплоемкости и теплопроводности материала на ход кривой скорости тепловыделения.

В данной работе проводится расчетная оценка влияния других важных параметров стеклопластика на изменение кинетики выделения тепла при горении.

Эксперимент и расчеты

Оценка тепловыделения стеклопластика, как расчетная, так и экспериментальная, проводилась при величине падающего теплового потока на образец, равной 35 кВт/м^2 (требования по проведению испытаний на тепловыделение для авиационных материалов). В ходе работы рассчитаны скорости выделения тепла для исходного материала и материала с измененными свойствами. Выполненные расчеты сопоставлены с полученными экспериментальными данными.

Эксперименты проводились на установке по определению тепловыделения при горении марки HRR-3 производства "Atlas electric devices" (США). Подробное описание оборудования, условий и методики выполнения эксперимента приведены в Правилах [1, Приложение F, Часть IV].

Для выполнения расчетов по прогреву и термодеструкции материала необходимо знание ряда параметров: теплоемкости, теплопроводности, теплот сгорания и пиролиза (газификации), коксового числа, температуры начала термодеструкции и др.

Значения теплоемкости большинства органических полимеров изменяются в интервале $1,0\text{--}2,5 \text{ Дж/(г}\cdot\text{К)}$, теплопроводности — $0,08\text{--}0,45 \text{ Дж/(с}\cdot\text{м}\cdot\text{К)}$,

Термохимические свойства термостойких полимеров

Наименование полимера	Теплота сгорания, кДж/г	Коксовое число, %	Температура начала термодеструкции, °С		
			воздух* ¹	воздух* ²	аргон* ²
Полиэтилен	46,45* ³	0	320	—	—
Поликарбонат	29,66* ³	25	400	370	400
Полисульфон ПСН	30,29* ³	40* ⁴	450	430	500
Полисульфон Udel	30,78* ⁴	40* ⁴	420	—	—
Полиэфирсульфон	25,30* ⁴	48* ⁴	480	480	530
Полиарилсульфон ПСФФ-70 (порошок)	28,18* ⁴	46* ⁴	465	—	—
Полиарилсульфон Radel R-5000NT (пленка)	28,18* ⁴	49* ⁴	520	505	540
Полиэфирэфиркетон	28,38* ⁴	57* ⁴	550	—	—

Примечания: *¹ Получено на основании данных термогравиметрического анализа, среда — воздух, скорость нагрева — 10°С/мин.

*² Получено на основании данных дифференциального сканирующего калориметра, скорость нагрева — 3°С/мин; измерения выполнены Коротковым М.М. (ФГУП “ВИАМ”) на приборе DSC 204 F1 производства фирмы “Netzsch”.

*³ — Экспериментальные значения [5].

*⁴ — Расчетные значения.

теплоты газификации (пиролиза) — 1740–2470 Дж/г [5, с. 18]. Ввиду отсутствия надежных данных по изменению теплоемкости и теплопроводности стеклопластиков на основе термостойких полимеров в зависимости от температуры их значения при выполнении расчетов были приняты постоянными и равными 1,25 Дж/(г·К) и 0,2 Вт/(м·К) соответственно; теплота пиролиза принята равной 2400 Дж/г.

Теплота сгорания, в случае отсутствия экспериментальных данных, была рассчитана на основе структурных формул полимеров, приведенных в монографии [6], по уравнению Коновалова – Хандрика [7, с. 99]:

$$-\Delta H_{cz}^0 = \sum a + 2\beta \sum b,$$

где ΔH_{cz}^0 — высшая теплота сгорания, ккал/моль;
 β — коэффициент участия кислорода воздуха (необходимое количество молекул кислорода для сжигания 1 моля вещества);

a и b — коэффициенты, зависящие от фазового состояния, химического состава и строения вещества.

На основании расчетов низшая теплота сгорания полисульфона составила 30,78 кДж/г, экспериментально определенное ее значение равно 30,29 кДж/г [8, с. 77]. Таким образом, расчетное значение близко к экспериментально измеренному (расхождение менее 2%).

Значения коксовых чисел полимеров были рассчитаны по формуле [9, с. 125]:

$$КЧ = \frac{12 \cdot 100 \sum (СОК)_i}{M},$$

где $(СОК)_i$ — склонность структурной группы к образованию кокса в углеродных эквивалентах

на звено полимера; СОК сульфогруппы при расчетах принималась равной нулю;

M — молекулярная масса основного звена полимера.

Характеристики полимеров, использованные при выполнении расчетов, приведены в таблице. Первоначально температура начала термодеструкции определялась на основании данных термического анализа, полученных на дериватографе (скорость нагрева — 10°С/мин, среда — воздух).

При выполнении расчетов по прогреву материала принималось, что его удельная теплоемкость и теплопроводность остаются неизменными, хотя на самом деле происходит их изменение в зависимости от роста температуры, изменения структуры и состава материала. Оценка влияния образования пенококса на изменение кинетики прогрева и тепловыделения в данной работе не проводилась.

Из экспериментов известно, что для снижения скоростей тепловыделения при горении и изменения кинетики процесса высокоэффективно использование добавок, разлагающихся с существенным эндотермическим эффектом, например гидроокиси алюминия [10]. В данной статье влияние добавок такого типа на кинетику тепловыделения также не рассматривалось.

Влияние содержания связующего

Наиболее простым способом снижения тепловыделения стеклопластика является уменьшение содержания связующего. Реально содержание связующего в стеклопластике, как правило, может составлять от 20 до 50%.

На рис. 1 приведены расчетные графики изменения кинетики тепловыделения стеклопластика на термопластичном связующем (поликарбонат)

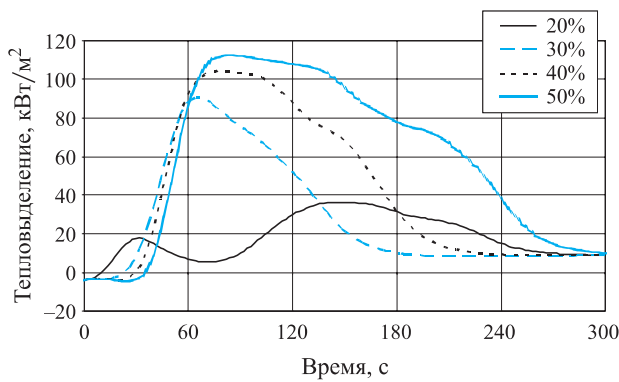


Рис. 1. Расчетное влияние содержания связующего в стеклопластике (толщина — 1 мм, температура начала термодеструкции — 400°C, коксовое число — 0,25) на кинетику тепловыделения при горении

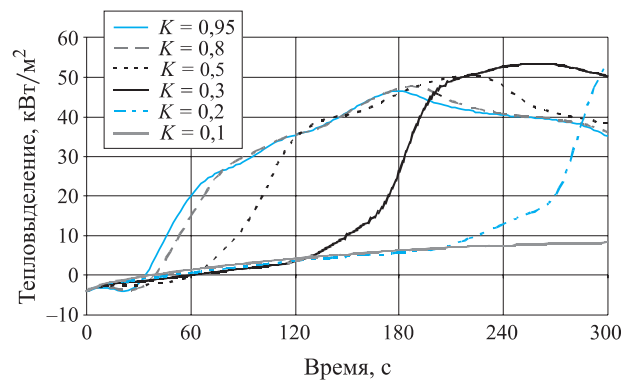


Рис. 3. Расчетное влияние коэффициента черноты K лицевой поверхности стеклопластика (толщина — 2 мм, температура начала термодеструкции — 450°C, коксовое число — 0,4) на кинетику тепловыделения

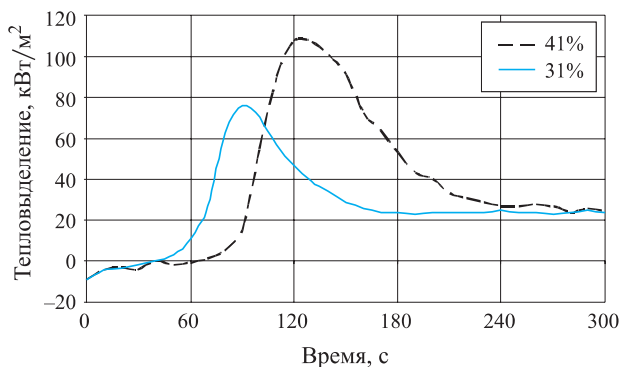


Рис. 2. Экспериментальные значения кинетики тепловыделения стеклопластика на фенольном связующем (толщина — 2 мм, температура начала термодеструкции — около 450 °C) в зависимости от содержания связующего

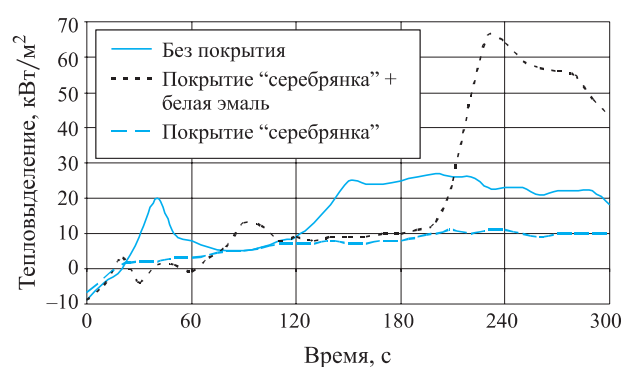


Рис. 4. Экспериментальные графики интенсивности тепловыделения при горении для трехслойных элементов конструкции с покрытиями, обеспечивающими различный коэффициент черноты поверхности

толщиной 2 мм. На рис. 2 представлены реальные графики тепловыделения стеклопластика на фенольном связующем толщиной 1,9–2,1 мм.

Так как при расчетах и в эксперименте использовали связующее разного типа и термостойкости, то вид и расположение кривых различаются. Но влияние содержания связующего на изменение кинетики, в том числе уменьшение времени индукции до начала воспламенения материала при уменьшении содержания связующего, подтверждено.

Влияние степени черноты поверхности

Снижение степени черноты поверхности уменьшает количество поступающего в материал тепла, в результате чего замедляются процессы прогрева и термодеструкции. Вследствие сказанного начало термодеструкции отодвигается на более позднее время, а интенсивность тепловыделения снижается. На рис. 3 приведены расчетные графики тепловыделения стеклопластика в зависимости от коэффициента черноты его поверхности. На рис. 4

представлены реальные графики тепловыделения трехслойного элемента конструкции, состоящего из двух обшивок (по 2 слоя стеклопластика на полисульфоне) и ребер жесткости между ними; толщина панели составляла 10 мм. Были испытаны образцы без дополнительного покрытия, с покрытием термостойкой теплоотражающей эмалью (типа “серебрянки”) и с покрытием поверх “серебрянки” теплоустойчивой белой эмалью.

Видно, что панель с покрытием теплоотражающей эмалью (наименьший коэффициент черноты) имеет кинетику тепловыделения, близкую к инертному недеформирующему негорючему материалу (ход кривой аналогичен расчетной кинетике тепловыделения с коэффициентом черноты не более 0,1).

Панель с двойным покрытием теплоотражающей и белой эмалью имеет более высокий коэффициент черноты. Кинетика тепловыделения этой панели аналогична расчетной с коэффициентом черноты около 0,25. При этом видно, что на позднем этапе прогрева максимальная скорость тепловыде-

ления превосходит максимум интенсивности тепловыделения панели без дополнительной защиты. Этот эффект может быть объяснен воздействием двух факторов. Во-первых, дополнительным вводом горючей составляющей от лакокрасочного покрытия. Во-вторых, как показывают расчеты, при снижении коэффициента черноты наблюдается более равномерный по толщине прогрев материала, вследствие чего термодеструкция происходит одновременно с большей толщины, что и может приводить к более высокой интенсивности образования горючих газообразных продуктов, а следовательно, и к большей интенсивности тепловыделения.

Влияние величины теплот сгорания и газификации

Расчеты показывают, что изменение теплоты сгорания должно примерно пропорционально изменять количество выделившегося при горении тепла (рис. 5).

Повышение теплоты пиролиза (газификации) в соответствии с расчетами приводит как к замедлению скорости прогрева нижележащих слоев материала, так и к снижению доли образующихся газо-

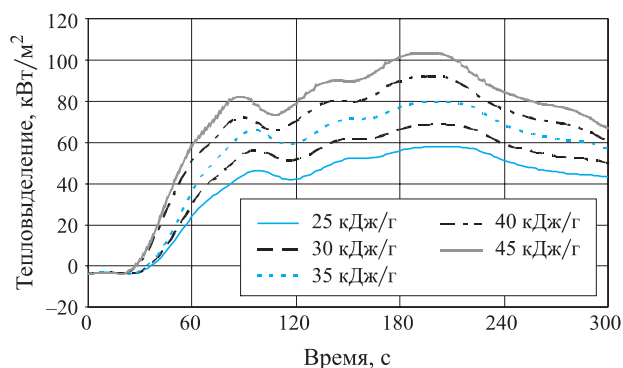


Рис. 5. Расчетное влияние теплоты сгорания полимера на кинетику тепловыделения при горении стеклопластика

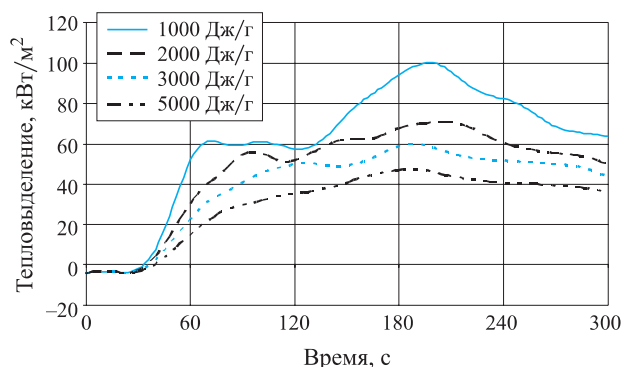


Рис. 6. Расчетное влияние теплоты газификации полимера на кинетику тепловыделения при горении стеклопластика

образных продуктов, что должно приводить к изменению кинетики тепловыделения, снижая ее (рис. 6).

Влияние термостойкости полимера и величины коксового числа

Так как при горении под воздействием внешнего теплового потока в условиях испытаний на тепловыделение осуществляется односторонний нагрев термически толстого образца, то имеется существенный перепад температур по толщине материала. Кроме того, процесс газификации полимера, в отличие от процесса кипения низкомолекулярных жидкостей, не протекает при какой-то одной фиксированной температуре. Поэтому процесс термодеструкции и выход газообразных горючих продуктов из образца на поверхность при горении материала существенно растянуты во времени.

Повышение температуры начала термодеструкции (термостойкости материала) должно обеспечивать увеличение времени до начала газификации материала, а увеличение коксового числа — уменьшение количества образующихся газообразных продуктов.

На рис. 7 и 8 приведены расчетные графики изменения кинетики тепловыделения в зависимости от температуры начала термодеструкции (газификации) и коксового числа полимера. На рис. 9 представлены реальные, экспериментально полученные графики тепловыделения стеклопластиков толщиной около 2 мм, изготовленных на основе термопластичных связующих и имеющих различные температуру начала термодеструкции, величину коксообразования и теплоту сгорания.

Так как у реальных композитов с изменением состава полимера одновременно изменяются теплоты сгорания и газификации, термостойкость и величина коксового числа, то экспериментально от-

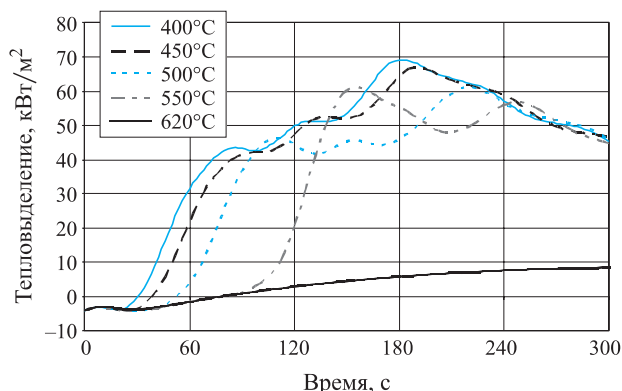


Рис. 7. Расчетные графики интенсивности тепловыделения при горении стеклопластиков, различающихся температурой начала термодеструкции (толщина — 2 мм, коксовое число — 0,4)

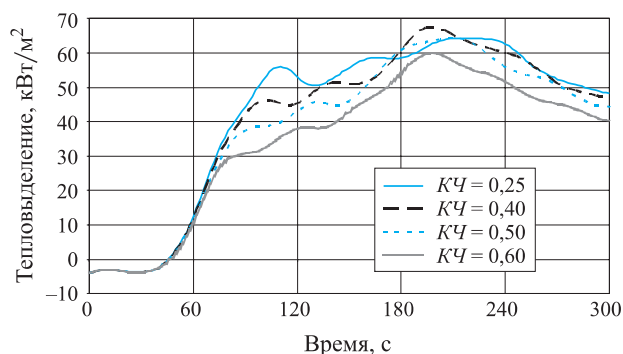


Рис. 8. Расчетные графики интенсивности тепловыделения при горении стеклопластиков, различающихся величиной кокосового числа (толщина — 2 мм, температура начала термодеструкции — 450°C)

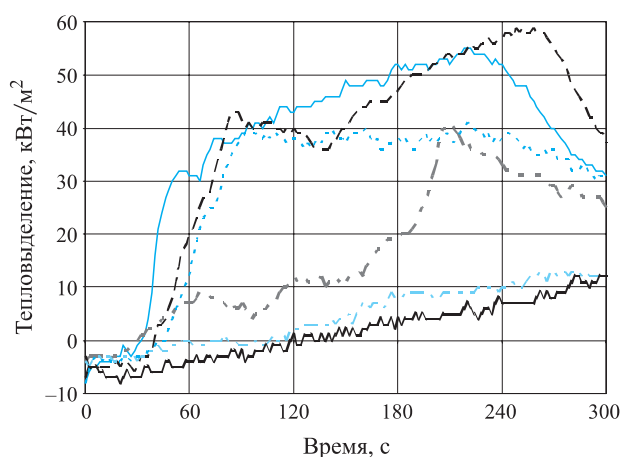


Рис. 9. Экспериментальные графики тепловыделения при горении стеклопластиков на различных термопластичных связующих (толщина — 2 мм, содержание связующего — 40%)

делить влияние каждого из факторов на кинетику тепловыделения не представляется возможным. Можно только, задавшись параметрами для каждого типа стеклопластика, оценить показатели кинетики тепловыделения и сопоставить их с полученными расчетными значениями.

Для стеклопластиков на поликарбонате и полисульфонах (ПСН и Udel) получено практически полное совпадение хода кривых кинетики тепловыделения.

Стеклопластик на основе полиэфирсульфона был отпрессован по двум разным режимам. При более мягком режиме прессования был получен материал с кинетикой тепловыделения, совпадающей с расчетной величиной. При более жестком режиме

(выше температура прессования и больше выдержка) был получен более плотный стеклопластик, его тепловыделение было существенно ниже, чем показывают расчеты на основе использованной математической модели. Аналогичное расхождение было получено и для стеклопластика на основе полиарилсульфона.

Было сделано предположение, что данное расхождение вызвано различием температур начала термодеструкции на воздухе и в инертной среде. При горении полимера окислительная среда имеется только на поверхности, поэтому при определении температуры термодеструкции необходимо использовать данные, полученные для инертной среды. Измерения, сделанные на дифференциальном сканирующем калориметре (см. таблицу), показали, что расхождение между температурами начала деструкции в среде воздуха и аргона для термостойких полимеров может достигать 70°C. Расчеты, проведенные с уточненными температурами начала термодеструкции, показали лучшую сходимость с экспериментом, однако все равно имеется существенное расхождение в расчетных величинах кинетики тепловыделения термостойких полимеров, имеющих температуру начала термодеструкции, близкую к максимально достигаемой на поверхности инертного образца при заданном внешнем тепловом потоке (при 35 кВт/м² — около 615 °С).

Таким образом, использованная математическая модель не очень точно учитывает кинетику прогрева и термодеструкции, что сказывается при расчетах материалов с высокой термостойкостью, поэтому в дальнейшем желательно уточнение данной математической модели.

Выводы

Использованная математическая модель позволяет в первом приближении прогнозировать кинетику тепловыделения плоских сплошных материалов (в том числе композиционных) в зависимости от исходных параметров.

На основе математической модели послойного прогрева – термодеструкции – горения композиционного материала показано преобладающее влияние содержания связующего, температуры начала термодеструкции полимера и коэффициента черноты поверхности на изменение кинетики тепловыделения при горении стеклопластиков.

Значительное влияние на кинетику тепловыделения оказывает и изменение теплот сгорания и газификации.

Для более точного описания процессов прогрева, термодеструкции и горения необходимо уточнение использованной математической модели.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Авиационные правила.** Глава 25. Нормы летной годности самолетов транспортной категории. — М.: Межгосударственный авиационный комитет, Изд-во ЛИИ им. М. М. Громова, 1994. — 322 с.
2. **Барботько, С. Л.** Математическое моделирование тепловыделения при горении полимерных композиционных материалов различной толщины / С. Л. Барботько, О. С. Вольный, Т. Ф. Изотова // Пожаровзрывобезопасность. — 2007. — Т. 16, № 4. — С. 16–20.
3. **Барботько, С. Л.** Моделирование процесса горения материалов при испытаниях по оценке тепловыделения / С. Л. Барботько // Пожаровзрывобезопасность. — 2007. — Т. 16, № 3. — С. 10–24.
4. **Барботько, С. Л.** Оценка погрешностей сделанных допущений в математической модели тепловыделения при горении полимерных материалов / С. Л. Барботько // Пожаровзрывобезопасность. — 2007. — Т. 16, № 5. — С. 19–22.
5. **Копылов, В. В.** Полимерные материалы с пониженной горючестью / В. В. Копылов, С. Н. Новиков, Л. А. Оксентьевич [и др.]; под ред. А. Н. Праведникова. — М.: Химия, 1986. — 224 с.
6. **Михайлин, Ю. А.** Термоустойчивые полимеры и полимерные материалы / Ю. А. Михайлин. — СПб.: Профессия, 2006. — 624 с.
7. **Корольченко, А. Я.** Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. Справочник в 2-х ч. 2-е изд. / А. Я. Корольченко, Д. А. Корольченко. — М.: Пожнаука, 2007. — Ч. 1. — С. 99.
8. Горючесть и дымообразующая способность полимерных материалов авиационного назначения: Справочно-методическое пособие. — М.: ВИАМ, 1986. — 104 с.
9. **Асеева, Р. М.** Горение полимерных материалов / Р. М. Асеева, Г. Е. Заиков. — М.: Наука, 1981. — 280 с.
10. **Патент № 2276638.** Композиционный материал и изделие, выполненное из него. Заяв. 2004136329/04, 14.12.2004. Оpubл. 20.05.2006. — Бюл. № 14, 2006.

Поступила в редакцию 11.09.08.



Канд. физ.-мат. наук, доцент,
доцент кафедры Томского
государственного университета (ТГУ)
А. Н. Субботин

УДК 636.46:662.612.16

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАЖИГАНИЯ КОНДЕНСИРОВАННЫХ ВЕЩЕСТВ ПРОВОЛОЧКОЙ, НАГРЕВАЕМОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

Рассмотрена математическая модель, описывающая процесс прогрева и зажигания твердого реагирующего вещества провололкой, нагреваемой разрядным током. Численные расчеты позволили уточнить полученную аналитическую формулу для критического напряжения, в которой учитывается влияние на процесс зажигания выгорания реагента, для протекающей на поверхности проволоочки реакции, зависимость теплопроводности реагента и сопротивления проволоочки от температуры. Получено согласование теоретических и экспериментальных данных в пределах погрешности формулы.

Физико-математическая постановка задачи

В работе [1], полагая постоянными тепловой поток от проволоочки и ее сопротивление, игнорируя выгорание реагента и гетерогенную реакцию на поверхности проволоочки, были получены приближенные аналитические формулы для времени прогрева, температуры зажигания, минимальной энергии зажигания и минимального напряжения конденсаторной батареи, по которым можно находить критические условия зажигания конденсированных реагирующих веществ.

Чтобы оценить погрешность полученных в публикации [1] зависимостей, решалась численно система уравнений [1]:

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = \frac{1}{\delta x} \frac{\partial}{\partial x} \left(x \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) + (1 - \eta)^v \exp \frac{\theta}{1 + \beta \theta}; \quad (1)$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial \tau} = \gamma (1 - \eta)^v \exp \frac{\theta}{1 + \beta \theta}; \quad (2)$$

$$\frac{du}{d\tau} = -gi;$$

$$\frac{di}{d\tau} = gu - gi S_n \{ R_k + R_n [1 + b(\theta_0 + \theta_n)] \} \quad (3)$$

с начальными и граничными условиями

$$\theta|_{\tau=0} = \theta_0|_{\tau=0} = -\theta_n, \quad \eta|_{\tau=0} = 0, \\ u|_{\tau=0} = 1, \quad i|_{\tau=0} = 0; \quad (4)$$

$$\frac{d\theta_0}{d\tau} = \frac{2\pi c_p}{\delta} \left\{ \frac{\partial \theta}{\partial x} \right|_{x=1} + \Delta i^2 R_n [1 + b(\theta_0 + \theta_n)] + \\ + \sqrt{\delta} B_2 (1 - \eta_0)^{v_1} \exp \frac{B_1 \theta_0}{1 + \beta \theta_0} \right\},$$

$$\theta|_{x=x_\infty} = -\theta_n, \quad (5)$$

где $\theta_0 = \theta|_{x=1}$, $\eta_0 = \eta|_{x=1}$.

Здесь отличие от постановки работы [1] заключается в том, что учитывается гетерогенная реакция на поверхности проволоочки — последнее слагаемое в первом граничном условии (5), которое представляет собой уравнение баланса энергии на границе раздела сред “проволочка – реагирующая среда”, записанное в безразмерном виде.

При записи краевой задачи (1)–(5) в безразмерных переменных были введены следующие обозначения: $\delta = x_0^2$; $x_0 = r_0/r_*$ — безразмерный радиус проволоочки; $r_* = \sqrt{\lambda RT_*^2 \exp(E/RT_*) / (qk_0 Ec_n^v)}$ — масштаб длины; r_0 — радиус проволоочки, м; $x = r/r_0$ — безразмерная пространственная координата; r — цилиндрическая координата, м; $\tau = t/t_*$ — безразмерное время; t — время, с; $t_* = crRT_*^2 \exp(E/RT_*) \times (qk_0 Ec_n^v)^{-1}$ — масштаб времени, с; $\pi_{cp} = \frac{c\rho}{c_0\rho_0}$ —

безразмерная объемная теплоемкость реагента; c , ρ , λ — теплоемкость, Дж/(кг·К), плотность, кг/м³, и теплопроводность, Вт/(м·К), реагента; c_0 , ρ_0 — теплоемкость, Дж/(кг·К), и плотность, кг/м³, проволоочки; $\gamma = crRT_*^2 / (qEc_n^v)$, $\beta = RT_*/E$ — безразмерные параметры; T_* — характерная температура, К; θ , θ_n — безразмерная текущая и начальная температура реагента, $\theta = (T - T_*)E / (RT_*^2)$, $\theta_n = (T_* - T_n)E / (RT_*^2)$; T_n — начальная температура реагента, К; $\eta = 1 - c/c_n$ — глубина превращения; c_n — начальная концентрация реагента; q — тепло-

вой эффект реакции, Дж/кг; k_0 — предэкспоненциальный множитель, $1/c$; ν , ν_1 — порядок гомогенной и гетерогенной реакции соответственно; R — универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К); E — энергия активации, Дж/моль; $\Delta = \bar{\Delta} V_n^2$, $\bar{\Delta} = C_n R_n E / (2\pi L_n \lambda RT_*^2 L)$, $b = ART_*^2 / E$ — безразмерные параметры; A — температурный коэффициент сопротивления проволоочки, $1/K$; $u = U/U_n$ — безразмерное напряжение; U_n — начальное напряжение на обкладках конденсатора, В; $L_n = L_{n,np} + L_{n,k}$; $L_{n,np}$, $L_{n,k}$ — начальная индуктивность проволоочки и индуктивность подводящих шин и контура, Гн; $L_{n,np} = \mu_0 L \ln(2L/r_0 - 0,75)/2\pi$; L — длина проволоочки, м; C_n — емкость конденсатора (конденсаторной батареи), Ф; $i = J/V_n (L_n/C_n)^{0,5}$ — безразмерный ток в контуре; μ_0 — магнитная проницаемость вакуума, Гн/м; $R_n = R_{n,np} + R_{n,k}$; $R_{n,np} = \bar{\rho}_0 L / (\pi r_0^2)$ — начальное сопротивление проволоочки; $R_{n,k}$ — сопротивление подводящих шин контура, Ом; $\bar{\rho}_0$ — удельное сопротивление проволоочки, Ом·м; $g = t_*/t_{эл}$, $b_1 = E_s/E$, $S_n = R_n (C_n/L_n)^{0,5}$, $B_2 = q_s k_{0s} c_n^{v_1 - v} \exp(-(E_s - E)/RT_*) / (qk_0)$ — безразмерные параметры; $t_{эл} = (L_n C_n)^{0,5}$ — характерное время разрядной цепи; c ; $R_{np} = R_{n,np} / R_n$, $R_k = R_{n,k} / R_n$ — безразмерные начальные сопротивления проволоочки и подводящих шин контура соответственно; E_s , q_s , k_{0s} — энергия активации, Дж/моль, тепловой эффект, Дж/кг, и предэкспонент гетерогенной реакции, протекающей на поверхности проволоочки, м/с.

Анализ численных расчетов

При решении краевой задачи (1)–(5), также как и в работе [2], использовался критерий зажигания:

$$\left. \frac{d\theta_0}{dt} \right|_{\tau=\tau_p} = 0, \quad (6)$$

где τ_p — безразмерное время прогрева.

Система обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ) (2) и (3) при численных расчетах решалась совместно с уравнением в частных производных (1), которое с помощью итерационно-интерполяционного метода (ИИМ) [3] было сведено к системе ОДУ. В качестве характерной температуры T_* бралась температура воспламенения, которая определялась из решения трансцендентного уравнения (19) работы [1]. Следует заметить, что при решении уравнения (19) итерации сходятся довольно быстро. Уже третья и четвертая итерации, как правило, различаются не более чем на один градус, даже если нулевое приближение отличалось от решения в три раза.

В результате решения данной задачи было установлено, что при зажигании реагента проволоочкой имеет место низкотемпературный (индукционный) режим зажигания, который в зависимости от параметра g будет одно- или двухстадийным. Одностадийный режим зажигания реализуется в том случае, когда $g \leq 1$, т.е. когда время воспламенения и время разрядки конденсатора одного порядка. Данный режим характеризуется монотонным изменением температуры проволоочки от ее начальной температуры до температуры горения.

На рис. 1 показаны временные зависимости температуры вольфрамовой проволоочки диаметром $0,05 \cdot 10^{-3}$ м при зажигании ею смеси перхлората аммония (NH_4ClO_2) и крахмала. Эти зависимости были получены при следующих значениях безразмерных параметров: $g = 0,57$; $\theta_n = 9,79$; $x_0 = 2,87$; $\gamma = 0,058$; $\beta = 0,066$; $R_k = 0,00013$; $R_{np} = 0,99987$; $\pi_{cp} = 0,7$; $S_n = 678,4$; $b = 0,301$. Емкость конденсатора и индуктивность контура во всех расчетах брались одни и те же и, согласно работы [4], задавались следующими: $C_n = 33 \cdot 10^{-6}$ Ф; $L_n = 3 \cdot 10^{-6}$ Гн. Теплофизические и кинетические постоянные смеси перхлората аммония и крахмала задавались согласно данным публикации [5]: $\lambda = 0,293$ Вт/(м·К); $c = 1257$ Дж/(кг·К); $\rho = 1866$ кг/м³; $E = 108,8$ кДж/моль; $qk_0 = 7,54 \cdot 10^{19}$ Вт/м³, остальные параметры составляли: $T_n = 300$ К; $c_n = 1$; $\nu = 1$. Кривая 1 получена при $\Delta = 1,82 \cdot 10^8$, кривая 2 — при $\Delta = 1,7 \cdot 10^8$.

Из рис. 1 следует, что температура проволоочки монотонно возрастает от начальной до температуры горения в случае зажигания реагента, а при невоспламенении, после разрядки контура, убывает до начальной. Следует заметить, что в данном случае, когда $g \leq 1$, при численном решении задачи применялось условие зажигания [6]:

$$\left. \frac{d^2\theta_w}{d\tau^2} \right|_{\tau=\tau_{*p}} = 0, \quad (7)$$

где τ_{*p} — время, соответствующее точке перегиба кривой $\theta_w(\tau)$, а невоспламенением считался тот

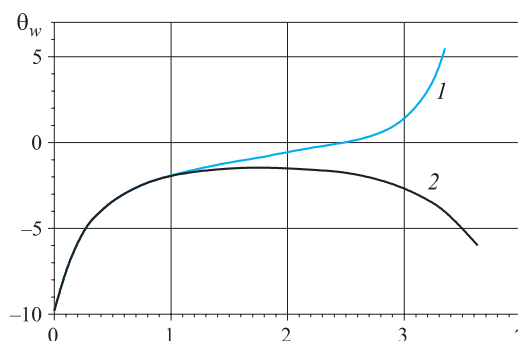


Рис. 1. Зависимость температуры проволоочки от времени при воспламенении (1) и невоспламенении (2)

случай, когда температура проволоочки после полной разрядки конденсатора уменьшалась, по крайней мере, до $-0,5\theta_n$. Аналогичное условие невоспламенения (потухания) использовалось во всех численных расчетах данной задачи.

На рис. 2, а, б представлены пространственные распределения температуры и глубины превращения в разные моменты времени, найденные при указанных выше параметрах.

Представленные на рис. 2 результаты были получены для следующих моментов времени: 1 — $\tau = 0,23$; 2 — $\tau = 1,47$; 3 — $\tau = 3,31$; 4 — $\tau = 3,52$ при $\Delta = 1,82 \cdot 10^8$. Кривая 1 на рис. 2, б отсутствует, так как для $\tau = 0,23$ выгорание равно нулю. Из анализа рис. 2 следует, что при одностадийном режиме выгорание реагента до момента зажигания незначительно (см. кривую 2 на рис. 2, б).

При $g \gg 1$, т.е. когда время разрядки конденсатора много меньше времени зажигания, реализуется двухстадийный низкотемпературный режим зажигания. Изменение температуры вольфрамовой проволоочки диаметром 10^{-3} м с течением времени для двухстадийного режима при зажигании перхлората аммония и крахмала показано на рис. 3. Здесь кривая 1 соответствует варианту воспламенения ($\Delta = 3,65 \cdot 10^5$), кривая 2 — варианту невоспламенения ($\Delta = 3,35 \cdot 10^5$). Представленные зависимости были получены при следующих значениях безразмерных параметров: $g = 22132$; $\theta_n = 10,28$; $x_0 = 2,94$; $\gamma = 0,018$; $\beta = 0,037$; $R_k = 0,842$; $R_{np} = 0,158$; $\pi_{cp} = 0,7$; $S_n = 0,109$; $b = 0,095$, остальные параметры электрической цепи и реагента совпадают с приведенными для рис. 1.

Анализируя рис. 3 можно сделать следующий вывод: при двухстадийном режиме зажигания вначале разряжается конденсатор и нагревает проволоочку (на рис. 3 температура проволоочки увеличивается в начальные моменты времени), затем “горячая” проволоочка прогревает реагент, а ее температура уменьшается. Если запаса тепла, которое выделилось в ней при разрядке конденсатора, достаточно для воспламенения реагирующего вещества, то происходит воспламенение (кривая 1 на рис. 3), в противном случае проволоочка остывает, а реагент не воспламеняется (кривая 2).

При исследовании двухстадийного режима зажигания использовалось условие (6). На рис. 4, а, б представлены пространственные распределения температуры и глубины превращения для двухстадийного режима зажигания.

Параметры, используемые при построении рис. 4, соответствуют параметрам кривой 1 на рис. 3. Как следует из анализа рис. 4, а, при двухстадийном режиме зажигания реагент воспламеняется не у поверхности, а на некотором расстоянии от нее (кри-

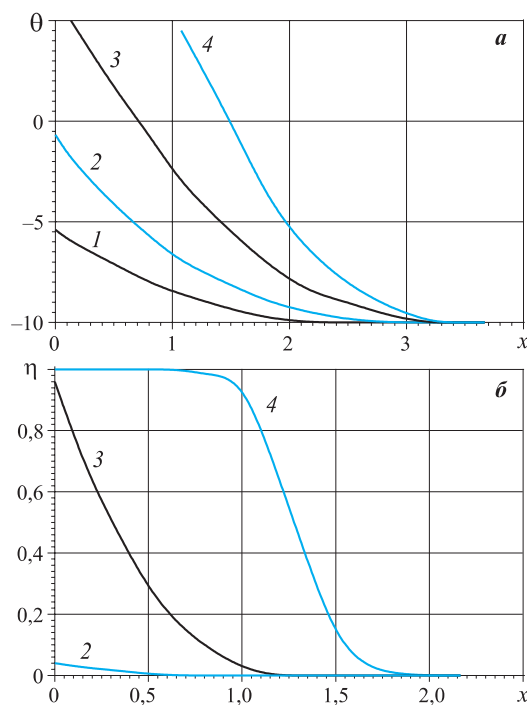


Рис. 2. Профили температуры (а) и выгорания (б) при зажигании реагента нагреваемой проволоочкой (обозначения кривых приведены в тексте)

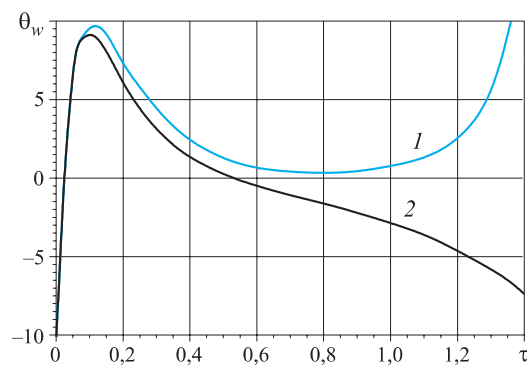


Рис. 3. Временная зависимость температуры проволоочки для двухстадийного режима зажигания (обозначения кривых приведены в тексте)

вая 3 на рис. 4, а), причем глубина превращения к моменту зажигания несколько выше, чем при одностадийном режиме.

Представляет интерес таблица характеристик воспламенения для смеси перхлората аммония и крахмала при различных диаметрах вольфрамовой проволоочки и значений критерия зажигания Δ , вычисленных по приближенной аналитической формуле и численно. Из таблицы видно, что безразмерный температурный напор θ_n и радиус проволоочки x_0 изменяются достаточно слабо, если T_* вычислять по формуле (19) работы [1], безразмерный же параметр g изменяется очень сильно. Анализируя при-

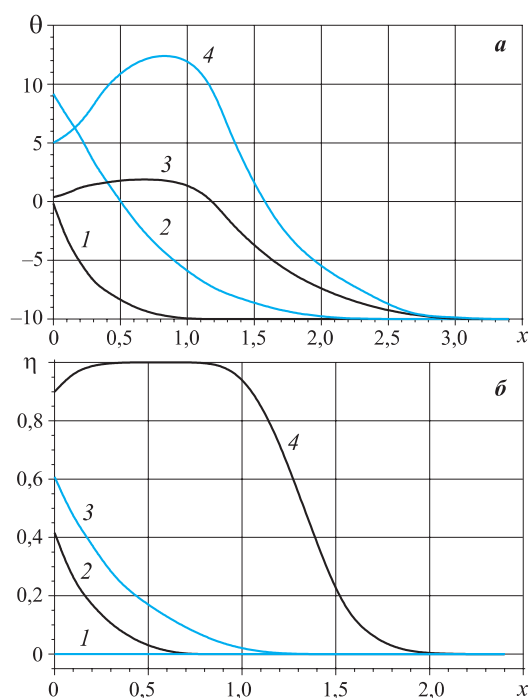


Рис. 4. Профили температуры (а) и глубины превращения (б) при двухстадийном режиме зажигания в разные моменты времени: 1 — $\tau = 0,03$; 2 — $\tau = 0,13$; 3 — $\tau = 0,78$; 4 — $\tau = 1,28$

веденные в таблице значения Δ , можно сделать вывод, что сделанные в работе [1] допущения справедливы для проволочек диаметром $d_0 > 0,2 \cdot 10^{-3}$ м.

Следует заметить, что время прогрева, вычисленное по приближенной формуле (22) работы [1] для вольфрамовой проволочки диаметром $d_0 = 0,2 \cdot 10^{-3}$ м значительно больше экспериментально найденного времени зажигания гексогена работы [7]. Такое различие во временах зажигания объясняется, по всей видимости, тем, что в работе [7] исследуется зажигание реагента при давлениях 1000–13000 кг/см², а не при нормальном атмосферном давлении.

По результатам численных расчетов удалось уточнить приближенную формулу (27) работы [1] для критического напряжения конденсатора:

$$V_{n \min} = \sqrt{\frac{(3\theta_n - 2x_0^2)(\pi_{cp} + 1)\theta_n^2}{4\pi_{cp}(\theta_n - 1)\bar{Q}_j\bar{\Delta}}} \left(1 - \frac{B_2^{0,25}}{6}\right) \times (0,65 + 2,6\gamma\theta_n)(0,5 + \beta\theta_n) \left(1 + \frac{bS_n}{\theta_n^2}\right), \quad (8)$$

где B_2 — параметр, учитывающий гетерогенную реакцию на поверхности проволочки.

Формула (8) справедлива для $0 \leq B_2 \leq 10$. Параметр B_1 не входит в данную формулу, так как его вклад меньше погрешности формулы (< 3%), сама же формула получена с погрешностью 10%.

В экспериментальной работе [8] проводилось сравнение картины нагрева реагента ниобиевой, а также медной незащищенной и с тонким стеклянным покрытием проволочками. Отмечается, что для медных незащищенных проволочек заметно проявляется гетерогенное взаимодействие (дополнительный нагрев) металла с продуктами разложения перхлората аммония (NH₄ClO₂).

Из формулы (8) тоже следует, что гетерогенная реакция понижает импульс зажигания (уменьшает более чем на 30% начальное напряжение конденсатора, если параметр $B_2 = 10$).

На рис. 5 приведена зависимость критического напряжения от диаметра проволочки, вычисленного по формуле (8). Здесь кривая 1 построена для вольфрамовой, кривая 2 — для нихромовой проволочек.

Из рис. 5 следует, что зависимость критического напряжения имеет минимум. При уменьшении диаметра проволочки минимальное напряжение, необходимое для воспламенения реагента, вначале понижается, а затем при малых значениях диаметра вновь начинает расти. Причем, как следует из рис. 5, точка минимума зависит от теплофизических свойств материала, из которого сделана проволочка.

Таким образом, для любого конденсированного реакционно-способного вещества существует предельное значение для напряжения конденсатора (минимальная энергия зажигания). Если напряжение будет ниже предельного, то система не воспламенится, какого бы диаметра проволочку мы не

Значения критериев зажигания и некоторых параметров для проволочек различного диаметра

$d_0, 10^3$ м	$t_p, 10^3$ с	$T^*,$ К	θ_n	x_0	g	$\Delta_{прибл}$	$\Delta_{числ}$
1,0	223,3	495	10,28	2,94	22 132	$2,88 \cdot 10^6$	$2,35 \cdot 10^6$
0,5	54,75	519	10,57	2,97	5 417	$4,04 \cdot 10^5$	$4,72 \cdot 10^5$
0,2	8,61	564	10,79	2,99	850,2	$1,12 \cdot 10^5$	$1,85 \cdot 10^5$
0,1	2,15	604	10,83	3,00	211,6	$3,77 \cdot 10^4$	$7,48 \cdot 10^4$
0,05	0,54	650	10,77	2,99	53,0	$7,75 \cdot 10^4$	$1,78 \cdot 10^5$
0,02	0,088	722	10,52	2,96	8,63	$1,28 \cdot 10^5$	$3,65 \cdot 10^5$
0,01	0,023	789	10,21	2,92	2,21	$7,05 \cdot 10^5$	$3,26 \cdot 10^6$
0,005	0,006	870	9,79	2,87	0,57	$2,86 \cdot 10^6$	$1,82 \cdot 10^7$

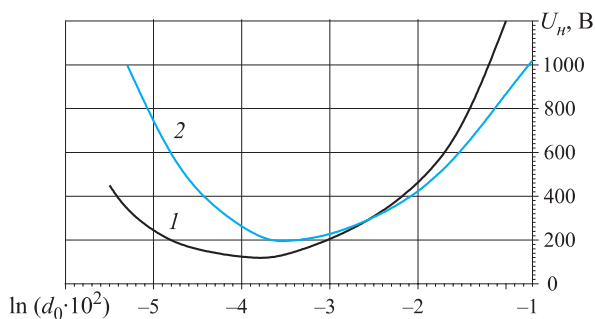


Рис. 5. Зависимость критического напряжения конденсатора от диаметра нагреваемой проволоочки (обозначения кривых приведены в тексте)

брали. Предельное напряжение зависит от кинетики реагента, параметров электрической цепи и свойств проволоочки.

Емкости конденсаторов и индуктивности электрических цепей, обычно применяемых на практике, таковы, что время разрядки конденсаторов составляет не более одной тысячной доли секунды. Так, на рис. 6 и 7 приведены временные зависимости напряжения конденсатора и тока в цепи для вольфрамовой проволоочки диаметром 10^{-3} м (см. рис. 6) и $0,02 \cdot 10^{-3}$ м (см. рис. 7). Из данных рис. 6 и 7 следует, что напряжение и ток в разрядной цепи являются сильно меняющимися функциями времени, поэтому не удалось сравнить теоретические расчеты с экспериментальными данными работы [8], в которой напряжение в цепи поддерживалось постоянным, а времена зажигания были значительно больше тех, которые реализуются в данной работе.

Если же взять конденсатор емкостью $C_n = 33,3 \cdot 10^6$ Ф, тогда при $L_{н.к} = 3 \cdot 10^{-6}$ Гн получаем $t_{эл} = 10$ с. В этом случае можно считать, что за время воспламенения напряжение конденсатора практически не изменяется. Используя термокинетические параметры, приведенные в работе [8], т.е. полагая $qk_0 = 5,03 \cdot 10^{19}$ Вт/м³, $E = 13827$ кДж/моль, $\rho = 1600$ кг/м³, $\lambda = 0,234$ Вт/(м·К), $c = 1466$ Дж/(кг·К), вычислим импульс зажигания (терминология из работы [8]):

$$u_3 = \frac{Q_{np}}{S_{np}} - u_{np},$$

где $Q_{np} = \int_0^{t_{сп}} J^2 R dt$ — количество тепла, выделившееся в проволочке за время прогрева;

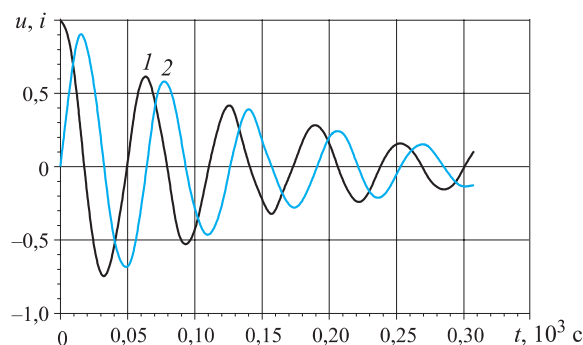


Рис. 6. Временные зависимости напряжения (1) на обкладках конденсатора и тока в цепи (2) при зажигании реагента вольфрамовой проволоочки диаметром 10^{-3} м

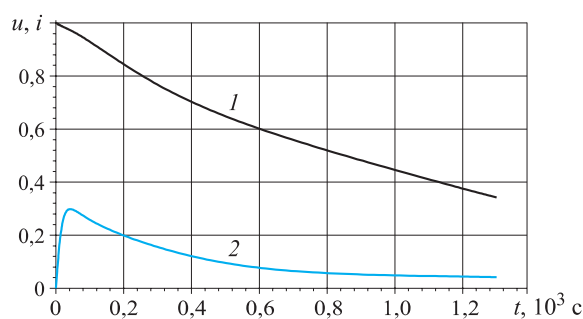


Рис. 7. Временные зависимости напряжения (1) на обкладках конденсатора и тока в цепи (2) при зажигании реагента вольфрамовой проволоочки диаметром $0,02 \cdot 10^{-3}$ м

$u_{np} = 0,5c_0\rho_0(T_* - T_n)$ — количество тепла, расходуемое на нагрев проволоочки до момента зажигания;

$S_{np} = 2\pi r_0 L$ — поверхность проволоочки.

Производя расчеты, получаем $u_3 = 7,36 \cdot 10^4$ Дж/м².

Заметим, что время зажигания для рассматриваемого случая равно 0,187 с, а импульс зажигания вычисляется по формулам для критических условий.

Для этого же времени зажигания в работе [8] импульс зажигания $u_{н1} = 8,68 \cdot 10^4$ Дж/м², что согласуется с теоретическим расчетом.

Таким образом, полученная в данной работе формула (8) по сравнению с формулой (27) работы [1] позволяет более точно предсказывать предельные условия зажигания при различных свойствах электрической цепи и твердого топлива.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Субботин, А. Н.** Аналитическое решение задачи зажигания высокоэнергетических веществ проволочкой, нагреваемой электрическим током / А. Н. Субботин // Пожаровзрывобезопасность. — 2008. — Т. 17, № 4. — С. 22–27.
2. **Исаков, Г. Н.** Зажигание высокоэнергетических веществ нагретыми телами / Г. Н. Исаков, А. Н. Субботин // Пожарная безопасность. — 2007. — № 3. — С. 22–28.

3. **Гришин, А. М.** Итерационно-интерполяционный метод и его приложения / А. М. Гришин, В. И. Зинченко, А. Н. Субботин [и др.]. — Томск: Изд-во ТГУ, 2004. — 320 с.
4. **Дэвид, Э.** Расчет нагрева взрывающихся проволочек / Э. Дэвид // Взрывающиеся проволочки. — М.: Изд-во ин. литературы, 1963. — 341 с.
5. **Зарко, В. Е.** Зажигание смеси перхлората аммония и крахмала накаливаемыми проволочками / В. Е. Зарко, С. С. Хлевной // ФГВ. — 1971. — Т. 7, № 4. — С. 605–606.
6. **Франк-Каменецкий, Д. А.** Диффузия и теплопередача в химической кинетике / Д. А. Франк-Каменецкий. — М.: Наука, 1987. — 502 с.
7. **Клочков, И. С.** Зажигание гексогена нагретыми проволочками при давлениях 1000–13000 кг/см² / И. С. Клочков, Н. Д. Маначинский // ФГВ. — 1973. — Т. 9, № 4. — С. 510–515.
8. **Зарко, В. Е.** Зажигание баллиститного пороха накаливаемыми проволочками / В. Е. Зарко, С. С. Хлевной // ФГВ. — 1968. — Т. 4, № 2. — С. 158–170.

Поступила в редакцию 11.08.08.

представляем новую книгу

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПОЖНАУКА»

В. П. БАБУРОВ, В. В. БАБУРИН, В. И. ФОМИН
**АВТОМАТИЧЕСКИЕ
 УСТАНОВКИ
 ПОЖАРОТУШЕНИЯ**

Бабуров В.П., Бабурин В.В., Фомин В.И.
 Автоматические установки пожаротушения. Вчера. Сегодня. Завтра:
 Учебно-справочное пособие. — 294 с.

В учебно-справочном пособии рассматриваются принципы построения технических средств пожарной автоматики. Даны методы расчета установок водяного, пенного, газового, порошкового и аэрозольного пожаротушения. Изложены принципы построения систем автоматической противопожарной защиты объектов. Раскрыты основные принципы проектирования и организации эксплуатации систем автоматической противопожарной защиты. Пособие предназначено для студентов высших учебных заведений, инженерно-технических работников, занимающихся проектированием, монтажом и эксплуатацией установок и систем автоматического пожаротушения.

107023, Москва, пл. Журавлева, д. 2, стр. 2;
 тел./факс: (495) 228-09-03; e-mail: firepress@gmail.com



Канд. физ.-мат. наук,
старший научный сотрудник
НИИ прикладной математики и механики
Томского государственного университета
Н. В. Барановский



Канд. мед. наук, руководитель отдела
диссертационных советов Сибирского
государственного медицинского
университета
С. В. Барановская

УДК 614.536

ТЕПЛООБМЕН НАГРЕТОЙ ЧАСТИЦЫ И ПОВЕРХНОСТНЫХ ТКАНЕЙ ВЕРХНИХ ДЫХАТЕЛЬНЫХ ПУТЕЙ

Предлагается математическая модель теплообмена нагретой частицы с поверхностными тканями верхних дыхательных путей. Задача теплообмена решается в системе “воздушная среда – частица – ткань”. Математическая модель создает фундамент для развития физико-математической теории возникновения и проявления хронических обструктивных болезней легких в результате действия поражающих факторов лесного пожара. Представлены модельные расчеты для частиц с различной начальной температурой.

Введение

В результате лесных пожаров происходит уничтожение лесного фонда государства [1], а также наносится экологический ущерб [2]. Кроме того, лесные пожары прямо и косвенно влияют на здоровье населения [3–5]. Следствием действия поражающих факторов лесного пожара являются возникновение и обострение различных заболеваний. Качество атмосферного воздуха, содержащего частицы дыма и газообразные соединения от лесных пожаров, является фактором, который увеличивает риск смертности и влияет на возникновение хронических обструктивных болезней легких (ХОБЛ). Например, было отмечено увеличение смертности по указанным причинам в возрасте от 65 до 74 лет [4].

Воздухоносные пути играют не только роль транспортных путей поступления свежего воздуха и выведения отработанного [6]. Они выполняют также ряд вспомогательных функций, которые обеспечивают очищение, увлажнение и согревание вдыхаемого воздуха [7].

Очищение воздуха начинается уже в носоглотке. Поэтому люди, которые дышат ртом, более подвержены заболеваниям дыхательных путей. Частицы, не задержанные этим фильтром, прилипают к слою слизи, секретируемому бокаловидными и субэпителиальными клетками, выстилающими стенки дыхательных путей [6]. Более крупные частицы, попавшие в воздухоносные пути, раздражают слизистые оболочки и вызывают различные проявления ХОБЛ.

Ранее разработаны методика оценки влияния лесных пожаров на здоровье населения [8] и кон-

цепция оценки качества жизни в населенных пунктах, на прилегающих лесопокрытых территориях которых существует неблагоприятная лесопожарная обстановка. Дальнейшее совершенствование и развитие указанных методики и концепции требуют развития физико-математической теории возникновения и проявления ХОБЛ в результате действия поражающих факторов лесных пожаров. В настоящей статье предлагается обсудить вопрос теплообмена нагретых частиц, выносимых из фронта пожара и попадающих в дыхательные пути человека, с поверхностными тканями дыхательных путей.

Цель исследования — разработка физико-математической модели теплообмена нагретой частицы и поверхностных тканей дыхательных путей, а также сценарное моделирование процесса теплопереноса в системе “воздушная среда – частица – ткань”.

Структура и функции дыхательной системы

Клетки организма получают энергию, как правило, в результате окислительного распада питательных веществ. Поэтому к ним постоянно должен поступать кислород. В то же время нормальное функционирование клеток возможно только при удалении конечного продукта метаболизма — углекислого газа. Обмен газами между клетками и окружающей средой называется дыханием [6]. Легочная вентиляция обеспечивает перенос газов за счет конвекционного транспорта на большие расстояния. Перенос кислорода из окружающей среды в те части организма, где он поглощается клетками, происходит через ряд этапов в следующей последовательности [6]:

- 1) конвекционный транспорт в альвеолы (вентиляция);
- 2) диффузия из альвеол в кровь легочных капилляров;
- 3) конвекционный перенос кровью к капиллярам тканей;
- 4) диффузия из капилляров в окружающие ткани.

Процесс удаления диоксида углерода включает те же четыре стадии в обратной последовательности. Первая и вторая стадии называются легочным (внешним) дыханием [6].

Когда легкие расширяются, свежий воздух поступает в их газообменные отделы по системе ветвящихся трубок [7, 9]. Вначале он проходит через трахею, далее по более мелким ветвям бронхиального дерева. Вплоть до 16-го ветвления, за которым следуют конечные бронхиолы, единственная функция дыхательных путей состоит в проведении воздуха. После 17–19-го деления образуются дыхательные бронхиолы, в стенках которых уже имеются отдельные альвеолы. После 20-го деления начинаются альвеолярные ходы, которые плотно окружены альвеолами. Эта зона легких выполняет главным образом функцию газообмена и называется дыхательной зоной. Вплоть до конечных бронхиол перенос воздуха по дыхательным путям происходит исключительно путем конвекции.

Физико-математическая модель теплопереноса

Предлагается следующая модель теплопереноса при контакте нагретой частицы с поверхностными тканями дыхательных путей (рис. 1). Предполагается, что человек находится в зоне действия активного лесного пожара. Из его фронта выносятся мелкие нагретые частицы древесины, образовавшиеся в результате термодеструкции ее материала. В процессе легочного дыхания они попадают в дыхательные пути и оседают на их поверхностные ткани. Принимается идеальный контакт между частицей и поверхностными тканями. Частица отдает тепло посредством процесса теплопроводности верхним слоям тканей дыхательных путей. Ткани

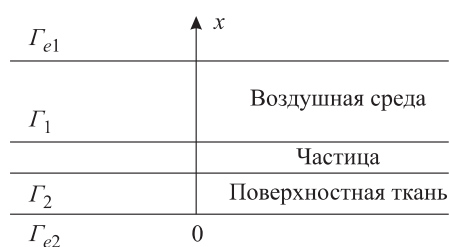


Рис. 1. Схема теплопереноса в системе "воздушная среда – частица – ткань"

нагреваются и нарушается их нормальное функционирование. Частица окружена газовой средой. Частица моделируется пластиной конечной толщины (одномерная постановка). Предполагается, что теплообмен с внешней средой и системы бронхов носит стационарный характер [10]. Согревание воздуха происходит в основном в носоглотке. В верхних дыхательных путях температура воздуха может быть принята на несколько градусов выше температуры окружающей среды [11].

Соответствующая данной физической модели математическая модель теплопереноса между нагретой частицей и верхними тканями верхних дыхательных путей запишется следующим образом:

- уравнение теплопроводности для газовой среды:

$$\rho_1 c_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} = \lambda_1 \frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2}; \quad (1)$$

- уравнение теплопроводности для частицы:

$$\rho_2 c_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} = \lambda_2 \frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2}; \quad (2)$$

- уравнение теплопроводности для поверхностных тканей:

$$\rho_3 c_3 \frac{\partial T_3}{\partial t} = \lambda_3 \frac{\partial^2 T_3}{\partial x^2}; \quad (3)$$

- начальные условия для уравнений (1) – (3):

$$t = 0, \quad T_1 = T_{1n}, \quad T_2 = T_{2n}, \quad T_3 = T_{3n}; \quad (4)$$

- граничные условия для уравнений (1) – (3):

$$\Gamma_{e1} \quad \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial x} = \alpha_{e1} (T_{e1} - T_1); \quad (5)$$

$$\Gamma_1 \quad \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial x} = \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial x}, \quad T_1 = T_2; \quad (6)$$

$$\Gamma_2 \quad \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial x} = \lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial x}, \quad T_2 = T_3; \quad (7)$$

$$\Gamma_{e2} \quad -\lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial x} = \alpha_{e2} (T_{e2} - T_3), \quad (8)$$

где $T_i, c_i, \lambda_i, \rho_i$ — температура, теплоемкость, теплопроводность, плотность соответственно; индексы "1", "2" и "3" соответствуют воздушной среде, частице, верхним тканям дыхательных путей;

x — пространственная координата;

t — время;

α_{e1} — коэффициент теплоотдачи;

α_{e2} — коэффициент теплопередачи;

индекс "н" соответствует параметрам системы в начальный момент времени.

Результаты численного моделирования и их обсуждение

Рассмотрим три типичных нагретых частицы: 1) “холодная” частица, характеризуется начальной температурой $T_{2н} = 300$ К; 2) “теплая” частица, характеризуется начальной температурой $T_{2н} = 400$ К; 3) “горячая” частица, обладает начальной температурой $T_{2н} = 500$ К. Реакции тканей организма на термические факторы определяются их теплофизическими свойствами. Известно, что мягкие ткани организма человека имеют следующие теплофизические характеристики [12]: $c = 3360$ Дж/(кг·К); $\lambda = 0,44$ Вт/(м·К); $\rho = 1091$ кг/м³. Геометрия области решения для верхних отделов дыхательной системы: толщина воздушной среды — 5 мм, толщина частицы — 1–2 мм, толщина ткани — 1 мм.

На рис. 2 представлено распределение температуры в системе “воздушная среда – частица – ткань” в верхних отделах дыхательной системы в момент времени $t = 5$ с. Кривые 1, 2 и 3 соответствуют “холодной”, “теплой” и “горячей” частицам. Температура воздушной среды в начальный момент времени $T_{1н} = 297$ К при температуре вдыхаемого воздуха $T_{air} = 293$ К [11]. Температура стенок дыхательных путей равна в начальный момент времени температуре тела ($T_{3н} = 309,6$ К).

На рис. 3 показано распределение температуры в системе “воздушная среда – частица – ткань” в верхних отделах дыхательной системы в момент времени $t = 60$ с. Кривые 1, 2 и 3 соответствуют “холодной”, “теплой” и “горячей” частицам. Температура воздушной среды в начальный момент времени $T_{1н} = 297$ К при температуре вдыхаемого воздуха $T_{air} = 293$ К [11]. Температура стенок дыхательных путей равна в начальный момент времени температуре тела ($T_{3н} = 309,6$ К).

На рис. 4 представлена зависимость температуры в глубине ткани от времени. Кривые 1, 2 и 3 соответствуют “холодной”, “теплой” и “горячей” частицам. Температура воздушной среды в начальный момент времени $T_{1н} = 297$ К при температуре вдыхаемого воздуха $T_{air} = 293$ К [11]. Температура стенок дыхательных путей равна в начальный момент времени температуре тела ($T_{3н} = 309,6$ К).

Анализ результатов численного моделирования показывает, что в случае оседания на поверхность дыхательных путей “холодной” частицы вначале происходит охлаждение поверхностных тканей. Через 5 с в результате теплообмена с частицей температура на глубине 1 мм снижается на 5 К относительно первоначальной температуры тела (см. рис. 2). С течением времени (см. рис. 4) процесс охлаждения сменяется прогревом поверхностных тканей из глубины организма человека. К 30–60 с температура поверхностных тканей согласно численным рас-

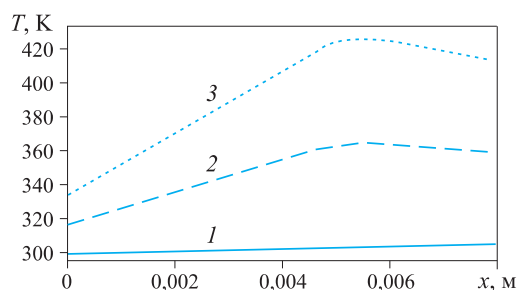


Рис. 2. Распределение температуры в системе “воздушная среда – частица – ткань” в верхних отделах дыхательной системы в момент времени $t = 5$ с

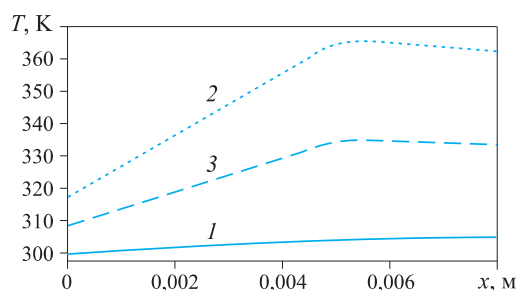


Рис. 3. Распределение температуры в системе “воздушная среда – частица – ткань” в верхних отделах дыхательной системы в момент времени $t = 60$ с

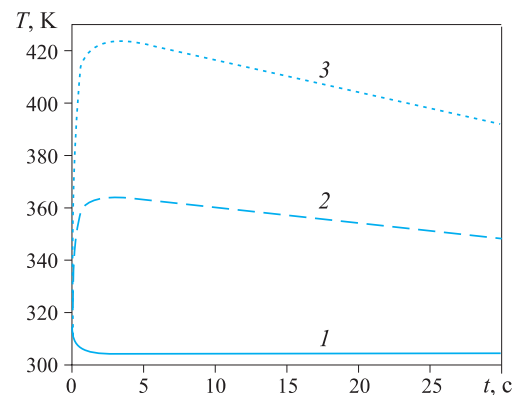


Рис. 4. Зависимость температуры в глубине ткани от времени

четам повышается примерно на 1 К (см. рис. 3 и 4). Следует отметить, что такие изменения температуры не оказывают существенного влияния на жизнедеятельность тканей дыхательных путей [6].

Как показывает сравнительный анализ данных численного моделирования теплообмена в случае оседания “теплой” и “горячей” частиц результаты различаются между собой только количественно. Качественно для нагретых частиц процесс теплообмена частицы и поверхностных тканей дыхательных путей протекает одинаково. В случае оседания

нагретых частиц на поверхность дыхательных путей с течением времени происходит повышение температуры их тканей до 360 (“теплая” частица) – 420 К (“горячая” частица) уже через 5 с контакта (см. рис. 2). Через 2–3 с контакта процесс нагрева тканей сменяется их остыванием (см. рис. 4). Этот факт объясняется тем, что нагретая частица имеет конечный запас тепла и остывает в результате отвода тепла в поверхностные слои дыхательных путей и воздушную среду, которая около поверхности частицы также прогревается (см. рис. 2 и 3). Происходит снижение температуры в глубине ткани до значений 350 (“теплая” частица) – 400 К (“горячая” частица).

Таким образом, анализ результатов показывает, что значительного понижения температуры частицы не происходит и она может оказывать негативное воздействие относительно продолжительное время (см. рис. 4). Заметим, что рассматриваются крупнодисперсные частицы (толщиной ~1 мм).

Термические факторы, воздействующие на организм, влияют на жидкокристаллическую структуру клеточных мембран, скорость и направление метаболических реакций клеток и тканей, поэтому способны существенно изменять их функцию [12].

Выводы

Таким образом, в настоящей работе представлена новая физико-математическая модель теплопереноса в системе “воздушная среда – частица – ткань”, которая создает фундамент для совершенствования и развития физико-математической теории возникновения и проявления ХОБЛ в результате действия поражающих факторов лесного пожара. Интеграция модели с существующей методикой оценки влияния лесных пожаров на здоровье населения позволит давать физически обоснованный прогноз последствий лесных пожаров для здоровья населения.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Лукьянчиков, Н. Н.** Экономика и организация природопользования: Учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению 521600 “Экономика”. 3-е изд., перераб. и доп. / Н. Н. Лукьянчиков, И. М. Потравный. — М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2007. — 591 с.
2. **Фуряев, В. В.** Глобальные изменения экологических функций бореальных лесов Евразии вследствие нарушенности их пожарами / В. В. Фуряев, Л. П. Злобина // Сибирский экологический журнал. — 2001. — № 6. — С. 661–665.
3. **Aditama, T. Y.** Impact of Haze from Forest Fire to Respiratory Health: Indonesian Experience / T. Y. Aditama // *Respirology*. — 2000. — Vol. 5. — P. 169–174.
4. **Sastry, N.** Forest Fires, Air Pollution, and Mortality in Southeast Asia / N. Sastry // *Demography*. — 2002. — Vol. 39, № 1. — P. 1–23.
5. **Dockery, D. W.** An Association Between Air Pollution and Mortality in Six U.S. Cities / D. W. Dockery, C. A. Pope, X. Xu [et al.] // *New England Journal of Medicine*. — 1993. — Vol. 329, № 24. — P. 1753–1759.
6. Физиология человека: в 3-х т. Пер. с англ. / Под ред. Р. Шмидта, Г. Тевса. — М.: Мир, 1996. — Т. 2. — 313 с.
7. **Proctor, D. F.** Form and Function of the Upper Airways and Larynx / D. F. Proctor // *Handbook of Physiology. Section 3. The Respiratory System. Vol. III.* / Eds. P. T. Macklem, J. Mead. — Bethesda: American Physiol. Society, 1986. — X p.
8. **Барановский, Н. В.** Методика оценки влияния лесных пожаров на здоровье населения / Н. В. Барановский, С. В. Барановская, А. В. Исакова // *Пожарная безопасность*. — 2007. — № 3. — С. 71–74.
9. **Weibel, E. R.** The Pathway of Oxygen / E. R. Weibel. — Cambridge-Massachusetts-London: Harvard University Press, 1984. — X p.
10. **Scherer, P. W.** / P. W. Scherer, L. M. Hanna // *Heat Transfer in Medicine and Biology* / Eds. A. Shitzer, C. Robert. — Eberhar, USA. — 1984. — Vol. 2. — P. 287–306.
11. **Арефьев, К. М.** Нестационарный теплообмен в трахее легких человека / К. М. Арефьев, Е. Д. Федорович, А. А. Хрущенко // *Инженерно-физический журнал*. — 2003. — Т. 76, № 4. — С. 128–133.
12. **Боголюбов, В. М.** Общая физиотерапия: Учебник для студентов мед. вузов / В. М. Боголюбов, Г. Н. Пономаренко. — СПб.: Медицинская литература, 1998. — 480 с.

Поступила в редакцию 25.09.08.



Ассистент Томского политехнического университета
А. В. Захаревич



Д-р физ.-мат. наук, профессор Томского политехнического университета
Г. В. Кузнецов



Канд. техн. наук, старший преподаватель Томского политехнического университета
В. И. Максимов

УДК 536.468

МЕХАНИЗМ ЗАЖИГАНИЯ БЕНЗИНА ОДИНОЧНОЙ НАГРЕТОЙ ДО ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ЧАСТИЦЕЙ

Экспериментально исследован механизм зажигания пожароопасного вещества одиночной “горячей” металлической частицей. На основании полученных данных установлено, что зажигание бензина происходит только при взаимодействии смеси его паров с воздухом и “горячей” частицы при концентрациях паров, соответствующих условиям испарения бензина при комнатной температуре. Вероятность воспламенения смеси паров бензина с воздухом быстро снижается по мере их отхода от поверхности испарения. Если температура частицы ниже критической, то воспламенение не происходит ни в паровой фазе, ни на поверхности бензина, даже если частица погружается в него полностью или частично.

Введение

В современных методах прогноза пожарной опасности горючих веществ [1] обычно используются модели, в которых источником нагрева является или поток высокотемпературных газов, или достаточно масштабный очаг возгорания (объемный источник высоких температур). Но источники воспламенения, встречающиеся в производственных условиях, весьма разнообразны, как по природе своего появления, так и по запасу энергии. Многие пожары возникают в результате воздействия на способные гореть вещества (в том числе жидкости) частиц металлов или их окислов, нагретых до высоких температур. Одиночные частицы достаточно малых размеров часто являются источниками возникновения пожаров на промышленных и гражданских объектах. Поэтому исследование процесса зажигания жидких пожароопасных веществ (ПВ) является практически значимым и представляет также большой интерес потому, что физические закономерности процесса зажигания жидкостей намного сложнее, чем это следует из общей тепловой теории [2].

Цель работы – экспериментальное исследование механизма зажигания бензина “горячей” металлической частицей, являющейся источником зажигания.

Методика эксперимента

Для проведения эксперимента с пожароопасной жидкостью использовалась установка (рис. 1), основными элементами которой являлись нагревательная печь и контрольно-измерительный блок. В качестве объекта исследования был использован бензин с октановым числом 92. Эксперименты про-

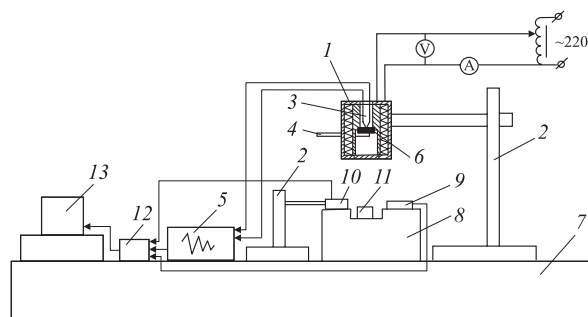


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки: 1 — нагревательный прибор; 2 — штатив; 3 — хромель-алюмелевая термопара; 4 — керамический стержень; 5 — устройство контроля температуры УКТ38-Щ4-ТП; 6 — металлическая частица; 7 — рабочая поверхность; 8 — огнестойкая площадка; 9 — приемник излучения и регистратор пламени; 10 — излучатель; 11 — вертикальный стеклянный цилиндрический сосуд; 12 — аналого-цифровой преобразователь (АЦП); 13 — персональный компьютер

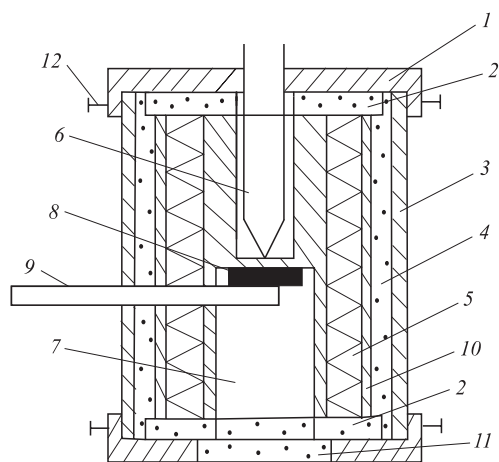


Рис. 2. Схема нагревательной печи: 1 — теплоизолирующая крышка (2 шт.); 2 — теплоизолятор (шамот); 3 — стальной цилиндр; 4 — прокладка из шамота; 5 — нихромовая спираль; 6 — хромель-алюмелевая термопара; 7 — отверстие для вывода частиц; 8 — стальная частица; 9 — держатель из керамики; 10 — конструкция из жаростойкой стали; 11 — цилиндрическая задвижка (шамот); 12 — винт

водились с частицей — источником зажигания в форме диска фиксированного диаметра ($6 \cdot 10^{-3}$ м) и высоты ($5 \cdot 10^{-3}$ м). Стальная частица при падении в вертикальный сосуд (высотой $40 \cdot 10^{-3}$ м и диаметром $50 \cdot 10^{-3}$ м) с определенным ПВ (в количестве 2 мл) находилась в твердом состоянии и не деформировалась. Эксперименты проводились в хорошо воспроизводимых условиях. Нагрев металлического диска до заданной температуры осуществлялся в нагревательной печи (рис. 2), обеспечивающей стабильную температуру рабочего объема (до 1150°C) в течение продолжительного времени. Нагревательная печь представляла собой стальной цилиндр (диаметром $75 \cdot 10^{-3}$ м и высотой $100 \cdot 10^{-3}$ м), отверстия которого закрывались теплоизолирующими крышками 1 с целью минимизации теплотерь в окружающую среду. В стальном цилиндре находилась конструкция из жаростойкой стали 3. Она представляла собой полый цилиндр со сквозными отверстиями на внутренней поверхности, в которые укладывался нагревательный элемент 5 (спираль из нихрома). Спираль была изолирована от короткого замыкания бусинками из керамики. Между стенками внутренней стальной конструкции и внешней конструкцией из жаростойкой стали находился изолятор 4 (шамот).

Такая схема нагревательной печи обеспечивала получение равномерного прогрева металлической частицы. Значение ее температуры фиксировалось прибором УКТ38-Щ4-ТП 5 (см. рис. 1), первичным преобразователем которого являлась хромель-алюмелевая термопара. Нижняя часть хромель-алюме-

левой термопары по оси стальной конструкции упиралась в стальную жаростойкую перегородку толщиной $1 \cdot 10^{-3}$ м, снизу к которой, в свою очередь, прижималась металлическая частица. Это позволяло достаточно точно измерять температуру “горячей” частицы T_q . При достижении температурой металлического диска заданного значения открывалась задвижка 11 на нижней крышке печи и отодвигался керамический держатель 9, нагретая частица падала с фиксированной высоты $170 \cdot 10^{-3}$ м в пожароопасную жидкость. Высота падения частицы выбиралась такой, чтобы пары пожароопасной жидкости не воспламенялись около основания нагревательной печи. Момент соприкосновения “горячей” частицы с парами бензина, находящимися в стеклянном цилиндрическом сосуде, фиксировался датчиком 1 (см. рис. 1), который устанавливался около верхнего края стеклянного сосуда. Он состоял из излучателя 10 и приемника излучения (фотоэлемент 9). Падая, “горячая” частица перекрывала тонкий световой луч между излучателем и приемником излучения. Сигнал через аналого-цифровой преобразователь (АЦП) 12 поступал на персональный компьютер (ПК) 13. Воспламенение паров исследуемого топлива регистрировалось датчиком (фотоэлемент 9 на рис. 1). При появлении вспышки пламени фотоэлемент формировал сигнал. Этот сигнал через АЦП фиксировался на ПК. Время задержки зажигания определялось от момента пересечения частицей светового луча до момента появления пламени. Интервал между началом падения и зажиганием ПВ также фиксировался цифровой видеокамерой. Погрешность измерения начальной температуры частицы, оцениваемая по методике [3], не превышала 1–3%.

Явление зажигания паров горючих жидкостей зависит от многих факторов, в том числе от концентрации паров над поверхностью жидкости. Известно, что зависимость энергии зажигания от концентрации горючего имеет вид параболы, минимальная точка которой примерно соответствует стехиометрическому соотношению горючего и окислителя. По мере удаления от этой точки энергия зажигания резко возрастает. При комнатной температуре паровая фаза над поверхностью бензина А-92 переобогащена горючим, что может привести к получению завышенных значений температуры частицы, которая в экспериментах вызвала воспламенение.

Для оценки масштабов изменения температуры частицы — источника зажигания ПВ в процессе падения решена задача теплопроводности для диска. Рассматривался период времени падения частицы на поверхность ПВ. Задача решалась при граничных условиях третьего рода на поверхности диска. Коэффициент теплообмена рассчитывался по зави-

симостям [4] с учетом изменения скорости движения частицы. Установлено, что за время падения температура поверхности контакта частицы с ПВ уменьшается не более чем на 4°C . Этим отклонением при анализе можно пренебречь, так как в экспериментах достигалась температура частицы более 1000°C . Соответственно за время падения от выхода из нагревательной печи до воспламенения (не более 0,2 с) изменение температуры поверхности частицы составляло не более 0,4%. Такую погрешность в определении $T_{\text{ч}}$ можно считать приемлемой.

Результаты экспериментальных исследований

Эксперименты показали, что воспламенение бензина происходит в паровой фазе до попадания частицы на поверхность этой горючей жидкости при температуре частицы более 1080°C . Если $T_{\text{ч}}$ меньше этой величины, то воспламенения не происходит, даже если частица погружается в бензин полностью или частично. Варианты воспламенения и невоспламенения иллюстрируют видеogramмы на рис. 3. Дальнейшее повышение $T_{\text{ч}}$ обеспечивает безусловное воспламенение бензина в паровой фазе. При этом время задержки воспламенения составляет не более 0,01 с при любом значении температуры частицы до 1200°C .

Полученный результат можно объяснить следующим образом. Бензин является легкоиспаряющейся жидкостью, поэтому даже при комнатной температуре происходит его испарение, достаточное, как показывают эксперименты, для создания в воздухе критической концентрации паров бензина. Эти пары при движении от поверхности испарения перемешиваются с воздухом. При попадании нагретой до высоких (более 1080°C) температур частицы в данную горючую смесь происходит воспламенение последней.

Интересным является то, что при температурах ниже критической воспламенение бензина не происходит даже при попадании частицы в слой этой жидкости. В данном случае значительная часть энергии, аккумулированной в частицы, затрачивается на интенсивное испарение бензина. Но паробразные продукты реализации этого процесса имеют низкую, недостаточную для воспламенения температуру. По мере удаления от поверхности фазового перехода они охлаждаются все больше за счет теплообмена с окружающим воздухом. Вероятность воспламенения смеси паров бензина с воздухом быстро снижается по мере их отхода от поверхности испарения. Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что воспламенение бензина одиночными нагретыми до высоких темпе-

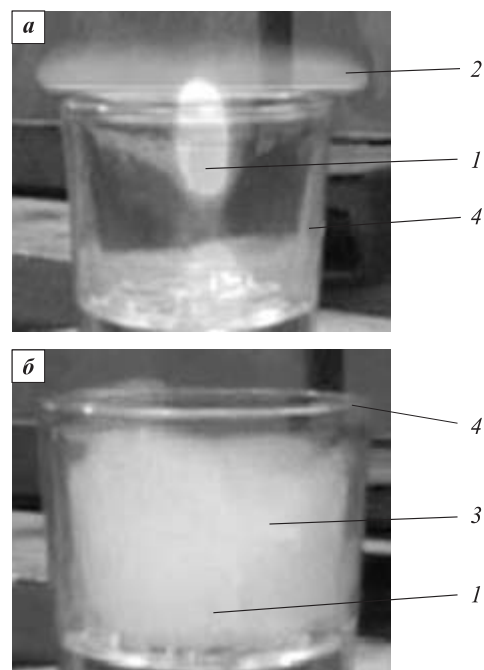


Рис. 3. Кадры видеogramмы эксперимента с воспламенением (а) и без воспламенения (б) бензина: 1 — металлическая частица; 2 — пламя; 3 — пары бензина высокой концентрации; 4 — стеклянный вертикальный сосуд

ратур частицами возможно только непосредственно в слое паров бензина на некотором удалении от поверхности испарения даже при комнатной температуре ($20\text{--}25^{\circ}\text{C}$). Необходимым условием воспламенения в этом случае является высокая температура частицы.

Следует отметить, что все обсуждаемые эксперименты проводились в условиях закрытых помещений при отсутствии направленного движения воздуха. В этом случае концентрация паров горючего над поверхностью бензина определялась конвекцией и диффузией продуктов испарения и была максимальной. На основании результатов проведенных исследований можно также сделать вывод, что открытые поверхности бензина при обычных комнатных температурах являются эффективными поставщиками горючего для реакций воспламенения, источниками которых могут быть не только “горячие” частицы, но и другие источники высоких температур (накаленная проволока, высокотемпературные элементы нагревательных приборов, открытый огонь и др.).

Результаты выполненных экспериментов также позволяют сделать заключение о высокой пожарной опасности открытых поверхностей бензина даже в условиях, когда нагретые до температур более 1080°C частицы пролетают на некотором расстоянии от поверхности испарения этой горючей жидкости. Особенно опасными в этих условиях являются работы по сварке и резке металлов. При их

проведении образуются частицы с температурой, превышающей, как правило, температуру плавления сталей (например, 1500–1600°C).

Выводы

Проведенные впервые экспериментальные исследования механизма зажигания бензина одиночными нагретыми до высоких температур частицами позволили выделить основные закономерности этого процесса. Установлено, что зажигание бензина происходит только при взаимодействии смеси

его паров с воздухом и “горячей” частицы при концентрациях паров, соответствующих условиям испарения бензина при комнатной температуре. Если температура частицы ниже критической, то воспламенение не происходит ни в паровой фазе, ни на поверхности бензина, даже если частица погружается в него полностью или частично.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 06-08-00366).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Варнатц, Ю.** Горение. Физические и химические аспекты, моделирование, эксперименты, образование загрязняющих веществ / Ю. Варнатц, У. Маас, Р. Диббл; под ред. П. А. Власова. — М.: Физматлит, 2003. — 352 с.
2. **Франк-Каменецкий, Д. А.** Диффузия и теплопередача в химической кинетике / Д. А. Франк-Каменецкий. — М.: Наука, 1987. — 502 с.
3. **Полежаев, Ю. В.** Тепловая защита / Ю. В. Полежаев, Ф. Б. Юревич. — М.: Энергия, 1976.
4. **Исаченко, В. П.** Теплопередача / В. П. Исаченко. — М.: Энергоиздат, 1981.

Поступила в редакцию 22.07.08.



Аспирант Российского химико-технологического университета им. Д. И. Менделеева
А. А. Веприкова



Канд. техн. наук, доцент Российского химико-технологического университета им. Д. И. Менделеева
В. М. Райкова



Ассистент Российского химико-технологического университета им. Д. И. Менделеева
И. В. Новикова

УДК 614,841,4

ЭНЕРГИЯ ВЗРЫВА КОНДЕНСИРОВАННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ СМЕСЕЙ И ДВУХФАЗНЫХ АЭРОВЗВЕСЕЙ, СОДЕРЖАЩИХ ЖИДКОЕ ГОРЮЧЕЕ И МЕТАЛЛ

Целью настоящей работы является сравнение энергетических характеристик конденсированных и аэродисперсных систем, содержащих жидкое органическое горючее и алюминий. С применением компьютерной программы “Shock and Detonation” (SD) проведен расчет параметров детонации смесей алюминия с изопропилнитратом и нитрометаном. Изучено влияние состава смесей на теплоту взрыва и скорость детонации. Результаты расчета теплоты взрыва конденсированных систем сопоставлены с ранее полученными данными по теплоте сгорания этих систем в воздухе.

Важнейшей характеристикой взрывоопасности технологической системы является запас потенциальной энергии, высвобождающейся с высокой скоростью, способной генерировать воздушную ударную волну, которая вызывает разрушения зданий и оборудования и поражение людей. Источником энергии взрыва парогазовых сред и двухфазных аэровзвесей являются экзотермические реакции окисления горючего, ее величина определяется по теплоте сгорания горючих веществ в смеси с воздухом или другим окислителем. Для конденсированных взрывчатых систем энергия взрыва определяется по теплоте взрыва, выделяющейся при их детонации — экзотермической реакции разложения в детонационной волне (ДВ).

В публикации [1] приведены результаты термодинамического расчета адиабатической температуры горения и теплоты сгорания аэродисперсных систем, содержащих различные жидкие органические горючие (октан, нитраты алифатических спиртов, нитрометан, нитробензол) и металлические порошки (алюминий и магний). Установлено влияние состава горючего и коэффициента избытка окислителя его смесей с воздухом на температуру горения и теплоту сгорания систем “ЛВЖ – металл”.

Целью настоящей работы было получение количественной информации по параметрам детонации конденсированных смесей, содержащих жидкое

органическое горючее и алюминий, и сравнение энергетических характеристик конденсированных и аэродисперсных систем.

Экспериментальные исследования по детонации взрывчатых систем, содержащих алюминий, показали, что добавление к взрывчатым веществам (ВВ) порошкообразного алюминия значительно увеличивает теплоту взрыва Q_V , измеряемую в калориметрической бомбе [2, 3]. Скорость детонации D мощных ВВ в зарядах с высокой относительной плотностью снижается при добавлении алюминия [4–6], причем эффект оказывается тем значительнее, чем меньше размер частиц Al. В том же направлении изменяется давление детонации. Многие исследователи придерживаются точки зрения, что в зоне реакции в ДВ до точки Чепмена – Жуге алюминий ведет себя как инертная добавка, отнимающая тепло у продуктов разложения ВВ, и окисляется лишь при расширении продуктов взрыва.

Термодинамические расчеты, выполненные, главным образом, с применением уравнения состояния ВКВ [7–11], показали, что при добавлении Al к ВВ расчетная скорость детонации снижается независимо от того, участвует Al в химической реакции или остается инертным. Это затрудняет получение достоверной оценки доли Al, прореагировавшего в пределах зоны реакции в ДВ. Разные авторы, проводившие сравнение расчетных и измеренных

значений D для смесей ВВ с Al, получили противоречивые результаты. Оценка полноты окисления Al колеблется от 0 [10] до 40–50% [8] и даже до 70% [9]. Эти расхождения связаны, скорее всего, не с различиями в свойствах взрывчатых композиций, а с недостаточной точностью применяемых расчетных методов, главным образом, в случае термодинамического равновесия Al в продуктах детонации. Несмотря на отмеченные недостатки компьютерных методов расчета параметров детонации алюминизированных ВВ, выполнение таких расчетов полезно для оценки и прогнозирования характеристик сложных взрывчатых композиций.

В настоящей работе проведен анализ влияния содержания Al на расчетные параметры детонации его смесей с изопропилнитратом (ИПН) и нитрометаном (НМ). Для сравнения был также осуществлен расчет для смесей алюминия с гексогеном — мощным бризантным ВВ. Брутто-формула, кислородный баланс (КБ) и энтальпия образования ΔH_f^0 [12, 13] для этих веществ представлены в табл. 1.

ИПН и НМ относятся к жидким ВВ. Так, ИПН известен как жидкое горючее с низкой чувствительностью к взрыву. Критический диаметр d_k детонации ИПН в стальной трубе меняется от 22 мм при 20°C до 40 мм при 3°C [14]. В слабой оболочке (ПВХ) при 16°C $d_k > 310$ мм [15]. Скорость детонации в стальной трубе составляет 5,4 км/с [14]. Добавление Al марки Alex (размер частиц — 0,1 мкм) к ИПН снижает d_k и D [15]. Величина d_k смесей ИПН с 24–32% Al составляет 29–48 мм, что на порядок меньше, чем d_k чистого ИПН.

Критический диаметр детонации НМ составляет 13 мм, скорость детонации — 6,3 км/с [16]. Введение порошков Al снижает d_k НМ в 5–10 раз [17]. Скорость детонации смеси, содержащей 37% Al, меньше, чем чистого НМ.

Таким образом, из вышесказанного можно заключить, что НМ по своим детонационным характеристикам превосходит ИПН. Добавление Al к этим веществам уменьшает критический диаметр и скорость детонации, при этом падение d_k для ИПН много больше, чем для НМ.

В настоящей работе расчеты проводили с применением компьютерной термодинамической про-

граммы “Shock and Detonation” (SD) [18]. Она успешно используется для расчета основных термодинамических параметров состояния детонации Чепмена – Жуге в конденсированных веществах и смесях, состоящих из элементов C, H, N, O, Al, Na, Cl. Также с помощью программы SD можно получить зависимости этих параметров от начальной плотности заряда и состава смеси. Термодинамические расчеты в программном комплексе SD выполняются на основе уравнения состояния Кондрикова – Сумина [19] для газообразных продуктов детонации (ПД) при высоких температуре и давлении и уравнения состояния конденсированных ПД (графит, алмаз, Al и Al₂O₃).

Расчет параметров детонации проводился в двух вариантах:

- 1) алюминий вступает в реакцию, и в продуктах устанавливается полное термодинамическое равновесие с образованием конденсированного оксида Al₂O₃;
- 2) алюминий не реагирует и присутствует как инертное вещество в продуктах детонации.

При расчете содержание алюминия в смесях C_{Al} менялось от 0 до 60%. Расчет для всех смесей проводился при постоянном значении относительной плотности:

$$\delta = \rho_0 / \rho_{max} = 0,85,$$

где ρ_0 — плотность смеси, г/см³;

ρ_{max} — максимальная (аддитивная) плотность смеси, г/см³.

Следует отметить, что термодинамический расчет с применением программы SD дает значения Q_V во фронте ДВ (в точке Чепмена – Жуге). Экспериментальное определение теплоты взрыва обычно проводят в калориметрической бомбе, где продукты детонации (ПД) расширяются и охлаждаются и где состав продуктов взрыва отличается от состава ПД в точке Чепмена – Жуге. Соответственно, расчетное значение Q_V выше, чем экспериментально измеренная теплота взрыва в условиях калориметрической бомбы.

Зависимости теплоты взрыва от содержания алюминия в смесях с гексогеном, ИПН, НМ и гексогеном/ИПН (50/50), рассчитанные как при условии окисления Al, так и при его инертности в ДВ, показаны на рис. 1. Все расчетные кривые $Q_V(C_{Al})$ для реагирующего алюминия проходят через максимум при $C_{Al} = 30\%$, который соответствует полному превращению Al в Al₂O₃. Самая высокая теплота взрыва получена для смеси гексогена с Al, самая низкая — для смеси ИПН – Al. Значения Q_V для смеси НМ – Al близки к теплоте взрыва для смеси гексоген – ИПН – Al. Таким образом, чтобы получить теплоту взрыва для смеси ИПН – Al такую же, как и для смеси НМ – Al, необходимо 50% ИПН заменить на гексоген. С увеличением содержания Al в смеси

Таблица 1. Характеристики исследуемых веществ

Название	Брутто-формула	КБ, %	ΔH_f^0 , кДж/моль
Изопропилнитрат	C ₃ H ₇ N ₁ O ₃	-99,05	-229,80
Нитрометан	C ₁ H ₃ N ₁ O ₂	-39,34	-113,09
Гексоген*	C ₃ H ₆ N ₆ O ₆	-21,62	61,53

* Гексоген — циклотриметилентринитроамин.

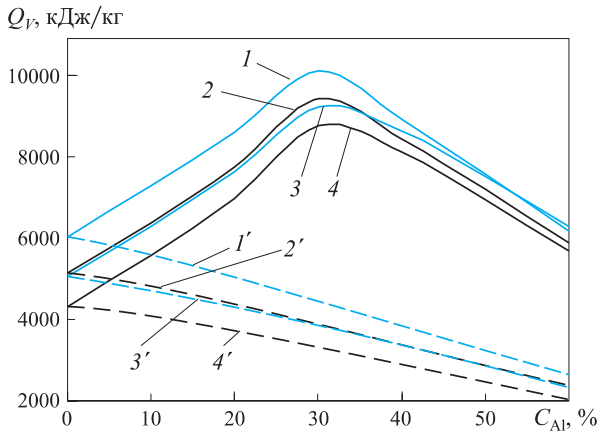


Рис. 1. Зависимость расчетной теплоты взрыва от содержания Al в смесях с гексогеном (1, 1'), гексоген/ИПН 50/50 (2, 2'), НМ (3, 3'), ИПН (4, 4'): сплошные линии — Al реагирует в ДВ; пунктирные линии — Al не реагирует в ДВ

разница между значениями теплоты взрыва для различных смесей сокращается.

В отсутствии окисления алюминия в пределах зоны реакции в ДВ для всех смесей наблюдается монотонное снижение расчетной теплоты взрыва с ростом содержания алюминия (пунктирные линии на рис. 1). Расположение кривых относительно друг друга для разных смесей остается таким же, как и для реагирующего алюминия.

Расчетные зависимости скорости детонации от содержания Al в смеси представлены на рис. 2 и 3. При окислении Al в ДВ для всех смесей кривые $D(C_{Al})$ имеют примерно одинаковый вид (см. рис. 2). При $C_{Al} < 20\%$ скорость детонации остается примерно постоянной, а при $C_{Al} > 20\%$ величина D уменьшается с увеличением C_{Al} . Порядок расположения кривых относительно друг друга такой же, как и для Q_V (см. рис. 1).

В случае инертности алюминия в пределах зоны реакции в ДВ для всех смесей наблюдается моно-

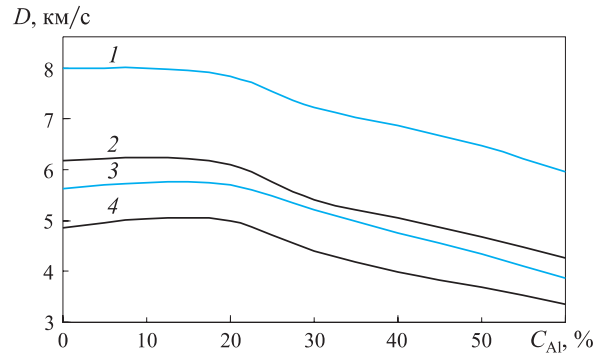


Рис. 2. Зависимость расчетной скорости детонации от содержания Al в смесях с гексогеном (1), гексогеном/ИПН 50/50 (2), НМ (3) и ИПН (4); расчет проводился с учетом окисления Al в ДВ

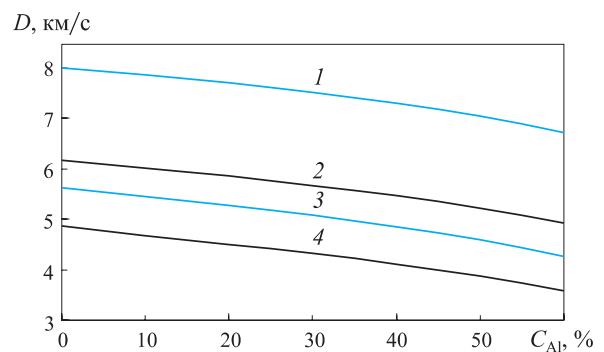


Рис. 3. Зависимость расчетной скорости детонации от содержания Al в смесях с гексогеном (1), гексогеном/ИПН 50/50 (2), НМ (3) и ИПН (4); в расчете принималось, что Al является инертной добавкой

тонное снижение скорости детонации с ростом содержания алюминия в смеси (см. рис. 3). Расположение кривых относительно друг друга для разных смесей остается таким же, как и для реагирующего алюминия (см. рис. 2). Следует отметить, что при большом содержании Al в смеси скорость детонации, рассчитанная в предположении инертности

Таблица 2. Результаты расчета состава продуктов детонации смесей, содержащих 30% алюминия ($\delta = 0,85$)

ВВ	КБ, %	ρ , г/см ³	Состав продуктов детонации, моль/кг									
			N ₂	CO	CO ₂	H ₂ O	H ₂	C _r	NH ₃	CH ₄	Al	Al ₂ O ₃
<i>Реагирующий алюминий</i>												
Гексоген	-41,8	1,712	9,18	1,57	0,168	0,329	2,61	4,87	0,55	2,84	0	5,56
ИПН	-95,9	1,102	3,12	2,86	0,055	0,327	9,02	10,4	0,428	6,66	0	5,56
Гексоген/ИПН	-68,9	1,34	6,12	2,3	0,078	0,312	5,77	7,6	0,549	4,74	0	5,56
НМ	-54,2	1,17	5,5	5,28	0,231	0,515	6,7	1,31	0,464	4,64	0	5,56
<i>Инертный алюминий</i>												
Гексоген	-41,8	1,712	9,14	0,621	6,77	4,74	0,759	0,555	0,635	1,5	11,1	0
ИПН	-95,9	1,102	3,12	1,68	5,71	6,88	2,8	6,1	0,426	6,5	11,1	0
Гексоген/ИПН	-68,9	1,34	6,06	1,32	6,02	6,1	1,98	3,73	0,66	3,66	11,1	0
НМ	-54,2	1,17	5,45	2,37	6,44	7,68	3,35	0	0,571	2,66	11,1	0

Al, выше, чем для реагирующего алюминия. К такому заключению пришли и другие исследователи [8, 10, 11], проводившие термодинамический расчет параметров детонации смесей ВВ с алюминием.

Результаты расчета состава продуктов детонации для исследуемых смесей, содержащих 30% Al, представлены в табл. 2. В смесях, содержащих ИПН, в ПД образуется много конденсированного углерода, причем как для инертного, так и для реагирующего алюминия. При детонации смесей с гексогеном в продуктах взрыва выделяется большое количество N_2 и NH_3 , а в смесях с НМ — много H_2O и CO_2 . Если Al не реагирует, то в ПД образуется больше CO_2 и H_2O и меньше C_r , H_2 , CH_4 и CO .

Сопоставим теплоты взрыва конденсированных смесей ЛВЖ – Al, рассчитанных в предположении окисления Al, с теплотой сгорания Q_p этих смесей в воздухе. Расчет температуры и состава продуктов горения при атмосферном давлении проводились [1] с применением компьютерной программы REAL [20]. Теплоту сгорания (нижшую) 1 кг горючего при давлении $p = 1$ ат рассчитывали с помощью уравнения:

$$Q_p = - \sum_{i=1}^n \Delta H_{fi}^0 \nu_i - \mu_f \Delta H_f^0 / \mu_f, \text{ кДж/кг}, \quad (1)$$

где ΔH_{fi}^0 — энтальпия образования i -го продукта горения, кДж/моль;

ν_i — содержание i -го продукта в смеси, моль/кг;

ΔH_f^0 — энтальпия образования горючего, кДж/кг;

μ_f — массовая доля горючего в смеси с воздухом.

На рис. 4 показаны расчетные зависимости Q_p для аэродисперсных систем и Q_V для конденсированных смесей Al с ИПН и НМ от содержания алюминия в смеси горючих. Из рис. 4 видно, что теплота сгорания 1 кг топлива в воздухе значительно выше теплоты, образующейся при его детонации. Также отметим, что влияние состава горючего на Q_p аэровзвесей более сильное, чем на Q_V конденсированных взрывчатых смесей. Кроме того, ИПН повышает теплоту сгорания аэровзвеси в большей степени, чем НМ. Для конденсированных систем наблюдается обратная картина: теплота взрыва для смесей НМ – Al больше, чем для смесей ИПН – Al.

Прямое сопоставление теплоты сгорания горючих веществ в воздухе, рассчитанной на 1 кг горючего, с теплотой взрыва конденсированных ВВ не совсем правомерно. Для практических целей более точным представляется сравнение теплоты взрыва конденсированного ВВ с энергией экзотермической реакции горючего вещества в смеси с воздухом [21]. Соответственно, для объективного сопоставления энергетических параметров взрыва конденсированных ВВ и смесей горючих веществ с воздухом энергию экзотермической реакции в па-

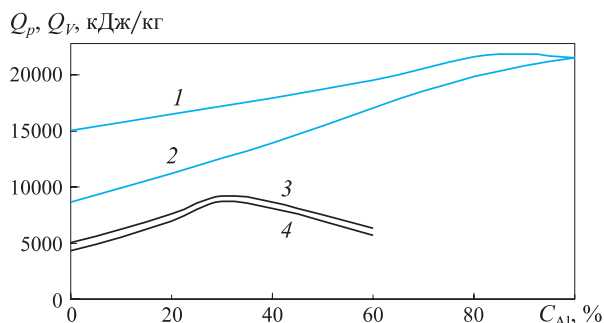


Рис. 4. Сравнение теплоты сгорания 1 кг горючих в воздухе Q_p (1, 2) с теплотой взрыва Q_V (3, 4) конденсированных смесей Al с ИПН (1, 4) и НМ (2, 3)

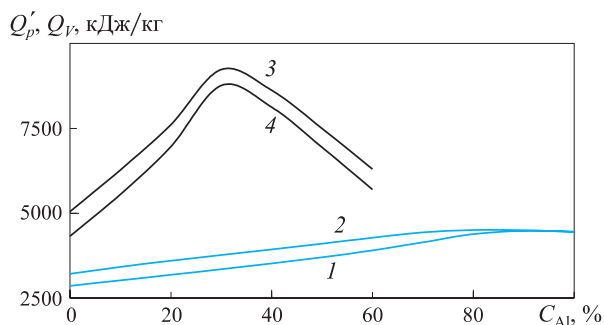


Рис. 5. Сравнение теплоты сгорания 1 кг горючих в воздухе Q'_p (1, 2) с теплотой взрыва Q_V (3, 4) конденсированных смесей Al с ИПН (1, 4) и НМ (2, 3)

рогазовых или аэродисперсных системах следует рассчитывать по удельному энерговыделению всей массы смеси (горючего вещества с кислородом и азотом воздуха). В этом случае теплота сгорания в расчете на 1 кг смеси горючих веществ с воздухом составляет:

$$Q'_p = Q_p \mu_f, \text{ кДж/кг}. \quad (2)$$

Сравнение результатов расчета Q'_p и Q_V (рис. 5) показывает, что теплота взрыва конденсированных смесей Al с ИПН и НМ выше теплоты сгорания 1 кг аэровзвеси этих горючих.

На основании проведенных термодинамических расчетов параметров горения и взрыва и анализа экспериментальных данных по детонации можно заключить следующее:

1. Взрывчатые системы на основе НМ и ИПН, содержащие много алюминия, обладают значительной энергией взрыва сами по себе, но главным образом она выделяется при догорании избытка Al в кислороде окружающей среды.

2. По своим детонационным характеристикам (d_k , D и Q_V) смеси НМ – Al имеют целый ряд преимуществ по сравнению со смесями ИПН – Al.

3. Наряду с этим аэродисперсные системы, содержащие ИПН и Al, легче воспламеняются и имеют большую теплоту сгорания (1 кг горючего) по сравнению со смесями НМ – Al.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Новикова, И. В.** Адиабатическая температура горения и теплота сгорания аэродисперсных систем, содержащих жидкое горючее и металл / *И. В. Новикова, В. М. Райкова, Н. И. Акинин* // Пожаровзрывобезопасность. — 2008. — Т. 17, № 1. — С. 6–11.
2. **Беляев, А. Ф.** Горение, детонация и работа взрыва конденсированных систем / *А. Ф. Беляев*. — М.: Наука, 1968. — 225 с.
3. **Хотин, В. Г.** Результаты рентгенофазного анализа продуктов взрыва алюмосодержащих взрывчатых смесей / *В. Г. Хотин, А. Н. Цвигунов, А. С. Красиков* // Проблемы энергетических материалов: сб. трудов Всероссийской научно-технической конференции “Успехи в специальной химии и химической технологии”. — М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2002. — Ч. 2. — С. 197–201.
4. **Анискин, А. И.** Детонация смесей взрывчатых веществ с алюминием / *А. И. Анискин* // Детонация и ударные волны: материалы VIII Всесоюзного симпозиума по горению и взрыву. — Черноголовка, 1986. — С. 26–32.
5. **Хотин, В. Г.** Об участии металлов в химическом превращении в детонационной волне / *В. Г. Хотин, А. И. Козлов, А. В. Ахачинский* [и др.] // Химическая физика конденсированных ВС: труды МХТИ им. Д. И. Менделеева. — М., 1979. — Вып. 104. — С. 113–122.
6. **Архипов, В. И.** Исследование детонации алюминизированных ВВ / *В. И. Архипов, М. Н. Махов, В. И. Пепекин* [и др.] // Химическая физика. — 1999. — Т. 18, № 12. — С. 53–57.
7. **Мейдер, Ч.** Численное моделирование детонации / *Ч. Мейдер*. — М.: Мир, 1985. — 310 с.
8. **Hobbs, M. L.** Calibrating the BKW-EOS with a Large Product Species Data Base and Measured C-J Properties / *M. L. Hobbs, M. R. Baer* // Proc. Tenth Intern. Detonation Sympos. — Boston, 1993. — P. 409–419.
9. **Cowperthwaite, M.** Nonideal Detonation in a Composite CHNO Explosive Containing Aluminum / *M. Cowperthwaite* // Proc. Tenth Intern. Detonation Sympos. — Boston, 1993. — P. 656–664.
10. **Imkhovik, N. A.** Oxidation of Aluminium Particles in the Products of Condensed Explosives Detonation / *N. A. Imkhovik, V. S. Soloviev* // Proc. of XXI Int. Pyrotechnics Seminar. — Moscow, 1995. — P. 4–12.
11. **Victorov, S. B.** The Effect of Al₂O₃ Phase Transitions on Detonation Properties of Aluminized Explosives / *S. B. Victorov* // 12th Int. Detonation Sympos., August 11–16. — San Diego, California, 2002. — P. 369–376.
12. **Сталл, Д.** Химическая термодинамика органических соединений / *Д. Сталл, Э. Вестрам, Г. Зинке*. — М.: Мир, 1971. — 807 с.
13. **Кондриков, Б. Н.** Химическая термодинамика горения и взрыва / *Б. Н. Кондриков*. — М.: МХТИ им. Д. И. Менделеева, 1980. — 79 с.
14. **Brochet, C.** Monopropellant Detonation: Isopropyl Nitrate / *C. Brochet* // Astronautica Acta. — 1970. — V. 15. — P. 419–425.
15. **Zhang, F.** Shock Initiation and Detonability of Isopropyl Nitrate / *F. Zhang, S. B. Murray, A. Yoshinaka* [et al.] // Proceedings 12th Int. Symposium on Detonation. — San Diego, CA, August, 2002. — P. 4–17.
16. **Кондриков, Б. Н.** О детонации нитрометана / *Б. Н. Кондриков, Г. Д. Козак, В. М. Райкова* [и др.] // Доклады Академии наук СССР. — 1977. — Т. 233, № 3. — С. 402–405.
17. **Курбангалина, Р. Х.** Зависимость критического диаметра жидких взрывчатых веществ от содержания порошков / *Р. Х. Курбангалина* // Прикладная механика и теоретическая физика. — 1969. — № 4. — С. 133–136.
18. **Sumin, A. I.** Shock and Detonation General Kinetics and Thermodynamics in Reactive Systems Computer Package / *A. I. Sumin, V. N. Gamezo, B. N. Kondrikov* [et al.] // Trans. of the 11th Int. Detonation Symp., Snowmass, Colorado, USA, August 31 – September 4, 1998. — Bookcomp, Amersand, 2000. — P. 30–35.
19. **Кондриков, Б. Н.** Уравнение состояния газов при высоком давлении / *Б. Н. Кондриков, А. И. Сумин* // Физика горения и взрыва. — 1987. — Т. 23, № 1. — С. 114–123.
20. **Belov, G. V.** Thermodynamic Analysis of Combustion Products at High Temperature and Pressure / *G. V. Belov* // Propellants, Explosives, Pyrotechnics. — 1998. — V. 23. — P. 86–89.
21. **Бесчастнов, М. В.** Промышленные взрывы. Оценка и предупреждение / *М. В. Бесчастнов*. — М.: Химия, 1991. — 432 с.

Поступила в редакцию 24.07.08.



Канд. хим. наук,
начальник отдела
Уральского института
ГПС МЧС РФ
С. Г. Алексеев



Д-р техн. наук, старший на-
учный сотрудник, заведую-
щий кафедрой Уральского
института ГПС МЧС РФ
Н. М. Барбин



Начальник сектора ГУ "Судебно-эксперт-
ное учреждение федеральной противопо-
жарной службы "Испытательная по-
жарная лаборатория" по Пермскому краю
А. С. Авдеев



Начальник лаборатории ГУ
"Судебно-экспертное учреждение
федеральной противопожарной
службы "Испытательная пожарная
лаборатория" по Пермскому краю
А. В. Пищальников



Канд. техн. наук,
заместитель начальника
по научной работе
Уральского института
ГПС МЧС РФ
С. А. Орлов



Д-р хим. наук, доцент,
профессор Уральского
государственного техни-
ческого университета
(УГТУ-УПИ)
Е. Н. Уломский



Аспирант Уральского государственного
технического университета, ведущий
инженер технологической лаборато-
рии Института органического синтеза
им. И. Я. Постовского УрО РАН
Г. А. Артемьев

УДК 618.841

ПОКАЗАТЕЛИ ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТИ НИТРОУКСУСНОГО ЭФИРА

Эмпирическими, полуэмпирическими и экспериментальными методами определен ряд показателей пожаро-
взрывоопасности реагента для органического синтеза — этилнитроацетата (нитроуксусного эфира).

Нитроуксусный эфир (I) широко используется в качестве реагента в органическом синтезе для получения целого ряда органических продуктов и полупродуктов (см. рисунок) [1–5].

Нитроуксусный эфир (этилнитроацетат) (I) представляет собой светло-желтую жидкость. Основные физико-химические свойства соедине-

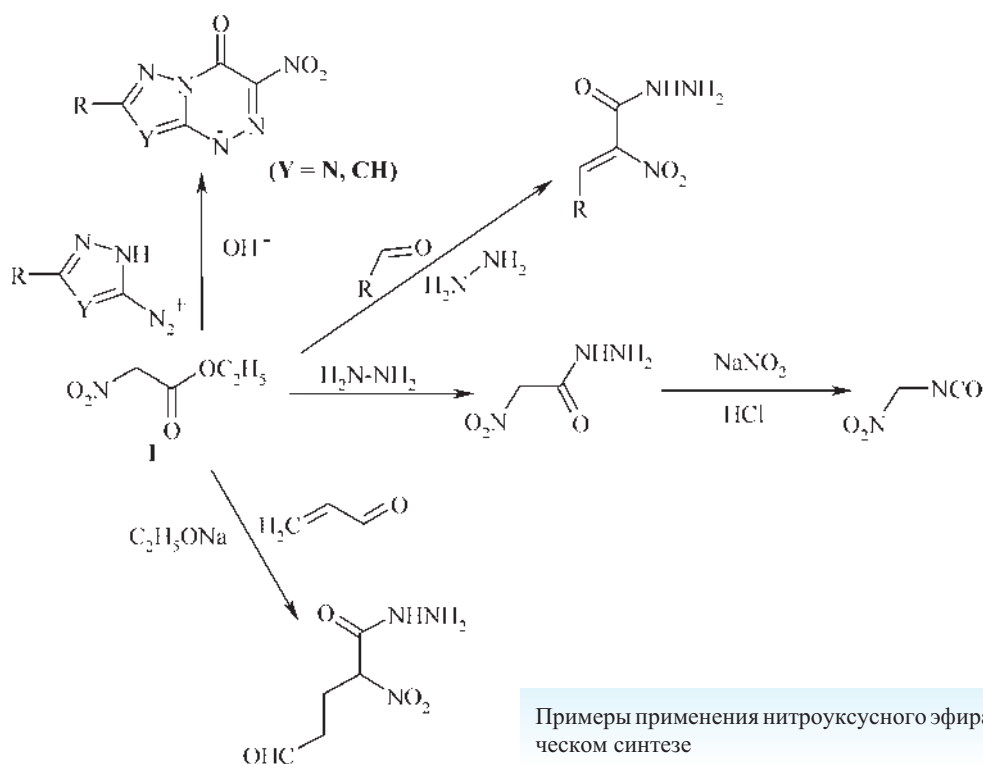
ния (I) [6–8] представлены в табл. 1. В то же время показатели пожаровзрывоопасности сложного эфира (I) отсутствуют в справочной литературе [9, 10].

Авторами проведена работа по определению показателей пожаровзрывоопасности нитроуксусного эфира (I) с использованием эмпирических, полуэмпирических и экспериментальных методов.

Таблица 1. Физико-химические свойства соединений (I) с чистотой 99,7% [6–8]

Брутто-формула (молекулярная масса, кг/кмоль; плотность, кг/м ³)	Внешний вид	$T_{кип}$, °C	Элементный состав, %				Показатель прелом- ления n_D^{20}	pK^{*1}	Спектральные данные		
			C	H	N	O			ИК (вазели- новое мас- ло), см ⁻¹	ПМП (CDCl ₃), м.д.* ²	
C ₄ H ₇ NO ₄ ($M = 133,1$; $\rho = 1199$)	Светло- желтая жидкость	94 (11 мм рт. ст.) 125* ³ (20 мм рт. ст.)	36,10	5,30	10,52	48,08	1,4243	5,82	1760, 1567	1,28 (т, 3H, CH ₃), 4,25 (кв, 2H, CH ₂), 5,20 (с, 2H, CH ₂)	

*¹ $pK = -\lg K$, где K — константа диссоциации. *² т — триплет, кв — квартет, с — синглет. *³ Определена авторами.



Примеры применения нитроуксусного эфира (I) в органическом синтезе

Расчет концентрационных пределов распространения пламени

Расчет концентрационных пределов распространения пламени (КПРП) соединения (I) при стандартной температуре (25°C) выполнен с использованием методов А, Б и В.

Метод А. Для расчета нижнего концентрационного предела распространения пламени (НКПРП) сложного эфира (I) использована формула [11]:

$$\varphi_H = 100 \cdot [h_C n_C + h_H n_H + h_O n_O + h_N n_N + h_f \Delta H_f^o + 1]^{-1}, \quad (1)$$

где n_i — число i -х атомов в молекуле этилнитроацетата;

ΔH_f^o — теплота образования этилнитроацетата;

h_i — эмпирические коэффициенты (взяты из работы [11]).

Недостающая теплота образования ΔH_f^o соединения (I) найдена по формуле (2), при этом аддитивные вклады связи j -го типа в нитроуксусном эфире (I) взяты из пособия [11]:

$$\Delta H_f^o = \sum_{j=1}^m (\Delta(\Delta H_f^o)_j \times n_j), \quad (2)$$

где n_j — число связей j -го типа в молекуле этилнитроацетата;

$\Delta(\Delta H_f^o)_j$ — аддитивный вклад связи j -го типа.

В результате расчета имеем, что для нитроуксусного эфира (I) $\Delta H_f^o = -255,18$ кДж/моль, НКПРП = 2,1 об. %.

Для определения верхнего концентрационного предела распространения пламени (ВКПРП) соединения (I) использована формула (3), но в данном случае пришлось пренебречь параметром g_k из-за отсутствия данных о его значениях для нитро- и сложноэфирной групп, а также коэффициентом h_i для N–O, N=O связей [11], остальные коэффициенты h_i взяты из работы [11]:

$$\varphi_v = \frac{100}{\sum_{i=1}^m h_i n_i + \sum_{k=1}^l g_k}, \quad (3)$$

где n_i — число связей i -го типа в молекуле этилнитроацетата;

h_i — параметр i -й связи;

g_k — параметр, учитывающий функциональные группы в молекуле.

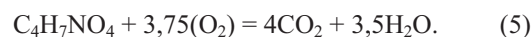
В результате расчета получено, что ВКПРП составляет 20,9 об. %.

Метод Б. Расчет осуществлен по аппроксимационной формуле [9]:

$$\varphi_H = 100/(a\beta + b), \quad (4)$$

где a, b — эмпирические коэффициенты, взяты из справочника [9];

β — коэффициент перед кислородом в реакции полного горения этилнитроацетата:



Результаты вычисления КПРП приведены в табл. 2.

Таблица 2. Показатели пожаровзрывоопасности этилнитроацетата (I)

Метод	НКПРП, %	ВКПРП, %	Примечание
А	2,1	20,9	При расчете ВКПРП не учтено влияние функциональных групп и N–O, N=O связей, поэтому в результате получено завышенное значение ВКПРП
Б	2,7	15,7	
В ₁	2,1	15,2	
В ₂	2,2	–	
В ₃	2,0	–	

Метод В. Для определения КПРП использован программный комплекс “Firex”, разработанный во ВНИИПО МЧС России. К сожалению, в нем нет возможности осуществить детальный учет химической структуры соединения (I). В частности, в “Firex” в разделе функциональных групп отсутствует нитрогруппа, также невозможно учитывать сложные классы соединений. К примеру, в нашем случае соединение (I) рассматривалось как представитель сложных эфиров, но строго говоря, нитроуксусный эфир (I) относится как к классу сложных эфиров, так и к классу нитросоединений. Тем не менее результаты расчетов КПРП этилнитроацетата (I), полученные с помощью программы “Firex”, удовлетворительно согласуются с данными методов А и Б (см. табл. 2).

Расчет максимального давления взрыва и теплоты горения

Для расчета максимального давления взрыва воспользуемся методикой, приведенной в приложении 11 ГОСТ 12.1.044–89 [12]. Данный метод расчета максимального давления взрыва газо- и паровоздушных смесей распространяется на вещества, состоящие из атомов С, Н, О, N, S, F, Cl, Br, P и Si.

Максимальное давление взрыва P_{max} , кПа, без учета степени диссоциации продуктов горения вычисляются по формуле:

$$P_{max} = \frac{P_n T_{ad} \sum_{i=1}^k m_i}{T_n \sum_{j=1}^l n_j}, \quad (6)$$

где P_n — начальное давление, при котором находится исходная смесь, $P_n = 101,3$ кПа;

T_{ad} — адиабатическая температура горения стехиометрической смеси горючего с воздухом при постоянном объеме, К;

$\sum_{i=1}^k m_i$ — сумма числа молей конечных продуктов горения;

$\sum_{j=1}^l n_j$ — сумма числа молей газообразных исходных веществ;

T_n — температура исходной смеси, $T_n = 298$ К.

Для определения адиабатической температуры горения этилнитроацетата (I) использована формула [13]:

$$Q_{nz} = \sum_{i=1}^k (V_{nz_i} c_{p_i}) T_{ad}, \quad (7)$$

где Q_{nz} — количество теплоты, затраченной на прогрев продуктов горения, кДж/моль, в нашем случае $Q_{nz} = Q_n$;

V_{nz_i} — количество i -го компонента продуктов горения, кмоль/кмоль;

c_{p_i} — удельная теплоемкость i -го компонента продуктов горения при T_{ad} , кДж/(кмоль·К).

Задача по определению T_{ad} решается методом последовательных приближений, в результате которых находится теплосодержание продуктов горения. В качестве точки сравнения используется низшая теплота сгорания.

Удельная низшая теплота сгорания этилнитроацетата (I) найдена по формуле Менделеева [14]:

$$Q_n = 339,4[C] + 1257[H] - 108,9([O] - [S]) - 25,1(9[H] + W), \quad (8)$$

где [C], [H], [O], [S], W — процентное содержание углерода, водорода, кислорода, серы и влаги в молекуле этилнитроацетата, $W = 0$.

После перевода в киломолярную удельная низшая теплота сгорания составила 1659441 кДж/кмоль.

С помощью данного метода определено, что адиабатическая температура горения нитроуксусного эфира (I) равна 2212 К. Таким образом, по уравнению (6) найдено, что максимальное давление взрыва паровоздушной смеси соединения (I) составило 882 кПа.

Расчет скорости нарастания давления при взрыве

Как видно из табл. 3 и 4 основные показатели пожаровзрывоопасности этилнитроацетата (I) близки к показателям пожаровзрывоопасности этилацетата [9]. Это обстоятельство позволяет сделать

Таблица 3. Показатели пожаровзрывоопасности этилацетата [9]

Вещество	КПВ, %	P_{max} , кПа	T_{ad} , К	МВСК, %	S_{uo} , м/с
Этилацетат	2–11,4	852,6	2213	11,7	0,39

Таблица 4. Температуры самовоспламенения соединений и их нитропроизводных [9, 10]

Соединение	$T_{сес}, ^\circ\text{C}$	Нитропроизводное	$T_{сес}, ^\circ\text{C}$	$\Delta T, ^\circ\text{C}$
Метан	537	Нитрометан	418	119
Этан	515	Нитроэтан	425	90
Пропан	470	Нитропропан	410	60
Ацетофенон	560	<i>n</i> -Нитроацетофенон	475	85
Анилин	617	2-Нитроанилин	505	112
		3-Нитроанилин	483	134
		4-Нитроанилин	497	120
Ацетанилид	540	3-Нитроацетанилид	423	117
Бензойная кислота	532	4-Нитробензойная кислота	433	99
Бензонитрил	587	3-Нитробензонитрил	275	312
Нафталин	520	1-Нитронафталин	414	106
Толуол	535	2-Нитротолуол	335	200
		3-Нитротолуол	385	150
		4-Нитротолуол	410	125
Этилацетат	446	Этилнитроацетат	312*	134
Бензол	560	Нитробензол	480	80

* Определено авторами по ГОСТ 12.1.044–89 [12].

допущение, что нормальная скорость распространения пламени для этилнитроацетата (I) будет примерно такой же, как и для этилацетата, т.е. 0,39 м/с.

По формуле (9) [11] найдена скорость нарастания давления взрыва паровоздушной смеси соединения (I) для стандартного 10-л реакционного сосуда, которая составила 15 МПа/с:

$$dP/d\tau = 81,55P_n S_n / V^{1/3}. \quad (9)$$

Расчет МВСК и минимальной флегматизирующей концентрации флегматизатора

Расчет минимального взрывоопасного содержания кислорода (МВСК) и минимальной флегматизирующей концентраций (МФК) флегматизатора для этилнитроацетата (I) выполнен по методике, предложенной Ю. Н. Шебеко с коллегами [11], с использованием уравнений (10)–(14):

$$F = \frac{C_{O_2}}{100\beta_{CO}} (h_C n_C + h_H n_H + h_O n_O + h_N n_N + h_f \Delta H_f^o) - 1, \quad (10)$$

где F — F -функция;

C_{O_2} — концентрация кислорода в воздухе, составляет 21%;

β_{CO} — коэффициент;

h_i — эмпирический коэффициент, взят из работы [11];

ΔH_f^o — теплота образования этилнитроацетата, составляет –255,18 кДж/моль (см. выше);

$$\beta_{CO} = 0,5n_C + 0,25n_H - 0,5n_O; \quad (11)$$

$$C_{МФК} = 100F / F + \gamma \left(1 + \frac{C_{O_2}}{100\beta_{CO}} \right), \quad (12)$$

где $C_{МФК}$ — минимальная флегматизирующая концентрация флегматизатора;

γ — безразмерный показатель, учитывающий химическую природу флегматизатора; для N_2 $\gamma = 1$ [11].

Концентрация горючего в смеси вычисляется по формуле:

$$C_{зф} = \frac{100 - C_{МФК}}{1 + \beta_{CO} \frac{100}{C_{O_2}}} = \frac{100 - 54,7}{1 + 1,75 \frac{100}{21}} = 4,85\%. \quad (13)$$

МВСК определяется из выражения:

$$\text{МВСК} = (100 - C_{МФК} - C_{зф}) \frac{C_{O_2}}{100}. \quad (14)$$

В результате проведенных расчетов найдено, что для соединения (I) МВСК составляет 8,5%, минимальная флегматизирующая концентрация флегматизатора (N_2) — 54,7%.

Определение температуры вспышки

Расчетный метод. В ходе экспериментов установлено, что температура кипения этилнитроацетата (I) составляет 125°C при 20 мм рт. ст. (см. табл. 1). С помощью справочных данных [15] приводим температуру кипения соединения (I) при 20 мм рт. ст. к температуре кипения при нормальном давлении (760 мм рт. ст.). В результате получаем, что температура кипения этилнитроацетата при нормальном давлении составила бы 240°C в случае, если бы он не разлагался при перегонке в этих условиях.

По формуле (15) [11] находим, что расчетная температура вспышки соединения (I) составляет 119°C:

$$t_i = a_0 + a_1 t_{кун} + \sum a_j l_j, \quad (15)$$

где a_0, a_1 — температурные пределы воспламенения, для температура вспышки $a_0 = -73,14, a_1 = 0,659$ [1, с. 11];

l_j — число структурных групп;

a_j — эмпирический коэффициент для структурных групп (взят из пособия [11]).

Экспериментальный метод. Температура вспышки этилнитроацетата (I), определенная по ГОСТ 12.1.044–89 [12] на аттестованной установке — открытый тигель, равна 113°C, расхождение с расчетным значением составило 5%.

Определение температуры воспламенения

Расчетный метод. По формуле (16) [11] рассчитана температура воспламенения соединения (I), которая составила 104°C:

$$t_{\text{вос}} = \frac{t_{\text{кин}} + 273}{1 + k(t_{\text{кин}} + 273)} - 273, \quad (16)$$

где $k = 7 \cdot 10^{-4}$ [11].

Отметим, что полученное значение температуры воспламенения нитроэтилацетата (I) оказалось меньше расчетной температуры вспышки для этого соединения. Это обстоятельство подчеркивает, что формулы (15) и (16) не имеют физической связи между собой.

Экспериментальный метод. Температура воспламенения этилнитроацетата (I), определенная на аттестованном оборудовании по ГОСТ 12.1.044–89 [12], составила 114°C, расхождение с расчетным значением не превысило 9%.

Определение температуры самовоспламенения

Расчетный метод. Отсутствие коэффициентов a и b для нитрогруппы не позволило авторам использовать методику расчета температуры самовоспламенения соединения (I) через условную среднюю длину молекулы [11]. В то же время было сделано предположение о существовании аддитивного влияния нитрогруппы на температуру самовоспламенения органических соединений. Нитрогруппа по своей физической сущности является электронно-акцепторным заместителем. Таким образом, введение нитрогруппы должно приводить к облегчению протекания реакций окисления и, как следствие, к снижению температур самовоспламенения нитросоединений по сравнению с их углеводородными аналогами. Для проверки выдвинутой гипотезы была составлена табл. 4, в которой были аккумулированы данные о температуре самовоспламенения нитросоединений и их углеводородных аналогов. Анализ табл. 4 показывает, что снижение чаще всего составляет 80–150°C. Аномальное снижение температуры самовоспламенения нитропроизводных по сравнению с исходными углеводородами до 200–312°C также имеет место. Тем не менее в качестве оценочного метода определения температуры самовоспламенения нитросоединений можно предложить следующую формулу:

$$t_{\text{свс}}^{\text{нмпо}} = t_{\text{свс}}^{\text{исх}} - 115. \quad (17)$$

Ориентировочно температура самовоспламенения нитроуксусного эфира (I) составит 341°C.

По мнению авторов, погрешность расчета по предлагаемой формуле (17) в большинстве случаев не превысит 70°C, именно такой она заложена в методе определения температуры самовоспламенения органических соединений по условной средней длине молекулы [11].

Экспериментальный метод. Температура самовоспламенения этилнитроацетата (I), определенная на аттестованном оборудовании по ГОСТ 12.1.044–89 [12], составила 312°C (атмосферное давление 750 мм рт. ст.), расхождение с расчетным значением составило 29°C или 9%.

Расчет температурных пределов распространения пламени

Метод А. По формуле (18) рассчитаны температурные пределы распространения пламени (ТПРП) для соединения (I) [11]:

$$t_i = a_0 + a_1 t_{\text{кин}} + \sum a_j l_j, \quad (18)$$

где t_i — температура вспышки, температурные пределы воспламенения; для t_n : $a_0 = -62,46$, $a_1 = 0,655$; для t_g : $a_0 = -41,43$, $a_1 = 0,723$ [11]; l_j — число структурных групп; a_j — эмпирические коэффициенты для структурных групп (взяты из пособия [11]).

Найдено, что нижний температурный предел распространения пламени (НТПРП) равен 91°C, верхний (ВТПРП) — 136°C.

Метод Б. По формуле (19) найдены ТПРП для соединения (I) [11]:

$$t_n = k t_{\text{кин}} - l, \quad (19)$$

где k и l — эмпирические константы.

Получены следующие результаты: НТПРП = 92°C, ВТПРП = 147°C.

Метод В. Расчет НТПРП выполнен с использованием зависимости [16]:

$$t_{\text{всн}} - t_n = 0,125 t_{\text{всн}} + 2. \quad (20)$$

НТПРП составил 97°C.

Экспериментальное определение способности гореть и взрываться при взаимодействии с кислородом воздуха и водой по ГОСТ 12.1.044–89 [12]

В ходе проведения серии испытаний по ГОСТ 12.1.044–89 [12] установлено, что этилнитроацетат (I) совместим с кислородом воздуха и водой, возможно их совместное хранение.

Таблица 5. Некоторые показатели этилнитроацетата (I)

Показатель	Значение*	Показатель	Значение*
Теплота образования	-255,18 кДж/моль	Низшая теплота горения	1659,4 кДж/моль
НКПРП	2,1%	ВКПРП	15,7%
НТПРП	91°C	ВТПРП	147°C
$t_{всп}$	113°C	$t_{вос}$	114°C
$t_{свс}$	312°C	$T_{ад}$	2212 К
P_{max}	882 кПа	dP/dt	15 МПа/с
МВСК	8,5%	$C_{МФК}$	54,7%
Способность гореть и взрываться при взаимодействии с кислородом воздуха	Отсутствует	Способность гореть и взрываться при взаимодействии с водой	Отсутствует

* При составлении табл. 5 авторы постарались учесть влияние возможных ошибок расчета и применили принцип наибольшей пожарной опасности. Для экспериментов по определению показателей пожаровзрывоопасности использовали образцы соединения (I) с чистой 99,7%.

Выводы

В ходе исследования расчетными, полуэмпирическими и эмпирическими методами определены

основные показатели пожаровзрывоопасности этилнитроацетата (I) (табл. 5), широко используемого в качестве реагента в органическом синтезе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент РФ № 2294936 / О. Н. Чупахин, В. Л. Русинов, Е. Н. Уломский [и др.].
2. Русинов, В. Л. Синтез и противовирусная активность 6-нитро-7-оксо-4,7-дигидроазоло-[5,1-с][1,2,4]триазинов / В. Л. Русинов, Е. Н. Уломский, О. Н. Чупахин [и др.] // Химико-фармацевтический журнал. — 1990. — № 9. — С. 41–44.
3. Ungade, H. E. Derivatives of Nitromethylamines. I. Nitromethyl Isocyanates / H. E. Ungade, L. W. Kissinger // J. Org. Chem. — 1957. — Vol. 22. — P. 1662–1664.
4. Ogura, K. A new synthesis of phenylacetic acid derivatives using methyl methylthiomethyl sulfoxide / K. Ogura, G. Tsuchihashi // Tetrahedron Lett. — 1972. — Vol. 28. — P. 663–665.
5. Bergmann, E. D. Organic Reactions. / E. D. Bergmann, R. Pappo, D. Ginsburg. — N.-Y.: J. Wiley, 1959. — Vol. 10.
6. Bordwell, F. G. The Taft Equation As Applied to Equilibrium Acidities of Nitroalkanes, $G(CH_2)_nNO_2$ / F. G. Bordwell, J. E. Bartmess // J. Org. Chem. — 1978. — Vol. 43. — № 16. — P. 3107–3110.
7. Sifniades, S. Nitration of Acetoacetate Esters by Acetyl Nitrate. A High Yield Synthesis of Nitroacetoacetate and Nitroacetate Esters / S. Sifniades // J. Org. Chem. — 1975. — Vol. 40. — № 24. — P. 3562–3566.
8. Pearson, R. Rates of Ionization of Pseudo Acids IV. Relation between Rates and Equilibria / R. Pearson, R. Dillon // J. Am. Chem. Soc. — 1953. — Vol. 75. — № 10. — P. 2439–2441.
9. Баратов, А. Н. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: Справоч. изд. в 2-х кн. / А. Н. Баратов, А. Я. Корольченко, Г. Н. Кравчук [и др.]; под ред. А. Н. Баратова и А. Я. Корольченко. — М.: Химия, 1990.
10. Корольченко, А. Я. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. Справочник в 2-х ч. / А. Я. Корольченко, Д. А. Корольченко. — М.: Пожнаука, 2004.
11. Шебеко, Ю. Н. Расчет основных показателей пожарной опасности веществ и материалов: Руководство / Ю. Н. Шебеко, В. Ю. Навценя, С. Н. Копылов [и др.]. — М.: ВНИИПО, 2002.
12. ГОСТ 12.1.044–89. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.
13. Абдурагимов, И. М. Процессы горения / И. М. Абдурагимов, А. С. Андросов, Л. К. Исаева [и др.]. — М.: ВИПТШ МВД СССР, 1984.
14. Демидов, П. Г. Горение и свойства горючих веществ / П. Г. Демидов, В. А. Шандыба, П. П. Щеглов. — М.: Химия, 1981.
15. Гордон, А. Спутник химика. Физико-химические свойства, методики, библиография / А. Гордон, Р. Форд. — М.: Мир, 1976.
16. Монахов, В. Т. Методы исследования пожарной опасности веществ / В. Т. Монахов. — М.: Химия, 1979.

Поступила в редакцию 14.08.08.



Канд. хим. наук, профессор
Уральского государственного
лесотехнического университета
В. М. Балакин



Аспирант Уральского
государственного лесотех-
нического университета
Е. Ю. Полищук



Канд. хим. наук, ведущий
инженер Уральского государ-
ственного университета
Е. М. Горбунова



Студент Уральского государ-
ственного лесотехнического
университета
А. В. Рукавишников

УДК 620.197.6

ИССЛЕДОВАНИЕ ОГНЕЗАЩИТНЫХ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФОСФОРСОДЕРЖАЩИХ КАРБАМИДОАМИНОФОРМАЛЬДЕГИДНЫХ ОЛИГОМЕРОВ

Карбаминоформальдегидные олигомеры являются дешевым и доступным продуктом. Модифицированные фосфорной кислотой они могут стать эффективными огнезащитными средствами для древесины и древесных композиционных материалов. В статье приводятся результаты исследований по синтезу фосфорсодержащей карбаминоформальдегидной смолы и ее основные физико-химические свойства.

Карбаминоформальдегидные олигомеры (КФО) являются дешевым и доступным продуктом, обладающим рядом положительных свойств. Способность КФО, наряду с хорошей адгезией к древесине, при воздействии высоких температур образовывать карбонизированный слой обусловила их использование в качестве связующего в огнезащитных красках и покрытиях [1–3].

Авторами были получены карбаминоформальдегидные смолы совместной конденсацией карбамида, формальдегида, различных алкиламинов и фосфорной кислоты, обладающих как клеящими свойствами, так и высокой огнезащитной эффективностью. Подобраны условия реакции, исключаящие гелеобразование в процессе конденсации и обеспечивающие длительную стабильность полученного водного раствора олигомера. Предполагаемая структура олигомера приведена на рис. 1.

Фосфорсодержащие карбаминоформальдегидные олигомеры (ФСКАФО) представляют собой прозрачную жидкость светло-желтого цвета, их основные физико-химические показатели приведены в таблице.

Полученный огнезащитный состав (ОЗС) обеспечивает высокую эффективность, уже при расходе

Физико-химические показатели ФСКАФО

Показатель	Значение
Плотность, кг/м ³	1,2–1,4*
Вязкость по ВЗ-4, с	15–40*
pH	1–2
Сухой остаток, %	45–59*

* Конкретное значение зависит от условий синтеза и применяемого алкиламина.

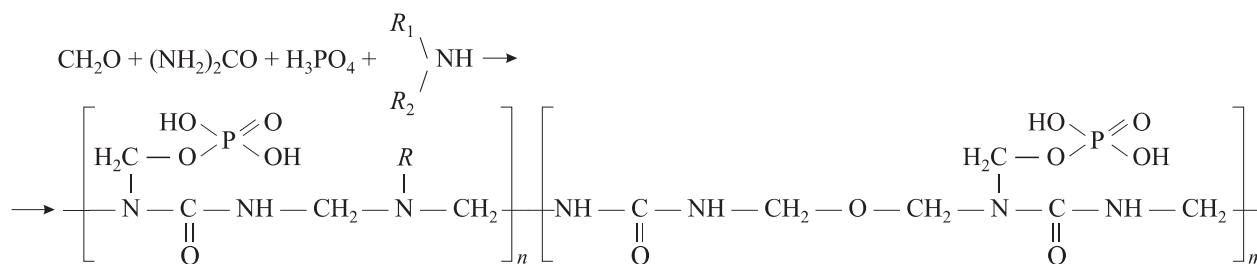


Рис. 1. Предполагаемая структура олигомера

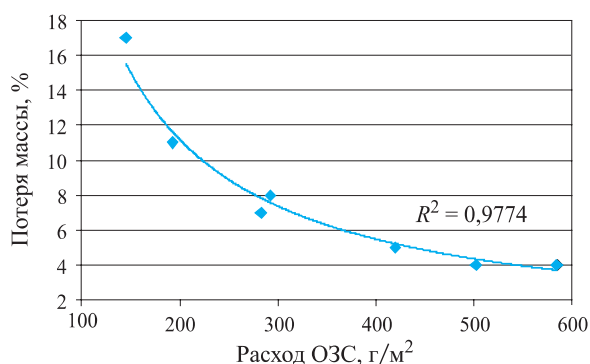


Рис. 2. Зависимость потери массы образцов древесины сосны от расхода ФСКАФО с оптимальным соотношением компонентов

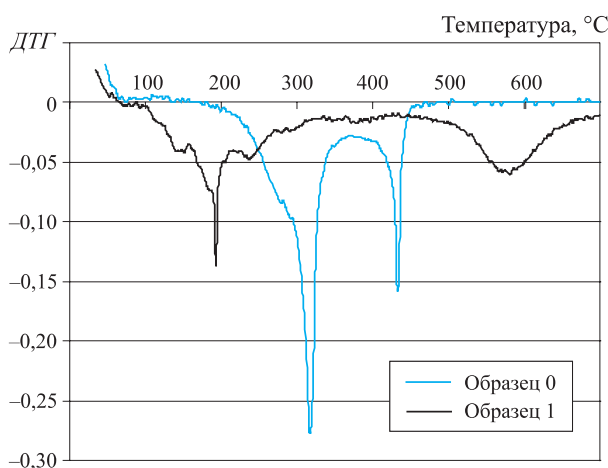


Рис. 3. Дифференциальные кривые термогравиметрического анализа: образец 0 — необработанное древесное волокно; образец 1 — волокно, обработанное ФСКАФО

свыше 100 г/м² потеря массы не превышает 20% при испытании по методу огневой трубы (рис. 2).

Механизм огнезащитного действия при термическом воздействии исследовался методами термического анализа на приборе STA 409 PC совместно с масс-спектрометрическим анализом на приборе QMS 403C.

Результаты термогравиметрического анализа приведены на рис. 3.

Анализируя результаты термического анализа, можно сделать вывод о снижении температуры начала деструкции обработанной древесины в более низкие области (у обработанной древесины потеря массы начинается со 100°C, у необработанной — около 250°C), что может объясняться дегидратирующим действием содержащейся в составе олигомера фосфорной кислоты. Кроме того, разложение обработанной древесины происходит медленнее, чем исходной. При температуре свыше 450°C разложение необработанной древесины полностью прекращается, о чем свидетельствует отсутствие измене-

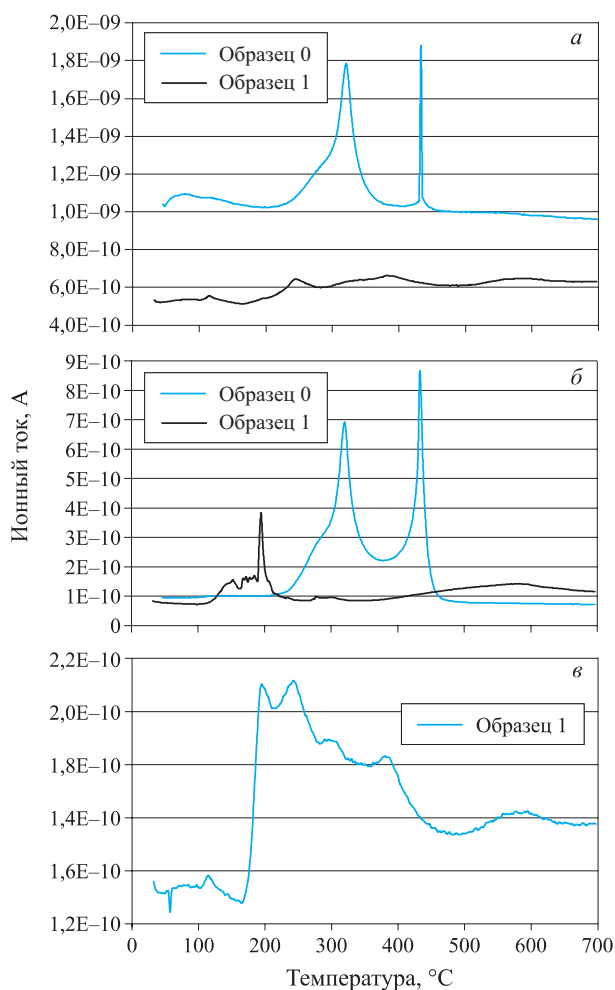


Рис. 4. Результаты масс-спектрометрии, совмещенной с термогравиметрическим анализом, продуктов термического разложения необработанной (образец 0) и обработанной ФСКАФО (образец 1) древесины: а — массовое число 18 (вода); б — массовое число 44 (углекислый газ); в — массовое число 17 (аммиак)

ния массы при температурах свыше 450°C, в то же время обработанное волокно продолжает медленно разлагаться вплоть до 700°C.

Таким образом, в реальных условиях пожара на поверхности обработанной древесины происходит образование карбонизированного слоя при температурах, далеких от температуры самопроизвольного воспламенения древесины. Как известно, процесс горения древесины является автокаталитическим, что обуславливает создание на поверхности механического барьера, препятствующего прямому воздействию пламени на древесину и доступу кислорода воздуха к неповрежденным ее слоям. Кроме того, образовавшийся на поверхности древесины негорючий обугленный слой совместно со вспученным слоем олигомера замедляют глубокий прогрев древесины. Из вышесказанного можно сделать вывод, что представленный олигомер является

эффективным ингибитором горения древесины в твердой фазе.

При осуществлении анализа газообразных продуктов разложения методом масс-спектрометрии было обнаружено выделение газов с массовыми числами 17, 18 и 44, которые соответствуют выделению соответственно аммиака, воды и углекислого газа. Результаты масс-спектрометрии приведены на рис. 4.

Как можно видеть, в результате обработки древесины выделение негорючих газов, таких как пары воды и углекислый газ, смещается в область более низких температур в сравнении с необработанной древесиной. Кроме того, при термическом разложении древесины, обработанной фосфорсодержащим олигомером, наблюдается выделение аммиака, который оказывает флегматизирующее действие на процесс ее горения.

Таким образом, за счет выделения негорючих газов при температурах свыше 100°C над поверхностью древесины наблюдается эффект разбавления, заключающийся в снижении концентрации необходимого для поддержания процесса горения кислорода воздуха в зоне горения. Также можно отметить, что выделение выше перечисленных газов происходит на протяжении всего диапазона температур, вплоть до 700°C, в то время как при разложении необработанной древесины обильное выделение углекислого газа и паров воды наблюдается в узком интервале температур — 300–450°C.

Таким образом, представленные ФСКАФО являются огнезащитными однокомпонентными составами комбинированного характера, сочетающими низкую стоимость и высокую эффективность огнезащиты.

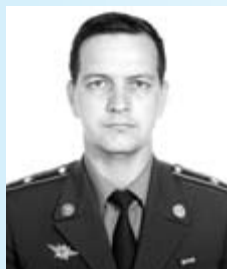
ЛИТЕРАТУРА

1. **ГОСТ 25131–82.** Покрытие по стали вспучивающееся огнезащитное ВПМ-2. Технические требования.
2. **ГОСТ 25130–82.** Покрытие по древесине вспучивающееся огнезащитное ВПД. Технические требования.
3. **Балакин, В. М.** Азот-фосфорсодержащие антипирены для древесины и древесных композиционных материалов (литературный обзор) / В. М. Балакин, Е. Ю. Полищук // Пожаровзрывобезопасность. — 2008 — Т. 17, № 2. — С. 43–51.

Поступила в редакцию 14.07.08.



Канд. техн. наук, доцент,
заместитель начальника кафедры
Общевойсковой академии
Вооруженных Сил РФ
В. И. Белицкий



Преподаватель
Общевойсковой академии
Вооруженных Сил РФ
Р. И. Аглиулин

УДК 614.8

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОЦЕНКИ ПОЖАРНОЙ ОБСТАНОВКИ В ОЧАГЕ ЯДЕРНОГО ПОРАЖЕНИЯ

Рассматривается применение географической информационно-аналитической системы при планировании мероприятий гражданской обороны и защиты населения. На примере географической информационно-аналитической системы города, отнесенного к 1-й группе по гражданской обороне, показана возможность моделирования и оценки пожарной обстановки в очаге ядерного поражения.

События последних десятилетий свидетельствуют об усилении опасной тенденции использования США и их партнерами по Организации Североатлантического договора (НАТО) силовых методов разрешения локальных и региональных конфликтов в обход общепринятых норм международного права, что приводит к обострению обстановки и наращиванию конфликтного потенциала в отдельных регионах и в мире в целом. Анализ военно-доктринальных взглядов США, стран — членов НАТО, Китая и Японии указывает на то, что в мире сохраняются условия и предпосылки, способствующие развязыванию военных действий против Российской Федерации, в том числе и с использованием ядерного оружия [1].

В этих условиях и в соответствии с законодательством Российской Федерации органы управления ГОЧС (ОУ ГОЧС) обязаны планировать и организовывать гражданскую оборону и свою деятельность при сохраняющейся вероятности применения противником ядерного оружия.

Использование географических информационно-аналитических систем (ГИАС) для анализа, картографической и атрибутивной информации с гораздо большей эффективностью позволяет решать задачу информационного обеспечения принятия решений, направленных на защиту населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, осуществлять оптимальное планирование превентивных мероприятий, повышать оперативность принятия решений, тем самым снижая показатели риска, количество возможных потерь среди населения и

материальный ущерб от ЧС природного и техногенного характера.

В рамках диссертационных исследований на факультете гражданской обороны Общевоисковой академии Вооруженных Сил РФ разработано специальное программное обеспечение ГИАС — проблемно-ориентированный специальный расчетный модуль (СРМ) “УДАР” для выявления обстановки после применения противником ядерного оружия. СРМ “УДАР” реализован в среде Microsoft Visual Basic и является средством расширения функциональных возможностей ГИС ESRI ArcGIS 9.x. Модуль разработан на основании положений справочника по поражающему действию ядерного оружия ч. 1 и 2. СРМ “УДАР” позволяет моделировать зону, где возможно возникновение пожаров, в городах, сельских населенных пунктах и массивах сухой растительности.

Под пожарной обстановкой понимаются масштабы и плотность поражения пожарами населенных пунктов, объектов и прилегающих к ним лесных массивов, оказывающих влияние на работу объектов экономики, жизнедеятельность населения, а также на ведение аварийно-спасательных и других неотложных работ (АСДНР) [2].

Масштабы и плотность поражения пожарами зависят в основном от количества, мощности и вида ядерных взрывов, времени, прошедшего с момента нанесения удара, характера застройки населенного пункта, степени его поражения, пожарной опасности производства и метеорологических условий.

Совокупность отдельных и сплошных пожаров и пожаров в завалах в очаге ядерного поражения называется массовым пожаром.

Под отдельным пожаром подразумевается пожар, возникший в отдельном здании или сооружении. Продвижение людей и техники по застроенной территории между отдельными пожарами возможно без средств защиты от теплового излучения.

Под сплошным пожаром понимается одновременное интенсивное горение преобладающего количества зданий и сооружений на данном участке застройки. Продвижение людей и техники через участок сплошного пожара невозможно без средств защиты от теплового излучения.

Сплошные пожары могут быть на участках с плотностью застройки зданиями и сооружениями IV и V степеней огнестойкости не менее 15%, III — не менее 20%, I и II — не менее 30%. Распространение пожаров на этих участках происходит в основном за счет передачи тепла излучением.

Под пожаром в завалах подразумевается пожар, возникший на участке застройки зданиями и сооружениями I, II и III степеней огнестойкости, оказавшимися в зоне полных разрушений.

Особую форму сплошного пожара представляет собой огневой шторм, характерными признаками которого являются: наличие восходящего потока продуктов сгорания и нагретого воздуха; приток свежего воздуха со всех сторон со скоростью не менее 50 км/ч по направлению к границам огневого шторма.

Огневой шторм может возникнуть после образования сплошного пожара на участке застройки площадью не менее 2,5 км², в который вписывается круг радиусом 0,9 км, при скорости приземного ветра не более 5 м/с, влажности воздуха 30% и при наличии не менее 100 кг горючих материалов (в пересчете на древесину) на 1 м² застройки. В застройке зданиями и сооружениями IV и V степеней огнестойкости огневой шторм возможен на участке 0,25 км². Участок, охваченный огневым штормом, не проходим для людей и техники.

Огневые штормы могут происходить на участках с плотностью застройки зданиями и сооружениями III, IV и V степеней огнестойкости не менее 20%.

Под плотностью пожаров в очаге ядерного поражения подразумевается процентное отношение одновременно воспламенившихся от светового излучения зданий и сооружений к их общему количеству на данном участке застройки.

В целях систематизации совокупности условий возникновения различных видов пожаров сведем их критерии в таблицу.

Условия возникновения пожаров	
Вид пожара	Условия возникновения
Отдельный	В застройке, оказавшейся в зоне возникновения пожаров
Сплошной	Степень огнестойкости зданий — IV и V, плотность застройки — не менее 15%; степень огнестойкости зданий — III, плотность застройки — не менее 20%; степень огнестойкости зданий — I и II, плотность застройки — не менее 30%
В завалах	Здания I, II и III степеней огнестойкости, оказавшиеся в зоне полных разрушений ($\Delta P_{\phi} \geq 1$ кгс/см ²)
Огневой шторм	Степень огнестойкости зданий — III, IV и V, плотность застройки — не менее 25%, площадь участка застройки — не менее 2,5 км ² , в участок застройки вписывается круг радиусом 0,9 км, скорость приземного ветра — не более 5 м/с, влажность воздуха — не более 30%

Оценка пожарной обстановки включает:

- выявление в городской застройке участков, на которых возможно образование отдельных, сплошных пожаров и огневых штормов;
- определение возможной пожарной обстановки на маршрутах ввода сил гражданской обороны и на объектах ведения АСДНР;
- определение возможных рубежей локализации сплошных пожаров;
- выявление обеспеченности города (объектов) водой для тушения пожаров;
- расчет сил и средств для противопожарного обеспечения АСДНР.

Выявление в городской застройке участков, на которых возможно образование отдельных, сплошных пожаров и огневых штормов, производится на плане города путем выделения их с помощью установленных условных обозначений. Каждому участку застройки присваивается порядковый номер. Нумерация участков производится от геометрического центра города по спирали по ходу часовой стрелки.

Определение возможной пожарной обстановки на маршрутах ввода сил гражданской обороны (ГО) и на объектах проведения АСДНР осуществляется в следующем порядке:

- вдоль маршрутов ввода сил ГО и на объектах проведения АСДНР уточняются участки, на которых могут возникнуть сплошные пожары и огневые штормы;
- уточняется возможность прохода сил ГО через участки застройки без защиты людей и техники от теплового излучения;

- с помощью условных обозначений на плане города наносятся взрывопожароопасные объекты, источники противопожарного водоснабжения и подъезды к ним, а также маршруты ввода сил ГО.

Геообработка представляет собой процесс поиска графических закономерностей в базе данных проекта ГИАС и взаимоотношений между пространственными объектами, получения новых данных в результате обработки имеющихся. Методы, которые используются для этой цели, могут быть очень простыми (в ряде случаев надо лишь создать карту, по которой возможно проводить анализ) или более сложными, включающими моделирование реального мира и обработку большого числа различных слоев данных [3].

Рассматривая вопрос применения технологии геообработки для оценки пожарной обстановки, необходимо отметить, что база данных (БД) ГИАС “УДАР” содержит массив необходимых данных. В шейп-файле (ШФ) “ЗДАНИЯ” и “ДОМА” описаны степени их огнестойкости. В ШФ “КВАРТАЛ” имеются данные о периметре, площади, плотности и преобладающей степени огнестойкости застройки каждого квартала города. В разделе “ЗАЩИТА” содержатся ШФ, в которых хранятся данные о дислокации и характеристике пожарных частей, пожарных гидрантах, пожарных пирсах, пожарных водоемах и взрывопожароопасных объектах. Все эти характеристики описаны классификатором БД ГИАС “УДАР”.

Оценка пожарной обстановки с использованием технологии геообработки будет включать несколько этапов, каждый из которых описывается соответствующим алгоритмом. Для удобства вводится система условных обозначений процедур геообработки.

На первом этапе определяются кварталы (участки) городской застройки, на которых возможно возникновение пожаров. Их генерирует специальный расчетный модуль “УДАР”. В результате создается новый полигональный модельный ШФ — “М ПОЖАР”, который содержит кварталы, попавшие в зону возникновения пожаров, следовательно, на территории этих кварталов формируются пожары различного вида. Семантическая таблица данного ШФ содержит характеристики, описанные выше, и вновь созданное текстовое поле “Вид Пожара”, в которое в дальнейшем будут внесены названия видов пожаров.

На втором этапе определяются кварталы, в застройке которых в силу определенных условий возникли сплошные пожары (см. таблицу).

Заполнение поля семантической таблицы ШФ можно выполнять различными способами. При большом количестве записей эту процедуру прово-

дят ручным способом: набором атрибута с клавиатуры с дальнейшим использованием операции “копировать – вставить”. При значительном числе записей применяют процедуру “найти – заменить”, т.е. найти пустые значения и заменить на атрибут, который один раз вводится с клавиатуры. Количество заполняемых записей не ограничено, значения вносятся автоматически с большой скоростью.

Исходя из условий возникновения сплошных пожаров, определяются участки (кварталы), на которых они образуются. Этот показатель вносится в поле “Вид Пожара” семантической таблицы ШФ “М ПОЖАР”.

На третьем этапе выявляются кварталы, в застройке которых в силу определенных условий возможны пожары в завалах (см. таблицу). Этот показатель также вносится в поле “Вид Пожара” семантической таблицы ШФ “М ПОЖАР”.

На четвертом этапе определяются кварталы, в застройке которых будут возникать огневые штормы в силу определенных условий (см. таблицу). Исходя из требований, что органы управления РСЧС и ГО обязаны рассматривать худший (более ущербный) вариант развития обстановки, в качестве допущения принимаем, что метеоусловия способствуют формированию огневого шторма.

Исходя из условий возникновения огневых штормов и принятых допущений, определяются участки (кварталы), в застройке которых они образуются. Этот показатель вносится в поле “Вид Пожара” семантической таблицы ШФ “М ПОЖАР”.

На пятом этапе определяются кварталы, в застройке которых будут наблюдаться отдельные пожары. Это все остальные кварталы, оказавшиеся в зоне возникновения пожаров и на которых не образовались сплошные пожары, пожары в завалах, огневые штормы, т.е. кварталы ШФ “М ПОЖАР”, поле семантической таблицы “Вид Пожара” которых не имеет записи (пустое). Кроме того, необходимо пронумеровать все участки и для визуального отображения полученных результатов применить категоризованный символ.

Ранжирование элементов городской застройки по видам пожаров представлено на рисунке.

Исходя из условий возникновения отдельных пожаров, определяются участки (кварталы), в застройке которых они образуются. Этот показатель вносится в поле “Вид Пожара” семантической таблицы ШФ “М ПОЖАР”. Выполняется нумерация участков и эти данные помещаются в поле “N Участка” семантической таблицы ШФ “М ПОЖАР”. Указанные значения также выносятся в виде аннотации на компоновку. К участкам пожаров по полю “Вид Пожара” применен категоризованный символ (участки в зависимости от вида



Ранжирование элементов городской застройки по видам пожаров

пожаров обозначены конкретным символом). Принятые символы необходимо вынести в качестве условных обозначений в легенду компоновки. Результаты оценки пожарной обстановки в объеме участков пожаров могут быть представлены таблицей, помещенной на компоновку проекта. В ней даются следующие характеристики: номер, периметр и площадь участка, площадь, плотность и степень огнестойкости застройки, вид пожара. Суммируя значения необходимых полей таблицы, можно определить общие показатели пожарной обстановки за год в целом.

На шестом этапе проводится оценка пожарной обстановки на маршрутах ввода сил ГО.

Путем перемещения карты уточняется обстановка вдоль маршрутов и на объектах АСДНР, опре-

деляются участки их соприкосновения с зонами сплошных пожаров и огневых штормов. В проект “УДАР” добавляются и отражаются на компоновке взрывопожароопасные объекты экономики и источники противопожарного водоснабжения.

На седьмом этапе определяются возможные рубежи локализации сплошных пожаров путем перемещения карты и визуальной оценки созданной модели с обязательной фиксацией (оцифровкой) каждого рубежа. Критерии выбора возможных рубежей локализации сплошных пожаров описаны в справочнике [2].

По результатам проведенной оценки пожарной обстановки в очаге ядерного поражения возможно формирование тематической карты и отчетов в текстовом редакторе Word.

Исследования показали, что применение ГИАС “УДАР” и функций геообработки для решения расчетных задач по моделированию и оценке возможной обстановки после применения противником ядерного оружия позволяет:

- проводить моделирование объектов и явлений, что в значительной мере расширяет возможности ГИАС в решении аналитических задач;
- органам управления ГОЧС оперативно и точно моделировать и анализировать сложившуюся обстановку;
- планировать и организовывать выполнение мероприятий по защите населения и территорий города.

Использование ГИАС “УДАР” и функций геообработки значительно сокращает время на выработку решений и повышает эффективность информационного обеспечения деятельности ОУ ГОЧС.

ЛИТЕРАТУРА

1. **ЕОСИД–2020.** Единые оперативно-стратегические исходные данные на период до 2020 года. — М.: Генеральный штаб Вооруженных Сил Российской Федерации, Центр Военно-стратегических исследований.
2. **Справочник** по противопожарной службе гражданской обороны. — М.: Воениздат МО СССР, 1982. — 144 с.
3. **Митчелл, Э.** Руководство ESRI по ГИС анализу. Т. 1. Географические закономерности и взаимодействия / Э. Митчелл. — М.: Дата+, 2001. — 190 с.

Поступила в редакцию 21.07.08.



Канд. социол. наук, доцент,
начальник Академии Государственной противопожарной службы МЧС РФ
И. М. Тетерин



Преподаватель Академии Государственной противопожарной службы МЧС РФ
А. В. Фирсов

УДК 614.841

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ АНАЛИЗА РИСКОВ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ ГРУЗОВ ПОВЫШЕННОЙ ОПАСНОСТИ. Часть 2*

Представлен научно-методический аппарат оценки ожидаемого прямого ущерба окружающей природной среде и здоровью людей на прилегающих к транспортным магистралям территориях вследствие возникновения чрезвычайных ситуаций при транспортировке грузов повышенной опасности.

В опубликованной ранее статье** авторами была предложена методика расчета скорректированных вероятностей возникновения отдельных чрезвычайных ситуаций (ЧС) в результате взаимодействия грузов повышенной опасности на отдельном участке транспортной магистрали $[AB]$. Расчет данных вероятностей является необходимым этапом оценки ожидаемых санитарных потерь и материального ущерба на территориях, прилегающих к транспортным магистралям. Несмотря на наличие общих методик оценки таких ущербов, задача их определения для транспортных магистралей имеет свою специфику. В данной статье рассматривается общая методика построения моделей оценки ущерба для линейных участков транспортных магистралей с использованием скорректированных вероятностей возникновения отдельных ЧС, предложенной авторами ранее. Дается следующий подход к оценке ущерба.

Пусть $I = \{1, 2, \dots, n\}$ — множество опасных факторов, определяющих оцениваемый ущерб. Рассмотрим некоторый участок автотранспортной магистрали $[AB]$, введя переменную l как параметр, описывающий длину участка ($a \leq l \leq b$).

Оценим математическое ожидание ущерба от возможных аварий на участке $[a, b]$ в течение периода T . Рассмотрим функцию $P(l)$ — плотность вероятности возникновения аварий на участке $[a, b]$.

Вероятность возникновения аварии на участке $[v, w]$ в период времени от момента t_1 до t_2 выражается как

$$P(v \leq l \leq w, t_1 \leq t \leq t_2) = \int_{t_1}^{t_2} \int_v^w P(x, t) dx dt.$$

Пусть S_i — некоторый параметр, характеризующий силу опасного фактора, который изменяется в пределах от S_i^0 до S_i^1 , т.е. $S_i^0 \leq S_i \leq S_i^1$.

Пусть $F_i(S)$ — функция плотности распределения силы i -го опасного фактора, т.е. вероятность того, что сила i -го опасного фактора будет в пределах от q до p , вычисляется как

$$P(q \leq S_i \leq p) = \int_q^p F_i(S) dS.$$

Пусть функция $D_i(l, S, \Omega(l, t))$ характеризует интегральный ущерб в случае, если i -й опасный фактор реализовался с силой S при аварии в точке l в момент времени t при состоянии окружающей среды Ω . Состояние окружающей среды также, в свою очередь, есть функция от координат. Тогда искомую оценку ущерба можно получить как

$$E = \sum_{i=1}^n \int_0^T \int_a^b P(l, t) \int_{S_i^0}^{S_i^1} F_i(S) D_i(l, S, \Omega(l, t)) dS dl dt,$$

где T — рассматриваемый период, равный, например, одному году.

Предлагаемый подход был конкретизирован для двух основных опасных факторов — термического и барического воздействий на окружающую среду. Возникновение каждого из данных факторов

* Продолжение. Начало см. в журнале “Пожаровзрывобезопасность” № 4 за 2008 г.

** Тетерин, И. М. Модель оценки вероятности возникновения чрезвычайных ситуаций при транспортировке грузов повышенной опасности. Часть 1 / И. М. Тетерин, А. В. Фирсов // Пожаровзрывобезопасность. — 2008. — Т. 17, № 4. — С. 37–41.

приводит, в свою очередь, к некоторому набору отрицательных последствий. Для вычисления целевой функции оценки материального ущерба в этом случае используется комплекс утвержденных методик определения стоимости: земляных работ по засыпке котлована, повреждения растительного покрова засыпкой грунтом, восстановления разрушенного участка транспортной магистрали, потерянного объема перевозимого груза, поврежденных транспортных средств, лесного и травяного покровов в результате выгорания, а также определения экологических платежей за загрязнения атмосферы продуктами горения.

При построении вероятностных моделей оценки ожидаемых ущербов учитывались конкретные факторы, влияющие как на вероятность возникновения, так и сценарийность аварий.

В I группе факторов (влияющих на вероятность возникновения аварии) рассматриваются следующие: наличие речных переходов, термокастровые и эрозийные процессы в грунтах повышенной сжимаемости, влияние редких опасных природных явлений (землетрясений, наводнений и т.п.), пересечение с другими транспортными коммуникациями (авто- и железными дорогами, трубопроводами).

Во II группу факторов (влияющих на вероятности поставарийных сценариев) включаются следующие: характеристики грунтов, пересечение с транспортными коммуникациями (авто- и железными дорогами), линиями электропередач и кабелями связи. Реализация поставарийных сценариев носит случайный характер и определяется сочетанием различных факторов: время года, вид грунта и наличие внешних источников возгорания, являющихся элементами внешней инфраструктуры.

Выше сформулирована общая постановка задачи, опирающаяся на непрерывную модель, реализуемую через вычисление кратных интегралов. Однако аналитическое выражение функций, используемых в модели, а также их аналитическое интегрирование являются весьма затруднительными. Поэтому вопрос о практической реализации вышеприведенной модели остается актуальным. Основной идеей перехода от общей модели к нижеописанному алгоритму ее реализации является аппроксимация функциональных зависимостей кусочно-постоянными функциями, как следствие, модель из непрерывной превращается в дискретную (точечную) с весьма близкими свойствами.

Основные этапы методики включают:

- выявление однородных сегментов по факторам I и II групп;
- вычисление вероятностных параметров для выделенных сегментов на основе факторов I и II групп;

- определение дополнительных узлов, исходя из особенностей прилегающей территории;
- вычисление вероятностей возникновения аварий и поставарийных сценариев на выделенных сегментах;
- оценка показателей индивидуального риска и ущербов окружающей среде и предприятиям в окрестностях выделенных узлов, которые рассматриваются в качестве источников опасных факторов.

Целевой функцией является определение фактических и ожидаемых параметров прямого ущерба и ущерба жизни и здоровью населения прилегающих территорий, интегрально получаемое через показатель индивидуального риска.

Первый этап методики, как уже было сказано, состоит в переходе от непрерывной задачи на участке автотранспортной магистрали к сеточной задаче на множество узлов $C_1, \dots, C_N, C_i \in [AB]$. Идея такого перехода заключается в том, чтобы вместо оценки ущербов от возникновения ЧС на $[C_i, C_{i+1}]$ оценить возможность ущерба от возникновения ЧС в узле C_i , приписав этому событию вероятность, равную вероятности возникновения ЧС на $[C_i, C_{i+1}]$. Чтобы такой переход был оправдан, множество узлов должно строиться по определенным правилам, которые приводятся ниже.

Исходным предположением относительно вероятности возникновения ЧС на определенном участке транспортной магистрали служит то, что годовое количество аварий на участке протяженностью L является стационарным потоком однородных событий.

Напомним, что свойство стационарности характеризуется тем, что вероятность возникновения ЧС в количестве K на любом участке зависит только от числа K и протяженности этого участка L .

Кроме этого предполагается, что возникновение ЧС на одном участке не сказывается на вероятности возникновения ЧС на других участках, другими словами, исходят из взаимной независимости той или иной ЧС на непересекающихся участках транспортных магистралей.

Авторы также полагают, что вероятность появления более одного события пренебрежительно мала по сравнению с вероятностью появления только одного события (ЧС) на некотором участке транспортной магистрали.

Вышеперечисленные предположения позволяют описать вероятность появления ЧС на участках транспортной магистрали с помощью распределения Пуассона. Согласно этому закону вероятность

появления K аварий на участке протяженностью L определяется формулой:

$$P_L(K) = (\lambda L)^K e^{-\lambda L} / K !.$$

Параметр распределения λ называется интенсивностью потока и определяет среднее число аварий, которые происходят за год на участке транспортной магистрали единичной длины.

Вероятность появления хотя бы одной аварии за год на участке протяженностью L определяется как

$$P_L(K \geq 1) = 1 - e^{-\lambda L}.$$

Однако следует оговориться, что хотя мы и пришли к выводу о возможности использования распределения Пуассона для описания числа аварий на участке транспортной магистрали, это относится к участкам с одинаковой интенсивностью потока аварий λ . Закон, вообще говоря, не применим ко всему участку. В силу этого обстоятельства цель этапа I — разбить участки на такие сегменты, на которых интенсивность потока аварий можно считать постоянной, и, следовательно, применять соответствующее распределение Пуассона для данных сегментов.

Факторы, влияющие на интенсивность потока аварий, отнесены авторами к I группе и перечислены выше. Выделим на $[AB]$ некоторое количество узлов R_i таким образом, чтобы локализовать участки с повышенной интенсивностью потока аварий.

Конкретные влияния факторов I группы определяются согласно вероятности коэффициентовращения K_ϕ к некоторой средней региональной интенсивности $\lambda_{рег}$.

Таким образом, интенсивность потока аварий для сегмента с присутствием некоторого фактора I группы выражается следующим образом:

$$\lambda_c = K_\phi \lambda_{рег}.$$

Для каждого выделенного сегмента можно вычислить вероятность возникновения аварий в течение года по выражению $1 - e^{-\lambda_c L_i}$, где $L_i = [C_i, C_{i+1}]$ — протяженность сегмента.

Далее для каждого выделенного сегмента и для каждого вида ЧС вычисляются дополнительные вероятности взаимодействия QN и QM согласно методике, описанной ранее в первой части статьи**.

Поступила в редакцию 11.08.08.



Д-р техн. наук,
главный научный сотрудник
ФГУ ВНИИПО МЧС РФ
Л. П. Вогман



Аспирант Московского
государственного
строительного университета
П. В. Шмурнов

УДК 614.841.3

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СИСТЕМ МЕСТНЫХ ОТСОСОВ. РАСЧЕТНЫЕ МЕТОДЫ

Предложены расчетные методы определения расхода воздуха в системах различных технологических процессов, совместимости веществ в общих каналах местных отсосов и их способности конденсироваться. Разработана программа использования методики, позволяющая автоматизировать расчеты и выбрать вариант исполнения системы местных отсосов.

Пожаровзрывоопасность объектов обуславливается количеством и физико-химическими свойствами горючих веществ и материалов, обращающихся в технологических процессах, особенностями технологических процессов, видами и исполнением оборудования.

При авариях в помещениях взрывоопасные среды возникают в первую очередь вблизи места утечки или выброса горючих веществ и материалов, а затем могут распространяться по всему помещению.

Для локализации утечек и выбросов горючих веществ и материалов и предотвращения пожаров и взрывов наряду с общеобменной вытяжной и аварийной вентиляцией применяют местные отсосы, которые устанавливают в местах генерации пожаровзрывоопасных сред.

Требования пожарной безопасности к системам местных отсосов сформулированы в СНиП 2.04.05–91* [1].

Системы местных отсосов горючих газо-, паро- и пылевоздушных смесей проектируют отдельно от системы общеобменной вентиляции. Удаление горючих газов, паров и пылей от технологического оборудования предусматривается отдельным для веществ, объединение которых в одном канале может образовать горючую смесь или создать пожаровзрывоопасные соединения. Экспериментальные и аналитические данные по совместимости веществ (с точки зрения пожаровзрывоопасности) в системах местных отсосов при температуре до 50°C представлены в работе [2].

При отсутствии экспериментальных данных химическая совместимость веществ может быть определена расчетом стандартной энергии Гиббса

[3, 4], которая является мерой реакционной способности реагирующих веществ и может быть определена из справочной литературы [5, 6].

Реакции между веществами, сопровождающиеся большой потерей энергии Гиббса, протекают самопроизвольно (без затрат работы извне и до конца) и приобретают характер активного взаимодействия. В этих реакциях изменение энергии Гиббса отрицательно, т.е. в исходном состоянии системы (реагирующих веществ) она больше, чем в конечном (продуктов реакции).

Реакции, протекающие с затратой работы, не способны идти самопроизвольно, энергия Гиббса для них положительна.

По стандартным энергиям Гиббса образования продуктов реакции исходных веществ можно вычислить энергию химической реакции, соответствующую изменению стандартной энергии Гиббса, сопровождающей данный процесс. Изменение стандартной энергии Гиббса при реакции равно разности между суммой стандартных энергий Гиббса образования продуктов реакции и суммой стандартных энергий Гиббса образования исходных веществ:

$$\Delta\tau^o = \sum_i^n \nu_i (\Delta\tau_f^o)_{\text{прод}} - \sum_j^n \nu_j (\Delta\tau_f^o)_{\text{исх}},$$

где $(\Delta\tau_f^o)_{\text{прод}}$, $(\Delta\tau_f^o)_{\text{исх}}$ — энергия Гиббса образования конечных продуктов и исходных веществ, участвующих в реакции, соответственно; ν_i , ν_j — стехиометрические коэффициенты для i -го конечного продукта и j -го исходного вещества, участвующих в реакции, соответственно;

m, n — число исходных веществ и продуктов реакции соответственно.

Критерием самопроизвольного процесса в нестандартных условиях принимается условие $\Delta\tau^{\circ} \ll 0$, тогда при расчетах можно пользоваться значениями стандартной энергии Гиббса. Критерием невозможности процесса (т.е. совместимости веществ) принимается неравенство $\Delta\tau^{\circ} \gg 0$.

В качестве критической величины, определяющей совместимость или несовместимость веществ, принимается $\Delta\tau^{\circ} = -41,8$ кДж/моль. Если расчетом получено $\Delta\tau^{\circ} < -41,8$ кДж/моль, то реакция возможна не только в стандартных, но и в нестандартных условиях. При значениях $\Delta\tau^{\circ}$ от $-41,8$ до $+41,8$ кДж/моль вещества следует относить к пожароопасным и несовместимым в системах местных отсосов. Если $\Delta\tau^{\circ} > +41,8$ кДж/моль, то процесс взаимодействия веществ невозможен как в стандартных, так и в иных условиях, и они совместимы.

В качестве примера рассмотрим возможность использования негорючего окислителя триоксида хрома Cr_2O_3 и ацетона $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ в одной или отдельных линиях местных отсосов [2, 4].

Реакция между этими веществами протекает по уравнению:



Из справочных данных находим следующие стандартные энергии Гиббса образования веществ $\Delta\tau^{\circ}$, кДж/моль:

Триоксид хрома (твердое вещество) Cr_2O_3	-513,8
Оксид хрома (твердое вещество) Cr_2O_3	-1059,7
Ацетон (жидкость) $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$	-155,5
Диоксид углерода (газ) CO_2	-394,6
Вода (газ) H_2O	-237,4

Согласно приведенному выше уравнению имеем:

$$\begin{aligned} \Delta\tau^{\circ} &= 8(\Delta\tau_f^{\circ})_{\text{Cr}_2\text{O}_3} + 9(\Delta\tau_f^{\circ})_{\text{CO}_2} + (\Delta\tau_f^{\circ})_{\text{H}_2\text{O}} - \\ &- 16(\Delta\tau_f^{\circ})_{\text{Cr}_2\text{O}_3} - 3(\Delta\tau_f^{\circ})_{\text{C}_3\text{H}_6\text{O}} = \\ &= -8 \cdot 1057,9 - 9 \cdot 394,6 - 9 \cdot 237,4 + \\ &+ 16 \cdot 513,8 + 3 \cdot 155,5 = -5463 \text{ кДж}. \end{aligned}$$

На 1 моль смеси энергия Гиббса составит:

$$\Delta\tau^{\circ} = -\frac{5463}{19} = -287,5 \text{ кДж/моль},$$

$$\Delta\tau^{\circ} \ll -41,8 \text{ кДж/моль}.$$

Следовательно, местные отсосы для рассматриваемых веществ должны быть изолированными друг от друга.

При отсутствии сведений о совместимости веществ в технической документации (технологической части проекта), показателей эксперимен-

тальных исследований [2] и расчетов энергии Гиббса допускается руководствоваться требованиями пожарной безопасности по совместному хранению веществ и материалов, установленными ГОСТ 12.1.004–91 [7] и ППБ 01–03 [8]). Вещества опасные и особо опасные (см. табл. 15–17 [7] и 4–6 [8] позиции 3 и 4) нельзя использовать совместно в местных отсосах. Например, ядовитые газы окисляющие, едкие и коррозионные (класс 2, подкласс 2.2, категория 224 по ГОСТ 19433–88 [9]) нельзя использовать в местных отсосах совместно с едкими и коррозионными легковоспламеняющимися жидкостями (ЛВЖ) с температурой воспламенения от -18 до $+23^{\circ}\text{C}$.

В то же время вещества и материалы, отмеченные в табл. 15–17 [7] или 4–6 [8] значком “+” являются совместимыми друг с другом: едкие, коррозионные кислоты, слабые окислители (категория опасности 818 [9]) можно удалять по одному каналу местного отсоса совместно с ядовитыми газами (категория 616, 915 [9]).

Следует отметить, что в соответствии с программой ВНИИПО МЧС России “Совместимость веществ и материалов” в институте имеется банк данных 2000 веществ по их совместимости друг с другом и другими веществами с указанием условий их совместимости (несовместимости).

Если удаляемые горючие вещества способны конденсироваться или накапливаться в воздухопроводах или вентиляционном оборудовании, то для таких веществ системы местных отсосов должны быть изолированными для каждого помещения или каждой единицы оборудования. Образующиеся в оборудовании и воздухопроводах отложения должны быть проверены на склонность к самовозгоранию и при необходимости должны быть определены условия теплового самовозгорания для установления периодичности очистки технологического оборудования от отложений.

Возможность конденсации при удалении паровоздушных смесей ЛВЖ, горючих жидкостей (ГЖ) и окислителей системами местных отсосов определяется температурой точки росы t_p , которую следует сопоставить с минимальной температурой перемещаемой паровоздушной смеси t_{\min} [10] (принимается равной температуре наружного воздуха t_n , $^{\circ}\text{C}$, для холодного периода года по параметрам Б приложения 8 [1]).

Параметр t_{\min} в системе местных отсосов с резервным вентилятором определяется по формуле:

$$t_{\min} = t_n + (t_e - t_n) \exp\left(-0,09 \frac{l}{ud}\right), \quad (1)$$

где t_e — начальная температура паровоздушной смеси в системе местных отсосов, $^{\circ}\text{C}$, принима-

ется по технологическим данным или по приложению 2 [1] для рабочей зоны помещения и для холодного периода года;

l — длина воздуховода за пределами отапливаемой зоны здания, м;

d — диаметр воздуховода за пределами отапливаемой зоны здания, м;

u — скорость паровоздушной смеси в воздуховоде за пределами отапливаемой зоны здания, м/с.

Величина t_{\min} в системе местных отсосов без резервного вентилятора принимается равной температуре наружного воздуха для холодного периода года по параметрам Б приложения 8 [1].

Температуру точки росы t_p для паров ЛВЖ и окислителей в удаляемой паровоздушной смеси следует принимать по справочным данным [11–13] в зависимости от парциального давления P , кПа, паров ЛВЖ, ГЖ и окислителей.

Параметр t_p в зависимости от парциального давления допускается определять по преобразованному уравнению Антуана:

$$t_p = \frac{B}{A - \lg P} - C, \quad (2)$$

где A, B, C — константы уравнения Антуана, соответствующие размерности P , кПа, принимаются по справочным данным [14] или по таблице приложения [15].

Парциальное давление ЛВЖ, ГЖ и окислителей определяется по формуле:

$$P = 1,013 \cdot 0,5\phi_o, \quad (3)$$

где ϕ_o — нижний концентрационный предел распространения пламени (НКПР), об. %, определяется экспериментально по ГОСТ 12.1.044–91 [16] или принимается по справочным данным [17, 18].

Если t_{\min} перемещаемой паровоздушной смеси ниже t_p паров ЛВЖ, ГЖ и окислителей, то конденсация возможна и их удаление следует осуществлять системой местных отсосов отдельно от других систем. Если t_{\min} перемещаемой паровоздушной смеси выше t_p , то конденсация паров не происходит и эвакуацию их можно осуществлять по одному каналу местных отсосов при условии выполнения требований ГОСТ [1] и их совместимости [1, 2].

Минимальный расход воздуха в местных отсосах, обеспечивающий удаление горючих газов, паров, аэрозолей и пыли с концентрацией, не превы-

шающей 50% НКПР при температуре удаляемой смеси, определяется по формуле:

$$q = 2m/k, \quad (4)$$

где k — НКПР вещества при температуре удаляемой смеси, кг/м³;

m — скорость поступления взрывоопасного вещества в местный отсос, кг/с.

Количество взрывоопасных веществ m , поступающих в местный отсос в единицу времени, определяется на основании результатов испытаний или рассчитывается по приведенным ниже соотношениям в зависимости от их агрегатного состояния, физико-химических свойств и условий применения.

Расход воздуха в воздуховодах, к которым присоединяются местные отсосы, определяется в соответствии с выражением:

$$Q = \sum_1^n q_i, \quad (5)$$

где n — количество местных отсосов, присоединяемых к воздуховоду.

Для герметично закрытых аппаратов с неразъемными и разъемными соединениями, работающими под давлением, утечка паров и газов через неплотности аппаратов и соединений, кг/с, рассчитывается по формуле:

$$m_y = KCV\sqrt{M/T_{расч}}, \quad (6)$$

где K — коэффициент, учитывающий степень износа производственного оборудования, принимается в пределах от 1 до 2;

C — коэффициент, зависящий от давления паров и газов в аппарате и принимаемый по табл. 1; V — внутренний (свободный) объем аппаратов и коммуникаций, находящихся под давлением, м³; M — молярная масса газов или паров, находящихся под давлением в аппаратах, кг/кмоль; $T_{расч}$ — температура паров или газов, находящихся в аппаратах, К.

Количество паров и газов, кг/с, выделяющихся через сальниковые уплотнения одного насоса, принимается в соответствии с табл. 2 или рассчитывается по формулам:

- для поршневых насосов, перекачивающих легкие, холодные нефтепродукты:

$$m_n = 2,78 \cdot 10^{-5} pA\sqrt{P}, \quad (7)$$

где p — периметр штока насоса, м;

Таблица 1. Значение коэффициента C (формула (6))

Рабочее давление P , кПа (ати)	Менее 101 (1)	101 (1)	606 (6)	1616 (16)	4040 (40)	16160 (160)	40400 (400)	101000 (1000)
C	$3,36 \cdot 10^{-5}$	$4,61 \cdot 10^{-5}$	$5,06 \cdot 10^{-5}$	$5,25 \cdot 10^{-5}$	$7,00 \cdot 10^{-5}$	$8,28 \cdot 10^{-5}$	$8,78 \cdot 10^{-5}$	$1,03 \cdot 10^{-4}$

P — рабочее давление, создаваемое насосом, кПа;
 A — коэффициент, принимаемый равным 5 для высоколетучих жидкостей и 2,5 — для обычных бензинов и керосинов;

- для центробежных насосов при перекачке легких жидкостей:

$$m_{ц} = 1,57 \cdot 10^{-7} \cdot d \rho_{жс} \sqrt{P}, \quad (8)$$

где d — диаметр вала насоса, м;

$\rho_{жс}$ — плотность жидкости, кг/м³.

Масса водорода, образующаяся в единицу времени при зарядке нескольких батарей, рассчитывается по формуле:

$$m_n = 1,04 \cdot 10^{-8} \left(1 + \frac{T_{расч}}{273} \right) \sum_1^k I_i N_i, \quad (9)$$

где $T_{расч}$ — расчетная температура, К;

I_i — максимальный зарядный ток i -й батареи, А;

N_i — количество аккумуляторных элементов в i -й батарее;

k — число аккумуляторов.

Выражение (9) применяется для аккумуляторов, не снабженных системой рекомбинации водорода. Если аккумуляторы снабжены указанной системой, то скорость поступления водорода принимается по данным предприятия-изготовителя.

Скорость поступления паров при испарении с поверхности разлитой жидкости, не нагретой выше температуры окружающей среды, или из открытых емкостей определяется по формуле:

$$m_{жс} = 10^{-6} \eta \sqrt{MP_n F_{жс}}, \quad (10)$$

где η — коэффициент, принимаемый по табл. 3 в зависимости от скорости и температуры воздушного потока над поверхностью испарения;

M — молярная масса, кг/кмоль;

P_n — давление насыщенного пара при расчетной температуре жидкости, кПа;

$F_{жс}$ — площадь испарения, м².

Таблица 2. Количество паров и газов на один насос, выделяющихся через сальниковые уплотнения

Перекачиваемые продукты	Вещества, характеризующие утечку	Расход, 10 ⁻⁴ кг/с
Темные нефтепродукты при температуре 100–350°C	Тяжелые углеводороды	1,39
Светлые нефтепродукты при температуре до 60°C	Легкие углеводороды	2,78
Сжиженные газы	Бутан-бутилен	9,94
Раствор масла в толуоле	Пары толуола	0,403
Бензол	Пары бензола	1,25

Площадь испарения с поверхности разлившейся жидкости принимается исходя из расчета, что 1 л смесей и растворов, содержащих 70 мас. % и менее растворителей, разливается на площади 0,5 м², а для остальных жидкостей и сжиженных углеводородных газов (СУГ) — 1 м².

Площадь испарения при наличии преград, препятствующих растеканию жидкостей, принимается равной площади, ограниченной бортиками или другими ограждениями, если будет обосновано, что указанные преграды выполняют свои функции при возникновении аварии.

Давление насыщенных паров легковоспламеняющихся и горючих жидкостей при расчетной температуре воздушного потока определяют по уравнению:

$$P_n = \left(10^{\frac{A - \frac{B}{C + T_{расч}}}{}} \right) \chi, \quad (11)$$

где A, B, C — константы уравнения Антуана, принимаются по справочным данным [16–18];

$T_{расч}$ — расчетная температура воздушного потока, °С;

χ — объемная доля горючей жидкости в смеси (для чистых горючих жидкостей $\chi = 1$).

Интенсивность испарения при проливе СУГ, кг/(м²·с), при температуре подстилающей поверхности от –15 до +40°C допускается рассчитывать по формуле:

$$m_{СУГ} = \frac{10^{-3} M}{L_{исп}} (T_0 - T_{жс}) \left(\frac{0,2 \lambda_{мв}}{\sqrt{\pi \alpha}} + \frac{5,1 \lambda_{в} \sqrt{Re}}{d} \right), \quad (12)$$

где M — молярная масса СУГ, кг/кмоль;

$L_{исп}$ — мольная теплота испарения СУГ при его начальной температуре $T_{жс}$, Дж/моль;

T_0 — начальная температура материала, на поверхность которого разливается СУГ, соответствующая расчетной температуре, К;

$T_{жс}$ — начальная температура СУГ, К;

$\lambda_{мв}$ — коэффициент теплопроводности материала, на поверхность которого разливается СУГ, Вт/(м·К);

Таблица 3. Зависимость коэффициента η от температуры и скорости воздушного потока

Скорость воздушного потока, м/с	Значение коэффициента η при температуре воздуха в помещении t , °С				
	10	15	20	30	35
0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
0,1	3,0	2,6	2,4	1,8	1,6
0,2	4,6	3,8	3,5	2,4	2,3
0,5	6,6	5,7	5,4	3,6	3,2
1,0	10,0	8,7	7,7	5,6	4,6

α — эффективный коэффициент температуропроводности материала, на который разливается СУГ, м²/с;

$Re = ud/v$ — число Рейнольдса;

u — скорость воздушного потока, м/с;

d — характерный размер (наибольшая длина поверхности испарения), м;

ν — кинематическая вязкость воздуха при расчетной температуре, м²/с;

$\lambda_{\text{в}}$ — коэффициент теплопроводности воздуха при расчетной температуре, Вт/(м·К).

Значение НКПР, кг/м³, для заданных веществ и материалов определяется по справочным данным или рассчитывается по формуле:

$$k = \frac{\varphi M}{100V_o(1 + 0,00367T_{\text{расч}})}, \quad (13)$$

где φ — НКПР при расчетной температуре, об. %;
 V_o — мольный объем, равный 22,413 м³/кмоль.

НКПР при расчетной температуре определяется по выражению:

$$\varphi = \varphi_o \left(1 - \frac{T_{\text{расч}} - T_0}{1550 - T_0} \right), \quad (14)$$

где $T_{\text{расч}}$ — расчетная температура, К;

T_0 — температура, при которой определен НКПР, К;

φ_o — НКПР, об. %, определяется экспериментально по ГОСТ 12.1.04–9 [16] или принимается по справочным данным [17, 18].

Давление взрыва, кПа, создаваемое при сгорании горючих веществ в помещении, рассчитывается по выражению:

$$\Delta P = \frac{1,19 \cdot 10^{-4} M_i H_i Z_i}{V_n}, \quad (15)$$

где M_i — масса i -го вещества, поступающего в помещение в течение 1 ч, кг;

$$M_i = 3600m_i, \quad (16)$$

m_i — масса i -го вещества, поступающего в помещение в единицу времени, кг/с;

H_i — теплота сгорания i -го вещества, Дж/кг;

Z_i — коэффициент участия i -го вещества во взрыве (определяется по табл. 2 НПБ 105–03 [19]);

V_n — объем помещения, м³.

Если время поступления вещества меньше 1 ч, то в формулу (15) вместо M_i следует подставлять массу этого вещества.

При $\Delta P > 5$ кПа помещение является взрывопожароопасным и относится к категории А или Б [19] в зависимости от вида обращающихся в нем веществ и материалов. При $\Delta P \leq 5$ кПа помещение не является взрывопожароопасным и относится к категориям В1–В4 (рассчитывается согласно [19]) или Г, Д.

Далее определяется концентрация горючих веществ, кг/м³, образующаяся в помещении при остановке вентилятора местных отсосов и продолжающейся работе технологического оборудования:

$$k_n = M_i/V_n. \quad (17)$$

Вычисляется отношение:

$$\Psi = k_n/k \quad (18)$$

и определяется необходимость оборудования систем местных отсосов резервным вентилятором.

Плотность горючих веществ по отношению к воздуху определяется по формуле:

$$\nu = \rho/\rho_{\text{в}}, \quad (19)$$

где ρ — плотность горючего вещества при расчетной температуре, кг/м³;

$\rho_{\text{в}}$ — плотность воздуха при расчетной температуре, принимается равной 1,2 кг/м³.

Плотность горючих веществ берется из справочной литературы или рассчитывается по формуле (для газов и паров):

$$\rho = \frac{M}{V_o(1 + 0,00367T_{\text{расч}})},$$

тогда формула (19) будет иметь вид:

$$\nu = \frac{M}{1,2V_o(1 + 0,00367T_{\text{расч}})}. \quad (20)$$

По величине ν определяется необходимость устройства подъема воздуховода. Необходимость устройства уклона определяется возможностью конденсации.

Выводы

Разработанная методика оценки пожарной опасности местных отсосов позволяет выполнить расчеты и определить расход воздуха, возможность взаимодействия горючих смесей друг с другом или их конденсации в воздуховодах, осуществить выбор электрооборудования и, наконец, установить, должна ли система местных отсосов быть автономной от общеобменной вентиляции и имеется ли необходимость в установке аварийного вентилятора.

ЛИТЕРАТУРА

1. **СНиП 2.04.05–91***. Отопление, вентиляция и кондиционирование.
2. **Вогман, Л. П.** Исследования химической совместимости паров горючих жидкостей и окислителей / Л. П. Вогман, В. А. Зуйков, Е. В. Капишников [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. — 2002. — Т. 11, № 1. — С. 22–28.

3. **Монахов, В. Т.** Методы исследования пожарной опасности веществ / В. Т. Монахов. — М.: Химия, 1972. — 416 с.
4. **Саушев, В. С.** Пожарная безопасность хранения химических веществ / В. С. Саушев. — М.: Сройиздат, 1982. — 127 с.
5. **Карапетьянц, М. Х.** Основные термодинамические константы неорганических и органических веществ / М. Х. Карапетьянц, П. Л. Карапетьянц. — М.: Химия, 1968. — 472 с.
6. **Рабин, В. А.** Термодинамические свойства веществ / В. А. Рабин, А. М. Остроумов // Справочник. — Л.: Химия, 1977. — 389 с.
7. **ГОСТ 12.1.004–91***. Пожарная безопасность. Общие требования.
8. **НПБ 01–03.** Правила пожарной безопасности в Российской Федерации.
9. **ГОСТ 19433–88.** Грузы опасные. Маркировка и классификация.
10. **Литвинова, Г. Ж.** Пожарная безопасность систем местных отсосов / Г. Ж. Литвинова, А. Н. Белоусов // Пожаровзрывобезопасность. — 2004. — Т. 13, № 3. — С. 13–21.
11. **Стэл, Д. Р.** Таблицы давления паров индивидуальных веществ / Д. Р. Стэл. — М.: Иностранная литература, 1949. — 72 с.
12. **Варгафтик, Н. Б.** Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей / Н. Б. Варгафтик. — М.: Наука, 1972. — 720 с.
13. Физико-химические свойства индивидуальных углеводородов (рекомендуемые значения). — М.: Гостоптехиздат, 1960. — 412 с.
14. Справочник химика. Т. 1. — М.: Химия, 1966.
15. **Пособие по применению НПБ 105–95** “Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности” при рассмотрении проектно-сметной документации”. — М.: ВНИИПО, 1998. — 119 с.
16. **ГОСТ 12.1.044–91.** Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.
17. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения / Под ред. А. Н. Баратова и А. Я. Корольченко // Справ. изд. в 2 кн. — М.: Химия, 1990.
18. **Корольченко, А. Я.** Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения / А. Я. Корольченко, Д. А. Корольченко // Справ. изд. в 2 кн. — М.: Познака, 2000.
19. **НПБ 105–03.** Определение категорий помещений, зданий и наружных установок зданий по взрывопожарной и пожарной опасности.

Поступила в редакцию 12.08.08.



Д-р техн. наук, профессор, начальник кафедры Академии Государственной противопожарной службы МЧС РФ
С. С. Воевода



Соискатель Академии Государственной противопожарной службы МЧС РФ
А. В. Маркеев

УДК 614.84.664

ВЛИЯНИЕ ЖЕСТКОСТИ ВОДЫ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТУШЕНИЯ СПИРТСОДЕРЖАЩИХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ТОПЛИВ

Описано влияние жесткости воды на эффективность тушения топлив с низким содержанием спиртов. Рассчитана критическая интенсивность подачи пены при тушении дистиллированной, пресной жесткой, пресной мягкой и соленой морской водой.

На огнетушащую эффективность пены влияют различные факторы, в том числе жесткость воды, на которой приготовлен рабочий раствор. Известны случаи, когда при проведении экспериментальных опытов пена, полученная из испытуемого пенообразователя, имела хорошую огнетушащую эффективность, а при тушении реального пожара используется вода с другим составом солей, поэтому огнетушащая эффективность пен, приготовленных на воде различной жесткости, отличается. На рис. 1 представлены зависимости времени ту-

шения топлива, содержащего 95% изооктана и 5% этилового спирта.

При тушении дистиллированной и пресной мягкой водой критическая интенсивность подачи пены составляет около $0,019 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$. При интенсивности подачи пены $0,04 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ время тушения составляет 50 с для пресной мягкой воды и около 65 с — для дистиллированной воды. Критическая интенсивность подачи пены, приготовленной на пресной жесткой воде, составляет $0,02 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$. Для сравнения с предыдущими случаями при заданной интенсивности подачи пены около $0,04 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ время тушения составляет примерно 87 с. Резкое увеличение критической интенсивности подачи пены (свыше $0,03 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$) происходит при переходе на соленую морскую воду. При интенсивности подачи пены около $0,04 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ время тушения составляет более 150 с. Анализируя данный график и пленкообразующую способность пены (рис. 2), можно сделать вывод о том, что существенное снижение огнетушащей эффективности пены произошло при утрате пленкообразующей способности, в данном случае — это пена, приготовленная на соленой воде.

На рис. 3 представлены зависимости времени тушения топлива, содержащего 90% изооктана и 10% этилового спирта.

Значение жесткости воды для первой системы получается более ощутимым, чем для второй. Это говорит о большей или меньшей степени влияния различных факторов при тушении. Так, для углеводородных топлив на эффективность тушения в большей степени влияет пленкообразующее действие пены. При тушении дистиллированной и прес-

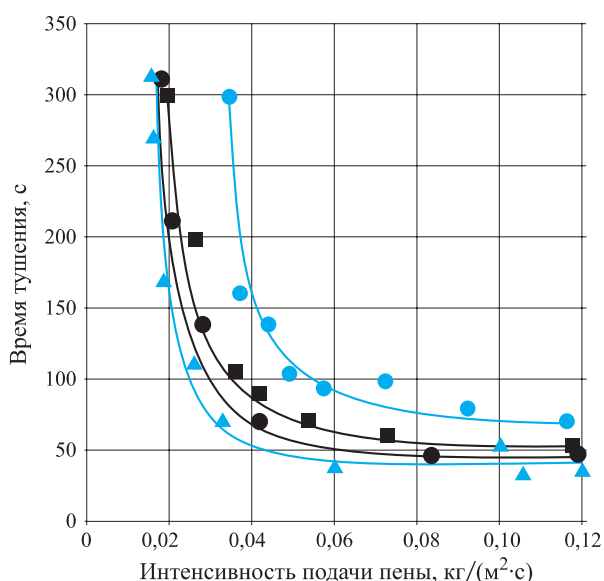


Рис. 1. Зависимость времени тушения топлива, содержащего 95% изооктана и 5% этилового спирта, от интенсивности подачи пены, приготовленной на воде: ▲ пресной мягкой; ● дистиллированной; ■ пресной жесткой; ● соленой морской

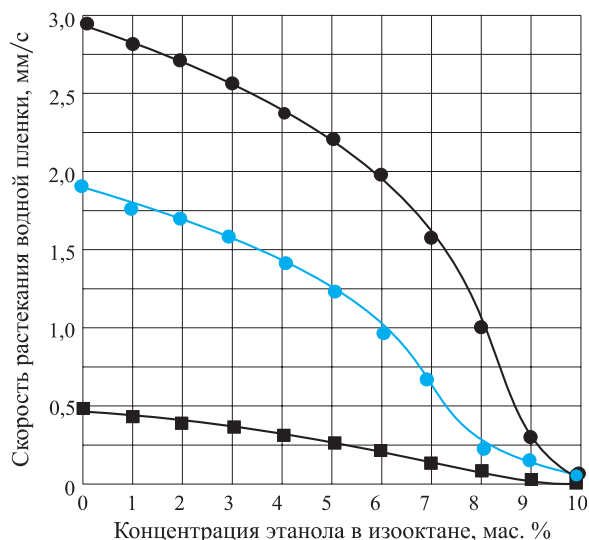


Рис. 2. Зависимость скорости растекания водной пленки по поверхности горючего (смеси изооктана и этанола) для пенообразователя 6%-ного использования, приготовленного на воде: ■ дистиллированной; ● пресной мягкой; ● пресной жесткой

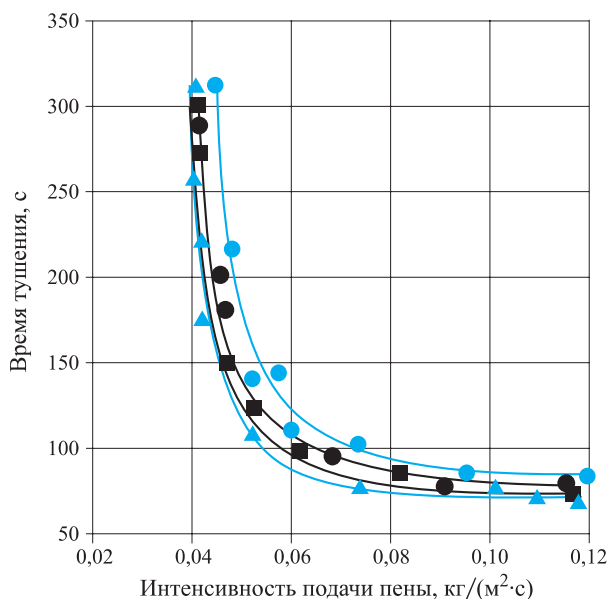


Рис. 3. Зависимость времени тушения топлива, содержащего 90% изооктана и 10% этанола, от интенсивности подачи пены, приготовленной на воде: ▲ пресной мягкой; ● дистиллированной; ■ пресной жесткой; ● соленой морской

ной мягкой водой критическая интенсивность подачи пены составляет около $0,04 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$. При интенсивности подачи пены около $0,06 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ время тушения составляет около 100 с. Критическая интенсивность подачи пены, приготовленной на пресной жесткой воде, составляет более $0,04 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$. Для сравнения с предыдущими случаями при заданной интенсивности подачи пены около $0,06 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ время тушения составляет око-

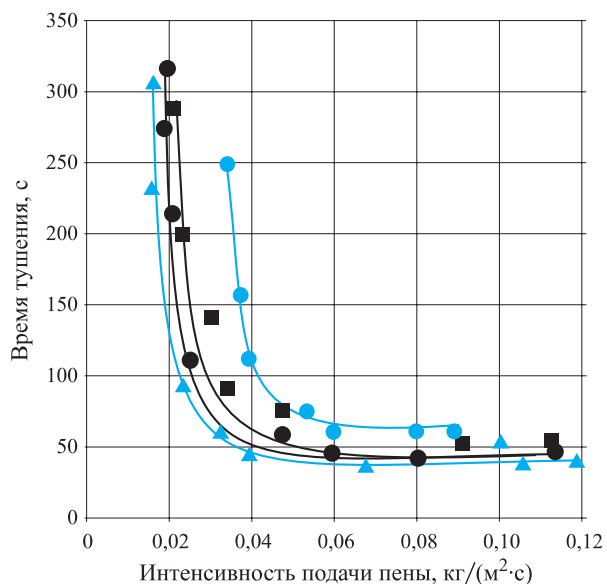


Рис. 4. Зависимость времени тушения топлива, содержащего 95% гептана и 5% этанола, от интенсивности подачи пены, приготовленной на воде: ▲ пресной мягкой; ● дистиллированной; ■ пресной жесткой; ● соленой морской

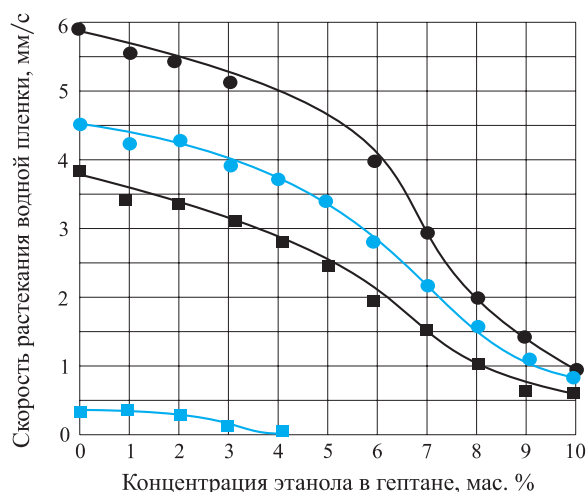


Рис. 5. Зависимость скорости растекания водной пленки по поверхности горючего (смеси гептана и этанола) для пенообразователя 6%-ного использования, приготовленного на воде: ■ дистиллированной; ● пресной мягкой; ● пресной жесткой; ■ соленой морской

ло 110 с. Менее резкое, чем в предыдущей системе, увеличение критической интенсивности подачи пены (до $0,042 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$) происходит при переходе на соленую морскую воду. При интенсивности подачи пены около $0,06 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ время тушения составляет 120 с. Анализируя рис. 3 и пленкообразующую способность пены (см. рис. 2), можно сделать вывод о том, что существенное снижение огнетушащей эффективности пены происходит, но не так заметно. Причина снижения заключается в

том, что в исследованной системе вся пена уже не обладает пленкообразующим действием на данном виде топлива, а контактная устойчивость у них практически одинаковая.

На рис. 4 представлены зависимости времени тушения топлива, содержащего 95% гептана и 5% этилового спирта.

При тушении дистиллированной водой критическая интенсивность подачи пены составляет около $0,018 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, пресной мягкой водой — $0,02 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$. При интенсивности подачи пены около $0,04 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ время тушения составляет 45 с для пресной мягкой и около 51 с — для дистиллированной воды. Критическая интенсивность подачи пены, приготовленной на пресной жесткой воде, составляет $0,021 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$. Для сравнения с предыдущими случаями при заданной интенсивности по-

дачи пены около $0,04 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ время тушения составляет около 67 с. Резкое увеличение критической интенсивности подачи пены (свыше $0,033 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$) происходит при переходе на соленую морскую воду. При интенсивности подачи пены около $0,04 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ время тушения составляет более 105 с. Анализируя данный график и пленкообразующую способность пены (рис. 5), можно сделать вывод о том, что существенное снижение огнетушащей эффективности пены произошло при утрате пленкообразующей способности.

Выводы. Жесткость воды оказывает существенное влияние на эффективность тушения топлив с низким содержанием спиртов. Наилучшей эффективностью обладает пена, приготовленная на пресной мягкой воде, наихудшей — на соленой морской воде.

Поступила в редакцию 18.04.08.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПОЖНАУКА»

Издательство «Пожнаука» уже более 10-ти лет выпускает разнообразную справочную, нормативную и научно-техническую литературу по пожарной безопасности для специалистов, работающих в сфере обеспечения пожарной безопасности.

Журналы «Пожаровзрывобезопасность» и «Пожарная безопасность в строительстве»

С 1992 года издательство «Пожнаука» выпускает журнал «Пожаровзрывобезопасность». Периодичность журнала – 6 номеров в год. В статьях журнала рассматриваются теоретические вопросы и способы практического обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений, технологических процессов и оборудования, современные средства и способы пожаротушения.

В рамках проекта «Пожарная безопасность в строительстве» выпускается приложение к журналу, посвященное современным огнестойким и огнезащитным материалам и конструкциям, новым разработкам и технологическим решениям, а также проблемам противопожарного нормирования.

Научная, справочная и учебная литература

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПОЖНАУКА»

E-mail:
firepress@gmail.com,
info@firepress.ru
Тел./факс: (495) 228-0903

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ В СФЕРЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ



Старший преподаватель
Академии Государственной
противопожарной службы МЧС РФ
Д. В. Поляков



Адъюнкт ФГУ ВНИИПО МЧС РФ
Ю. С. Еремин

УДК 614.844

ТИПЫ СОВРЕМЕННЫХ УСТАНОВОК ПОЖАРОТУШЕНИЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ СКЛАДОВ С ВЫСОТНЫМ СТЕЛЛАЖНЫМ ХРАНЕНИЕМ

Рассматриваются способы пожаротушения помещений современных складов с высотным стеллажным хранением установками с различными типами и моделями оросителей, в том числе и с оросителями тонкораспыленной воды. Особая эффективность некоторых моделей таких оросителей связана с наличием малоинерционного теплового замка, обеспечивающего срабатывание установки на начальной стадии пожара.

В связи с ростом торгово-финансовой деятельности в России в настоящее время наблюдается запаздывание развития производственно-складского сегмента на рынке недвижимости. Спрос превышает предложение, что связано с дефицитом этого вида недвижимости. Вот почему сегмент складской недвижимости, который еще недавно по уровню инвестиционной активности заметно отставал от торгового и офисного секторов, переживает сейчас настоящий прорыв.

Различают два способа укладки товаров на складах: штабельный и стеллажный.

Штабельную укладку применяют при хранении различных продовольственных и непродовольственных товаров, затаренных в мешки, кипы, кули, ящики, бочки.

Более широкое распространение получил стеллажный способ укладки товаров на хранение, когда распакованные товары, а также товары во внешней таре различными способами (рядами, десятками и т.д.) укладываются на стеллажи. Наиболее эффективно стеллажное хранение товаров и ценностей, уложенных на поддоны, обеспечивающее широкое использование подъемно-транспортных механизмов и создающее хорошие условия для повседневного оперативного учета товаров. Стеллажное хранение позволяет более рационально использовать вместимость склада: при неизменной площади ее можно увеличить повышением высоты стеллажей (согласно СНИП 31-04-2001 [1] высотное стеллажное хранение допускает высоту складирования свыше 5,5 м).

На данный момент в России отсутствует единая система классификации складских помещений по

категориям А, В, С и D. Различные риэлтерские и консалтинговые компании (Knight Frank, Swiss Realty и др.) предлагают свои варианты таких классификаций, но все же можно выделить одно общее требование большинства из них — это наличие современной системы противопожарной защиты. Автоматическая установка пожаротушения является необходимой частью этой системы (рис. 1). В случае высотного стеллажного хранения товар обычно располагается на многоярусных стеллажах плотными рядами. Очевидно, что из-за значительной пожарной нагрузки и ценности товара обнаружение возгорания должно произойти на как можно более ранней стадии, чтобы ликвидировать его по возможности с минимальными потерями.

В соответствии с п. 6 табл. 4 НПБ 110-03 [2] (действующим в настоящее время в Российской Федерации нормативным документом в области пожарной безопасности, определяющим уровень противопожарной защиты объектов) стеллажи с высотой складирования более 5,5 м для хранения горючих материалов и негорючих материалов в горючей упаковке необходимо защищать автоматическими установками пожаротушения независимо от их площади и функционального назначения помещения, где расположены стеллажи (в силу того, что это требование находится в разделе “Оборудование”). При этом существующий нормативный документ РФ, определяющий порядок проектирования автоматических установок пожаротушения и пожарной сигнализации, не охватывает проектирование зданий “...складов с передвижными стеллажами, зданий складов для хранения продукции в аэрозольной упаковке, зданий складов с высотой



Рис. 1. Классификация систем пожаротушения высотных стеллажных складов

складирования грузов более 5,5 м” (п. 1.2 НПБ 88–2001* [3]).

Таким образом, на территории Российской Федерации действует единственный документ, регламентирующий проектирование автоматических установок пожаротушения в высотных стеллажных складах, — Рекомендации ВНИИПО МВД СССР “Проектирование автоматических установок пожаротушения в высотных стеллажных складах” [4]. Данные Рекомендации распространяются на проектирование автоматических установок водяного пожаротушения в высотных стеллажных складах с высотой складирования от 5,5 до 25 м. Они не распространяются на проектирование автоматических установок пожаротушения в складах лаков, красок, ЛВЖ, ГЖ, автошин, каучука, химпродукции, медикаментов, тлеющих материалов (хлопок, табак), продукции в аэрозольной упаковке. Из вышесказанного понятно, что действующая российская нормативная база устарела и отстает от современных тенденций складирования грузов и средств по их защите.

В Японии, Европе и США уже достаточно давно существуют нормативные документы, регламентирующие требования по противопожарной защите высотного стеллажного хранения. Эти документы утверждены ведущими страховыми компаниями мира (FM, UL, Vds и др.), но не действуют на территории РФ.

Одним из наиболее полных и всеобъемлющих зарубежных документов, регламентирующих требования к проектированию установок пожаротушения высотных стеллажных складов, является аме-

риканский стандарт Национальной противопожарной ассоциации (NFPA).

Стандарт NFPA 231C “Standart for Rack Storage of Material” [5] определяет требования по проектированию автоматических установок пожаротушения высотных стеллажных складов исходя из высоты складирования, характеристик складываемых материалов, типов применяемого складского оборудования. Для противопожарной защиты высотных стеллажных складов данный стандарт предусматривает использование спринклерных установок водяного пожаротушения различного типа, а также установок пенного пожаротушения с применением пены высокой кратности. Следует заметить, что высотное стеллажное хранение данный стандарт определяет как хранение грузов с высотой хранения более 12 футов (3,7 м).

В настоящее время для защиты высотных стеллажных складов в подавляющем большинстве случаев используются установки водяного (водозаполненные и воздушные в зависимости от наличия в помещении систем отопления или охлаждения) или пенного пожаротушения [6, 7].

Установки водяного пожаротушения условно делят на установки с использованием внутрительных оросителей и установки с использованием только потолочных оросителей. Среди пенных установок для высотных складов применяются установки пожаротушения высокократной пеной.

Не так давно на рынке появились газовые установки типа “OxyReduct”, позволяющие снижать концентрацию кислорода в защищаемом помещении ниже значения нижней границы воспламене-

ния. Однако из-за невозможности длительного пребывания персонала в такой среде эффективно использовать эти системы только в складах со значительными ценностями и небольшим грузооборотом. Вторым препятствием распространения систем газового пожаротушения является их высокая цена.

На сегодняшний день установкам водяного пожаротушения, в случае проектирования пожаротушения больших складов от 10000 м² (а таких сейчас большинство), экономически эффективной альтернативы нет. Для складов меньшей площади до недавнего времени (до появления оросителей тонкораспыленной воды для высокостеллажных складов) допускалось использование систем порошкового пожаротушения, так как стоимость насосной с резервуаром могла превысить стоимость защищаемого объекта. Рассмотрим подробно системы водяного пожаротушения.

При проектировании системы водяного пожаротушения с внутрестеллажными оросителями для склада с высотным стеллажным хранением стеллажи должны иметь горизонтальные экраны из негорючих материалов с шагом по высоте не более 4 м [1, 4]. Экраны должны перекрывать все горизонтальное сечение стеллажа, в том числе и зазоры между спаренными стеллажами, и не должны препятствовать погрузочно-разгрузочным работам. Экраны и днища тары и поддонов должны иметь отверстия диаметром 10 мм, расположенные равномерно, со стороны квадрата 150 мм. Эта мера необходима для того, чтобы верхние сработавшие оросители не начали охлаждать нижние, а также для ограничения пожара по вертикали. В большинстве случаев при проектировании таких систем возникает необходимость строительства резервуара, так как выделенного на объект количества воды катастрофически не хватает. Вторая сложность — эксплуатационная: неудобство погрузочно-разгрузочных работ, сложность обслуживания системы, невозможность использования передвижных стеллажей.

Именно поэтому все большее распространение получают системы с использованием только потолочных оросителей, при этом необходимость в экранах отпадает. Существует несколько импортных моделей оросителей, предназначенных для решения этой задачи — ESFR, ELO, ULTRA K17 [8].

Оросители ELO (рис. 2) отличаются повышенным по сравнению с оросителями общего назначения коэффициентом производительности, который составляет 161 л/мин·бар^{1/2} (у оросителей общего назначения данный коэффициент лежит в интервале от 80 до 115). При использовании данного типа оросителей допускается защищать стеллажные склады с максимальной высотой хранения 6,1 м.



Рис. 2. Оросители типа ELO

Максимальная высота потолка при этом должна быть не более 8,2 м. Минимальная интенсивность орошения равна 0,4 л/(с·м²). Минимальная расчетная площадь секции составляет 186 м² для водозаполненных и 242 м² для воздушных установок [8].

Оросители ULTRA K17 имеют еще больший коэффициент производительности по сравнению с оросителями ELO — 241 л/мин·бар^{1/2}. При использовании данного типа оросителей допускается защищать стеллажные склады с максимальной высотой хранения 7,6 м. Площадь, защищаемая одним оросителем, не должна превышать 9 м². Максимальная высота потолка при этом должна быть не более 9,1 м. Минимальная интенсивность орошения — 0,55 л/(с·м²). Минимальная расчетная площадь секции составляет 186 м² для водозаполненных и 418 м² для воздушных установок. Оросители ULTRA K17 и ELO располагаются только под потолком и размещаются согласно стандарту NFPA 13 [9] аналогично оросителям общего назначения [8].

Оросители типа ESFR (рис. 3) отличаются значительными коэффициентами производительности, которые составляют, л/мин·бар^{1/2}: 201,6 для оросителя ESFR-1; 241,9 для оросителей ESFR-17; 362,9 для оросителей ESFR-25, а также малоинерционным тепловым замком, обеспечивающим срабатывание оросителя в начальной стадии пожара. Площадь, защищаемая одним оросителем, зависит от высоты установки и составляет от 5,8 до 9,3 м². При использовании данного типа оросителей допускается защищать стеллажные склады с максимальной высотой хранения 12,2 м и высотой помещения не более 13,7 м. Расчетная площадь составляет 89 м² [8].

Все вышеперечисленные модели требуют повышенного расхода огнетушащего вещества, помимо этого необходимо отметить, что проектирование и практическое использование данной группы установок в Российской Федерации затруднены из-за отсутствия нормативной базы по их применению.

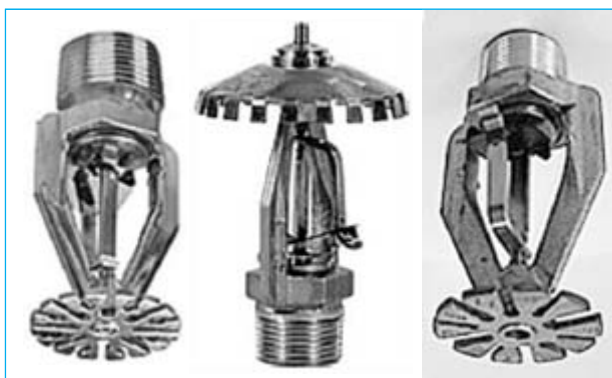


Рис. 3. Оросители типа ESFR

В случае использования таких оросителей для каждого защищаемого объекта необходимо разрабатывать и согласовать технические решения.

Всех указанных недостатков лишены оросители тонкораспыленной воды (модели “Аква-Гефест” (ООО “Гефест”, г. Санкт-Петербург) и “Макстоп” (ООО “НИЦ СиПБ”, г. Санкт-Петербург), в том числе предназначенные для применения в установках пожаротушения высотных стеллажных складов. Поэтому в последнее время установки пожаротушения тонкораспыленной водой пользуются все большим и большим спросом.

Главным достоинством тонкораспыленной воды считается объемно-поверхностный способ тушения пожаров, позволяющий быстро ликвидировать пламенное горение практически всех веществ. Тонкораспыленная вода обладает способностью к охлаждению зоны горения ниже температуры воспламенения и уменьшению концентрации реагирующих веществ парами ниже уровня устойчивого горения.

Несмотря на все преимущества тонкораспыленной воды, до недавнего времени ни в России, ни за рубежом не было ни одной системы пожаротушения тонкораспыленной водой, предназначенной для складов с высотным стеллажным хранением, которую можно было бы применить на строящемся объекте без разработки технических условий для этого объекта.

Оросители ООО “Гефест” (рис. 4) для защиты складов с высотным стеллажным хранением имеют коэффициент производительности 24,7 л/мин·бар^{1/2}. Площадь, защищаемая одним оросителем, составляет 6,25 м², допускается защищать стеллажные склады с максимальной высотой хранения 12,76 м и высотой помещения не более 14 м. Расчетная площадь составляет в зависимости от высоты складирования 120 и 180 м². Оросители имеют тепловой замок быстрого реагирования (3-мм колба). Применение этих оросителей позволяет до двух раз сократить расход воды на пожаротушение по сравнению

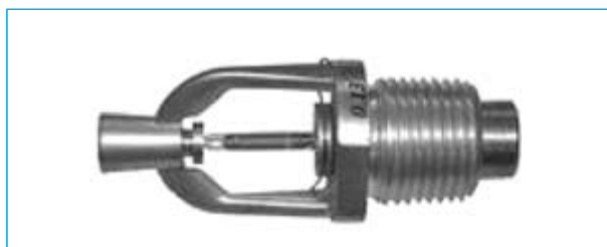


Рис. 4. Оросители типа “Аква-Гефест”

с моделями ESFR. Проектирование установок регламентируется “Техническими условиями по проектированию установок пожаротушения с применением оросителей тонкораспыленной воды “Аква-Гефест” [10], согласованными ВНИИПО МЧС России.

Оросители “Макстоп” (рис. 5) для защиты высотных стеллажных складов характеризуются меньшим коэффициентом производительности — 20,9 л/мин·бар^{1/2}. Площадь, защищаемая одним оросителем, составляет 6,25 м², допускается защищать стеллажные склады с максимальной высотой хранения 10 м и высотой помещения не более 12 м. Расчетная площадь составляет 120 м². Оросители “Макстоп” могут комплектоваться тепловыми замками двух типов — быстрого реагирования (3-мм колба) и впервые представленными на российском рынке замками сверхбыстрого реагирования (укороченная 2-мм колба). Применение этих оросителей позволяет существенно снизить расходы воды на пожаротушение (до 1,7 раз по сравнению с оросителями, выпускаемыми ООО “Гефест”) при сохранении эффективности по сравнению с другими описанными способами, что в российских условиях порой играет первоопределяющую роль в выборе установки.

Еще одним достоинством рассматриваемой системы является малоинерционный тепловой замок, обеспечивающий срабатывание оросителя в начальной стадии пожара, что позволяет быстро лока-

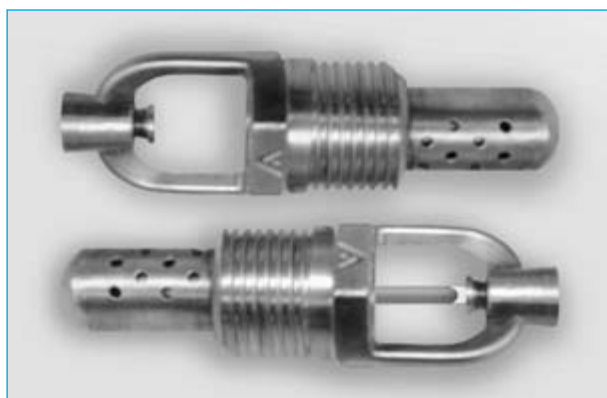


Рис. 5. Оросители типа “Макстоп”

лизовать пожар и избежать потерь материальных ценностей. Применение системы регламентируется “Техническими условиями по проектированию установок пожаротушения с применением оросителей тонкораспыленной воды “Макстоп” [11], согласованными ВНИИПО МЧС России, а также УГПН МЧС России.

В заключение отметим основные современные тенденции в развитии систем водяного пожаротушения высотных стеллажных складов в России:

- в связи с неудобством погрузочно-разгрузочных работ, сложностями с обслуживанием системы, невозможностью использования передвижных стеллажей и достаточно высокой стоимостью построения и обслуживания системы пожаротушения с внутрискладными оросителями происходит отказ от проектирования и построения этих систем;
- в силу своей стоимости и законности применения на территории РФ установки пожаротушения на основе оросителей тонкораспыленной воды становятся наиболее привлекательными и выгодными для заказчиков;
- с учетом необходимости снижения потерь материальных ценностей, а также негативных последствий работы установки пожаротушения одной из основных задач, решаемых проектировщиками, становится более раннее обнаружение пожара, в том числе за счет применения малоинерционных оросителей (ESFR, “Макстоп”).

ЛИТЕРАТУРА

1. **СНИП 31-04-2001.** Складские здания.
2. **НПБ 110-2003.** Перечень зданий, сооружений, помещений и оборудования, подлежащих защите автоматическими установками пожаротушения и автоматической пожарной сигнализацией.
3. **НПБ 88-2001*.** Установки пожаротушения и сигнализации. Нормы и правила проектирования.
4. “Проектирование автоматических установок пожаротушения в высотных стеллажных складах”: Рекомендации. — М.: ВНИИПО, 1987.
5. **NFPA 231C.** Standart for Rack Storage of Materials.
6. **ГОСТ Р 50680-94.** Установки водяного пожаротушения автоматические. Общие технические требования. Методы испытаний.
7. **ГОСТ Р 50800-95.** Установки пенного пожаротушения автоматические. Общие технические требования. Методы испытаний.
8. Техническая документация фирмы TYCO / Fire & Building Products: проспекты TFP 340, TFP 330, TFP 332, TFP 318, TFP 315, TFP 316, TFP 312.
9. **NFPA 13.** Standard for Automatic Sprinklers Installation.
10. Технические условия по проектированию установок пожаротушения с применением оросителей тонкораспыленной воды “Аква-Гефест” производства ООО “Гефест”. — СПб., 2008.
11. Технические условия по проектированию установок пожаротушения с применением оросителей тонкораспыленной воды “Макстоп” производства ООО “Научный Инновационный Центр Строительства и Пожарной Безопасности”. — СПб., 2006.

Поступила в редакцию 18.09.08.



Издательство ООО “Издательство “Пожнаука”
 107023, Москва, пл. Журавлева, д. 2, стр. 2
 тел./факс: (495) 228-09-03
 e-mail: firepress@gmail.com, info@firepress.ru
 http://www.firepress.ru

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

ООО “Издательство “Пожнаука” более 10 лет успешно работает в области информационного обеспечения. На страницах выпускаемой нами учебной, справочной, нормативной и научно-практической литературы публикуется информация для высококвалифицированных специалистов и руководителей. В наших изданиях Вы можете разместить сведения о продукции и услугах, предоставляемых Вашим предприятием.

Научно-техническая литература и периодика, выпускаемые ООО “Издательство “Пожнаука”, распространяются по всей территории Российской Федерации, в странах СНГ, Балтии и в ряде зарубежных стран.

Специализированный журнал “Пожаровзрывобезопасность”

Издается с 1992 года. Периодичность — 6 номеров в год. С октября 2001 года журнал включен в Перечень периодических научных и научно-технических изданий РФ, рекомендуемых для публикации основных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора наук. В статьях журнала рассматриваются теоретические вопросы и способы практического обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений, технологических процессов и оборудования.

Журнал “Пожарная безопасность в строительстве”

Издается с декабря 2004 года. Полноцветное рекламное научно-практическое издание. Публикует статьи рекламного и аналитического характера, модельный ряд, справочник по фирмам-производителям и услугам. Тематика Приложения посвящена проблемам комплексной безопасности строительных объектов, включая огнестойкость материалов и конструкций, пожаро- и взрывоустойчивость зданий и сооружений, новым технологическим решениям в области пожарной автоматики и сигнализации, а также проблемам сертификации и стандартизации.

Виды рекламы в журнале “Пожаровзрывобезопасность” и расценки на ее размещение

1. Реклама на обложке (полноцветная):
 - 2-я полоса — 28000 руб. + 1 двухцветная полоса бесплатно
 - 3-я полоса — 25000 руб. + 1 двухцветная полоса бесплатно
 - 4-я полоса — 35000 руб. + 2 двухцветные полосы бесплатно
2. Рекламная статья: 1/1 двухцветной полосы — 12000 руб.
3. Статья обзорно-аналитического, проблемного, научно-технического характера — бесплатно.
4. Рекламные наклейки:

Размер модуля	Стоимость полноцветного модуля, руб.
1/1 полосы (215 × 300 мм)	17000
1/2 полосы (190 × 137 мм)	11000

5. Реклама справочного характера (название компании, контактные данные, перечень предлагаемых услуг и продукции — 500 печатных знаков) — 2300 руб.

Тираж: 10000 экз.

Спецпредложение!

Для наших рекламодателей мы предоставляем возможность бесплатного распространения буклетов и листовок (200 экз.) на выставках в г. Москве, в которых данный номер журнала будет принимать участие.

ПРЕДЛАГАЕМ ВАМ СЛЕДУЮЩИЕ ИЗДАНИЯ В СФЕРЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Наименование	Кол-во экз. в уп. (шт.)	руб./ экз.	от 1 уп.	от 3 уп.	от 5 уп.
УЧЕБНЫЕ И СПРАВОЧНЫЕ ИЗДАНИЯ					
<i>А. Я. Корольченко, Д. А. Корольченко</i> Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: Справочник в 2-х т. — М.: Пожнаука, 2004. — 1-й том — 713 с.; 2-й том — 774 с.	4	2200	2090	1870	1760
<i>Н. Н. Брушлинский, А. Я. Корольченко</i> Моделирование пожаров и взрывов. — М.: Пожнаука, 2000. — 492 с.	6	360	342	306	288
<i>А. Я. Корольченко</i> НОВИНКА Процессы горения и взрыва: Учебник. — М.: Пожнаука, 2007. — 266 с.	10	390	370	331	312
<i>Л. П. Пилюгин</i> Обеспечение взрывоустойчивости зданий с помощью предохранительных конструкций. — М.: Пожнаука, 2000. — 224 с.	10	240	228	204	192
<i>В. М. Ройтман</i> Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий. — М.: Пожнаука, 2001. — 382 с.	10	300	285	255	240
<i>А. Я. Корольченко, Д. В. Трушкин</i> Пожарная опасность строительных материалов: Учебное пособие. — М.: Пожнаука, 2006. — 232 с.	10	200	190	170	160
<i>В. И. Горшков</i> НОВИНКА Тушение пламени горючих жидкостей. — М.: Пожнаука, 2007. — 320 с.	10	250	238	213	200
<i>В. Н. Баранин</i> Экономика чрезвычайных ситуаций и управление рисками. — М.: Пожнаука, 2004. — 332 с.	20	70	67	60	56
<i>А. Ф. Шароварников, В. Л. Молчанов, С. С. Воевода, С. А. Шароварников</i> Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов: Учебное пособие. — М.: Пожнаука, 2007. — 294 с. НОВИНКА	10	380	361	323	304
<i>В. П. Бабуров, В. В. Бабурин, В. И. Фомин</i> НОВИНКА Автоматические установки пожаротушения. Учебно-справочное пособие. — М.: Пожнаука, 2007. — 294 с.	20	350	333	298	280
<i>А. Ф. Шароварников, С. А. Шароварников</i> Пенообразователи и пены для тушения пожаров. Состав. Свойства. Применение: Справочник. — М.: Пожнаука, 2005. — 336 с.	10	150	143	128	120
<i>М. М. Любимов, С. В. Собурь</i> Пожарная и охранно-пожарная сигнализация: Справочник в 2-х т. — М.: ПожКнига, 2005. — 1-й т. — 292 с.; 2-й т. — 308 с.	10	290	275	247	232
<i>В. В. Теремин</i> Справочник руководителя тушения пожара. Тактические возможности пожарных подразделений: Справочник. — М.: Пожнаука, 2004.	10	90	86	77	72
<i>В. С. Родин, О. Н. Найденов, С. В. Собурь</i> Справочник инспектора пожарного надзора: Справочник в 2-х т. — М.: ПожКнига, 2005. — 1-й т. — 400 с.; 2-й т. — 368 с.	10	350	333	298	280
СЕРИЯ “СОВРЕМЕННАЯ ПРОТИВОПОЖАРНАЯ ЗАЩИТА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ”					
<i>А. Я. Корольченко, Д. А. Корольченко</i> Основы пожарной безопасности предприятия. Полный курс пожарно-технического минимума: Учебное пособие. — М.: Пожнаука, 2006. — 320 с.	10	300	285	255	240
<i>А. Я. Корольченко, О. Н. Корольченко</i> Средства огнезащиты: Справочник. — М.: Пожнаука, 2006. — 258 с.	10	200	190	170	160

Наименование	Кол-во экз. в уп. (шт.)	руб./ экз.	от 1 уп.	от 3 уп.	от 5 уп.
СЕРИЯ “ПРОТИВОПОЖАРНАЯ ЗАЩИТА И ТУШЕНИЕ ПОЖАРОВ”					
<i>В. В. Теребнёв, Н. С. Артемьев, А. И. Думилин</i> Жилые и общественные здания и сооружения: Учебное пособие. — М.: Пожнаука, 2006. — 352 с.	20	320	304	272	256
<i>В. В. Теребнёв, Н. С. Артемьев, В. А. Грачёв, А. В. Подгрушинь</i> Промышленные здания и сооружения: Учебное пособие. — М.: Пожнаука, 2006. — 370 с.	20	320	304	272	256
<i>В. В. Теребнёв, Н. С. Артемьев, А. В. Подгрушинь</i> Здания повышенной этажности: Учебное пособие. — М.: Пожнаука, 2006. — 240 с.	20	300	285	255	240
<i>В. В. Теребнёв, Н. С. Артемьев, А. В. Подгрушинь</i> Объекты добычи, переработки и хранения горючих жидкостей и газов: Учебное пособие. — М.: Пожнаука, 2007. — 350 с.	10	350	333	298	280
<i>В. В. Теребнёв, Н. С. Артемьев, В. А. Грачёв, О. Ю. Сабинин</i> Леса, торфяники, лесосклады: Учебное пособие. — М.: Пожнаука, 2007. — 300 с.	10	400	380	340	320
<i>В. В. Теребнёв, Н. С. Артемьев, В. А. Грачёв, А. И. Думилин</i> Транспорт: наземный, морской, речной, воздушный, метро: Учебное пособие. — М.: Пожнаука, 2007. — 382 с.	10	320	304	272	256
<i>А. В. Долговидов, В. В. Теребнёв</i> Автоматические установки порошкового пожаротушения: НОВИНКА Справочник. — М.: Пожнаука, 2008. — 324 с.	10	220	209	187	176
СЕРИЯ “БИБЛИОТЕКА НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОГО РАБОТНИКА”					
<i>С. В. Собурь</i> Пожарная безопасность: Справочник. — 2-е изд. (с изм.). — М.: ПожКнига, 2005. — 292 с.	10	100	95	85	80
<i>С. В. Собурь</i> Пожарная безопасность промпредприятий: Справочник. — 2-е изд. (с изм.). — М.: ПожКнига, 2007. — 172 с.	10	110	105	93	88
<i>С. В. Собурь</i> Пожарная безопасность складов: Справочник. — 2-е изд. (с изм.). — М.: ПожКнига, 2004. — 240 с.	10	120	114	102	96
<i>С. В. Собурь</i> Пожарная безопасность общественных и жилых зданий: Справочник. — 2-е изд. с доп. и изм. — М.: ПожКнига, 2004. — 224 с.	10	100	95	85	80
<i>С. В. Собурь</i> Пожарная безопасность нефтегазохимических предприятий: Справочник. — М.: ПожКнига, 2004. — 432 с.	10	99	94	84	80
<i>С. В. Собурь</i> Пожарная безопасность сельскохозяйственных предприятий: Справочник. — М.: ПожКнига, 2005. — 74 с.	50	45	43	38	36
СЕРИЯ “ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРЕДПРИЯТИЯ”					
<i>С. В. Собурь</i> Пожарная безопасность предприятия. Курс пожарно-технического минимума: Пособие. — 11-е изд. (с изм.). — М.: ПожКнига, 2007. — 496 с.	10	210	200	179	168
<i>С. В. Собурь</i> Краткий курс пожарно-технического минимума: Пособие. — 2-е изд. с доп. и изм. — М.: ПожКнига, 2004. — 304 с.	10	90	85	77	72
<i>С. В. Собурь</i> Огнетушители: Пособие. — 5-е изд. (с изм.). — М.: ПожКнига, 2008. — 96 с.	20	50	48	42	40

Наименование	Кол-во экз. в уп. (шт.)	руб./ экз.	от 1 уп.	от 3 уп.	от 5 уп.
<i>С. В. Собурь</i> Установки пожаротушения автоматические: Пособие. — М.: ПожКнига, 2004. — 408 с.	10	120	114	102	96
<i>С. В. Собурь</i> Установки пожарной сигнализации: Пособие. — 5-е изд. с доп. и изм. — М.: ПожКнига, 2006. — 280 с.	10	150	143	128	120
<i>С. В. Собурь</i> Пожарная безопасность электроустановок: Пособие. — 6-е изд. с доп. и изм. — М.: ПожКнига, 2006. — 280 с.	10	150	143	128	120
<i>С. В. Собурь</i> Огнезащита материалов и конструкций: Пособие. — 3-е изд. с доп. и изм. — М.: ПожКнига, 2004. — 256 с.	10	120	114	102	96
<i>С. В. Собурь</i> Предпринимателю о пожарной безопасности предприятия: Пособие. — 2-е изд. с доп. и изм. — М.: ПожКнига, 2004. — 354 с.	10	150	143	128	120
<i>С. В. Собурь</i> Заполнение проемов в противопожарных преградах: Пособие. — 2-е изд. с доп. и изм. — М.: ПожКнига, 2006 — 168 с.	10	90	85	77	72
<i>С. В. Собурь</i> Доступно о пожарной безопасности: Брошюра. — 3-е изд. (с изм.). — М.: ПожКнига, 2006. — 32 с.	20	29	28	25	23
СЕРИЯ “ПОЖАРНАЯ ТЕХНИКА”					
<i>В. В. Теребнёв, Н. И. Ульянов, В. А. Грачёв</i> Пожарная техника: Учебное пособие в 2-х т. — М.: Центр Пропаганды, 2007. — Т. 1: Пожарно-техническое вооружение. Устройство и применение. — 328 с.; Т. 2: Пожарные машины. Устройство и применение. — 328 с.	10	460	437	491	368
СЕРИЯ “ПОЖАРНО-СТРОЕВАЯ ПОДГОТОВКА И ГАЗОДЫМОЗАЩИТА”					
<i>В. В. Теребнёв, А. В. Теребнёв, В. А. Грачёв, А. В. Подгрушный</i> Пожарно-строевая подготовка: Учебное пособие. — М.: Центр Пропаганды, 2004. — 344 с.	10	300	285	255	240
Методические рекомендации по пожарно-строевой подготовке. — М.: ГРИФ МЧС, 2007. — 200 с.	10	180	171	153	144
<i>В. А. Грачёв, Д. В. Поповский</i> Газодымозащитная служба: Учебник. — М.: Центр Пропаганды, 2006. — 379 с.	10	350	333	298	280
<i>В. А. Грачёв, С. В. Собурь</i> Средства индивидуальной защиты органов дыхания: Справочник. — М.: Центр Пропаганды, 2007. — 224 с.	10	300	285	255	240
СЕРИЯ “ТАКТИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СЛУЖБЫ”					
<i>В. В. Теребнёв, А. В. Подгрушный</i> Пожарная тактика: Учебное пособие. — М.: ООО “Калан”, 2007. — 538 с.	10	480	456	408	384
<i>В. В. Теребнёв, А. В. Подгрушный, М. В. Бондаренко, В. А. Грачёв</i> Пожарная тактика в примерах: Учебное пособие. — М.: ООО “Калан”, 2007. — 635 с.	10	450	428	382	360
<i>В. В. Теребнёв, А. В. Теребнёв</i> Управление силами и средствами на пожаре: Учебное пособие. — М.: Центр Пропаганды, 2006. — 264 с.	10	300	285	255	240
<i>В. В. Теребнёв, А. В. Теребнёв, В. А. Грачёв</i> Организация службы начальника караула пожарной части: Учебное пособие. — М.: Центр Пропаганды, 2007. — 216 с.	10	300	285	255	240

Наименование	Кол-во экз. в уп. (шт.)	руб./ экз.	от 1 уп.	от 3 уп.	от 5 уп.
<i>В. В. Терebinёв, А. В. Терebinёв, В. А. Грачёв, А. В. Подрушный</i> Тактическая подготовка должностных лиц органов управления силами и средствами на пожаре: Учебное пособие. — М.: Центр Пропаганды, 2006. — 304 с.	10	300	285	255	240
<i>В. В. Терebinёв, А. В. Терebinёв, В. А. Грачёв, А. А. Шехов</i> Организация службы пожарной части: Учебное пособие. — М.: Центр Пропаганды, 2007. — 360 с.	10	350	333	298	280
СЕРИЯ “ПОДГОТОВКА СПАСАТЕЛЕЙ-ПОЖАРНЫХ”					
<i>В. В. Терebinёв, В. В. Подставков</i> Противопожарная служба гражданской обороны: Учебное пособие. — М.: Центр Пропаганды, 2007. — 288 с.	10	300	285	255	240
<i>В. В. Терebinёв, К. В. Шадрин</i> Пожарно-профилактическая подготовка: НОВИНКА Учебное пособие. — М.: Центр Пропаганды, 2008. — 240 с.	10	340	323	289	272
СЕРИЯ “ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ”					
<i>В. В. Терebinёв, Н. С. Артемьев, В. А. Грачёв</i> Справочник спасателя-пожарного: Справочник. — М.: Центр Пропаганды, 2006. — 528 с.	10	350	333	298	280
<i>В. В. Терebinёв, Н. С. Артемьев, К. В. Шадрин</i> Основы пожарного дела: Учебное пособие. — М.: Центр Пропаганды, 2006. — 328 с.	10	350	333	298	280
Электронная версия учебного пособия по курсу “Пожарная безопасность объектов”, автор — А. Я. Корольченко. Пособие включает в себя сборник нормативных актов по организации и обеспечению пожарной безопасности объектов.	450				
Электронная версия комплекта типовых инструкций по пожарной безопасности для руководителя предприятия	980				
ГОТОВИТСЯ К ИЗДАНИЮ					
<p>В 2008 г. издательство “Пожнаука” выпустит второе издание книги <i>А. Я. Корольченко и О. Н. Корольченко</i> “СРЕДСТВА ОГНЕЗАЩИТЫ”.</p> <p>По сравнению с первым изданием в книгу внесены существенные изменения: включена глава, посвященная механизму огнезащиты древесины, металлических и железобетонных конструкций, воздуховодов, электрических кабелей и тканей.</p> <p>Значительно расширена глава по анализу требований, содержащихся в нормативных документах по средствам огнезащиты, и их применению в практике строительства.</p> <p>В новое издание книги включена глава по оптимизации выбора средств огнезащиты с учетом области их применения, технологии огнезащитной обработки и стоимостных показателей.</p> <p>Значительно расширена номенклатура средств огнезащиты, предлагаемых на отечественном рынке для огнезащиты: древесины (пропитки, лаки, краски и обмазки), несущих металлических конструкций (средства для конструктивной огнезащиты, огнезащитные штукатурки, покрытия на основе вермикулита, вспучивающиеся покрытия), воздуховодов, кабелей и кабельных проходок, ковровых покрытий и тканей. Информация о средствах огнезащиты включает данные о рекомендуемых областях их применения, эффективности, технологии нанесения, организациях-производителях.</p>					

ВНИМАНИЮ ПОДПИСЧИКОВ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДАНИЙ!

*ООО “Издательство “Пожнаука” продолжает подписку на 2009 г.
на комплект журналов “Пожаровзрывобезопасность”
и “Пожарная безопасность в строительстве”.
Стоимость подписки на 1-е полугодие — 1446 руб.*

Подписка осуществляется через следующие агентства:

Название организации	Телефон/факс	Адрес	Индекс в каталоге
Агентство подписки и розницы “АПР”	(495) 974-11-11	123995, г. Москва, пр-т Маршала Жукова, д. 4	83647
Агентство “РОСПЕЧАТЬ”	(495) 921-25-50	123995, г. Москва, пр-т Маршала Жукова, д. 4	83340
Агентство “ВСЯ ПРЕССА”	(495) 787-34-47, 787-36-31	127015, Москва, ул. Ново-дмитровская, д. 5А	—
Агентство “ИНТЕР-ПОЧТА”	(495) 500-00-60, 684-55-34	129090, г. Москва, пер. Васнецова, д. 4, стр. 2	—
Агентство “УРАЛ-ПРЕСС XXI”	(495) 789-86-37, 789-86-36	125040, г. Москва, Нижняя Масловка, д. 11-13	—
Агентство “Артос-ГАЛ”	(495) 981-03-24	г. Москва, ул. 3-я Гражданская, д. 3, стр. 2	107564
ООО “Информнаука”	(495) 155-43-42	125190, г. Москва, ул. Усиевича, д. 20	—

**ПЕРЕЧЕНЬ ОРГАНИЗАЦИЙ,
распространяющих литературу издательства “Пожнаука”**

Название организации	Адрес	Телефон/факс
1. ПУЛЬС	107014, г. Москва, ул. Русаковская, д. 28, стр. 1 А	(495) 933-09-90
2. Дом книги Санкт-Петербурга	191186, г. Санкт-Петербург, Невский пр-т, д. 28	(812) 449-28-73 449-28-78
3. ООО “НТЦ “ИРАРМ”	162627, Вологодская обл., г. Череповец, ул. Металлургов, д. 12	(8202) 57-43-68
4. ЗАО “КНОРУС”	129110, г. Москва, ул. Б. Переяславская, д. 46	(495) 680-72-54, 680-12-78, 783-39-68
5. НИЦ “Норматив-Информ”	109417, г. Москва, Рязанский пр-т, д. 82, кор. 5, а/я 97	(495) 705-31-51
6. ООО “ДиА Медиа”	127560, Москва, а/я 97	(499) 158-63-45, 158-63-51, 158-67-17
7. Альфа Библиос	109240, г. Москва, ул. Гончарная, д. 3, стр. 1, комн. 15	(495) 698-06-41, 933-81-08, 995-20-27
8. ООО “Центр Пропаганды”	129515, г. Москва, ул. Академика Королева, д. 13, кор. 1	(495) 231-48-41

Продолжение таблицы

Название организации	Адрес	Телефон/факс
9. ООО “Т-Книга”	460052, г. Оренбург, ул. Салмышская, д. 25, к. 4	(3532) 77-49-06
10. УралИнфоСервис	620138, г. Екатеринбург, а/я 23	(343) 349-04-55, 349-05-75, 349-04-50
11. ЦУПЛ	111123, г. Москва, ш. Энтузиастов, д. 56	(495) 978-18-22, 971-42-67, 788-50-30
12. ООО “Издательский Дом ИНФРА-М”	127282, г. Москва, ул. Полярная, д. 31в	(495) 380-05-40, 363-42-60, 363-92-12, 380-05-42
13. ЗАО “Делсар”	220050, г. Минск-50, а/я 267	(10-375-17) 210-50-32, 284-16-55
14. ООО “Ивкнига”	153038, г. Иваново, ул. Кудряшова, д. 98	(4932) 56-15-76, 56-20-77, 56-15-01, 53-78-72, 56-05-81
15. ООО “Техническая книга”	660049, г. Красноярск, ул. К. Маркса, д. 78, 2-й этаж	(3912) 40-77-83, 27-52-86
16. ООО “Издательство “Калан”	620017, г. Екатеринбург, Пр. Космонавтов, д. 11/1, оф. 7	(343) 321-95-67
17. ООО “ТЕТРАН”	344022, г. Ростов-на-Дону, Боготяновский спуск, д. 21	(863) 263-63-88

Образец заявки для оформления заказа на литературу

Название организации (полностью), реквизиты (ИНН/КПП обязательно)
Наименование и количество заказываемой литературы
Вид доставки: • самовывоз; • почтовая (ВНИМАНИЕ! +20% от стоимости заказа)
Почтовый адрес, тел./факс, e-mail, контактное лицо

Желающие сделать заказ в издательстве “Пожнаука” (г. Москва)**могут отправить заявку в отдел распространения:**

- по почте: 107023, г. Москва, пл. Журавлева, д. 2, стр. 2
- по тел./факсу: (495) 228-09-03
- по e-mail: firepress@gmail.com, info@firepress.ru



К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

Направляемые в журнал "ПОЖАРОВЗРЫВБЕЗОПАСНОСТЬ" статьи должны представлять собой результаты научных исследований и испытаний, описания технических устройств и программно-информационных продуктов, проблемные обзоры и краткие сообщения, комментарии и собственно нормативно-технические документы, справочные материалы и т. п. Методы расчета и экспериментальные данные автора должны быть оформлены в соответствии с рекомендациями КОДАТА. Остальные численные данные, за исключением общеизвестных величин, следует снабжать ссылками на первоисточник. Научные статьи должны иметь практическую направленность. В начале работы (например, во введении) целесообразно кратко изложить состояние проблемы и место в ней данной задачи. В конце публикации желательны краткие выводы с указанием научной новизны и практической полезности материала.

Редакция просит авторов при подготовке рукописи руководствоваться изложенными ниже правилами.

1. Статья должна быть представлена на бумажном и магнитном носителях или может быть послана в редакцию по электронной почте (firepress@gmail.com). Статья должна быть ясно изложена, тщательно отредактирована и подписана авторами.

2. Текст статьи должен быть напечатан через 2 интервала без помарок и вставок на одной стороне стандартного листа формата А4 с левым полем 3 см. На полях напротив первой ссылки в тексте проставляются номера рисунков и таблиц.

3. Материал статьи излагается в такой последовательности:

- номер УДК (универсальная десятичная классификация);
- название статьи;
- имена, отчества и фамилии авторов (полностью), должности, степени, звания, название организации (полностью), фотографии авторов, контактные телефоны, почтовый и электронный адреса. Число авторов — не более трех от одной организации и не более четырех от разных организаций. Авторами являются лица, принимавшие участие во всей работе или ее главных разделах. Лица, участвовавшие в работе частично, указываются в сносках;
- реферат;
- текст статьи;
- цитируемая литература;
- рисунки и подписи к ним.

4. Сокращения и условные обозначения физических величин должны соответствовать действующим международным стандартам. Формулы и буквенные обозначения должны быть четкими и ясными. При возможности неоднозначного понимания формул и обозначений: показатели и другие надстрочные знаки отмечаются простым карандашом дугой \cup , а подстрочные — дугой \cap ; заглавные буквы подчеркиваются двумя черточками снизу, строчные — сверху (например, \underline{Q} и \bar{o}); греческие буквы подчеркиваются красным карандашом. Все буквенные обозначения, входящие в формулы, должны быть расшифрованы с указанием единиц измерения. Размерность всех характеристик должна соответствовать системе СИ.

5. Иллюстрации (на бумажном носителе и электронные версии) прилагаются отдельно. Фотографии должны быть сделаны с хорошего негатива контрастной печатью (файлы растровых изображений представляются с разрешением не менее 300 dpi, черно-белая штриховая графика — 600 dpi). Файлы векторной графики предоставляются в формате той программы, где они созданы. Все иллюстрации должны иметь сквозную нумерацию. Чертежи в качестве иллюстраций не приемлемы.

6. Таблицы должны быть составлены лаконично и содержать только необходимые сведения, однотипные таблицы строятся одинаково. Цифровые данные следует округлять в соответствии с точностью эксперимента. Сведения в таблицах и на рисунках не должны повторяться.

7. Цитируемая литература должна быть оформлена в виде общего списка в порядке цитирования или по алфавиту. В тексте ссылка на литературу отмечается порядковой цифрой в квадратных скобках, например [1]. Литература в списке дается на языке оригинала. Библиографические данные приводятся по титульному листу издания. Порядок изложения элементов библиографического описания определяется требованиями ГОСТ 7.1–2003.

8. Отклоненные статьи автору не возвращаются. Просьба редакции о переработке материала не означает, что он принят к печати.

Приглашаем Вас к сотрудничеству на страницах нашего журнала.

Председатель Редакционного совета:

*д.т.н., профессор, академик МАНЭБ
А. Я. Корольченко*

Зам. председателя Редакционного совета:

*д.т.н., профессор, член-корреспондент НАНПБ
Ю. М. Глуховенко
д.т.н., профессор, академик Нью-Йоркской академии наук
В. В. Мольков
д.т.н., профессор В. П. Назаров*

Редакционный совет:

*д.т.н., профессор, действительный член НАНПБ,
заслуженный деятель науки РФ А. Н. Баратов
д.т.н., профессор, академик РАЕН,
заслуженный деятель науки РФ Н. Н. Брушлинский
к.т.н., профессор Е. Е. Кирюханцев
к.т.н. Д. А. Корольченко
к.т.н. В. А. Меркулов
д.т.н., профессор, академик РАЕН
А. В. Мишуев
д.т.н., профессор, действительный член НАНПБ
В. М. Ройтман
д.т.н., профессор,
действительный член НАНПБ Б. Б. Серков
д.т.н., профессор, член-корреспондент НАНПБ
С. В. Пузач
д.т.н., профессор, академик РАЕН, НАНПБ
Н. Г. Топольский
д.т.н., член-корреспондент МАНЭБ
Н. А. Тычино
д.т.н., профессор, действительный член НАНПБ
Ю. Н. Шебеко
профессор Т. Дж. Шилдс
д.т.н., профессор, академик и почетный член РАЕН
В. В. Холщевников*

Редакция:

*Главный редактор журнала
д.т.н., профессор, академик МАНЭБ
А. Я. Корольченко
Шеф-редактор
О. В. Коренькова
Отдел рекламы и распространения:
О. И. Нестерова, Л. И. Рахманова*

Chairman of Editorial Council:

*Dr.Sc.(Eng.), Professor, Academician of International Academy
of Ecology and Life Safety A. Ya. Korolchenko*

Deputy of Chairman of Editorial Council:

*Dr.Sc.(Eng.), Professor, Corresponding Member
of the National Academy of Fire Science Yu. M. Gluhovenko
Dr.Sc.(Eng.), Professor, an Active Member of the New-York Academy
of Sciences V. V. Molkov
Dr.Sc.(Eng.), Professor V. P. Nazarov*

Editorial Council:

*Dr.Sc.(Eng.), Professor, Full Member of National Academy
of Fire Science, the Honoured Scientist of the Russian Federation
A. N. Baratov
Dr.Sc.(Eng.), Professor, Academician of the Russian Academy
of Natural Sciences, the Honoured Scientist of the Russian
Federation N. N. Brushlinskiy
Cand.Sc.(Eng.), Professor E. E. Kiryuhantsev
Cand.Sc.(Eng.) D. A. Korolchenko
Cand.Sc.(Eng.) V. A. Merkulov
Dr.Sc.(Eng.), Professor, Academician of the Russian Academy
of Natural Sciences A. V. Mishuev
Dr.Sc.(Eng.), Professor, Full Member of National Academy
V. M. Roitman
Dr.Sc.(Eng.), Professor, Full Member of National Academy
of Fire Science B. B. Serkov
Dr.Sc.(Eng.), Professor, Corresponding Member
of the National Academy of Fire Science S. V. Puzach
Dr.Sc.(Eng.), Professor, Academician of the Russian Academy
of Natural Sciences, National Academy of Fire Science
N. G. Topolskiy
Dr.Sc.(Eng.), Corresponding Member of International Academy
of Ecology and Life Safety N. A. Tyichino
Dr.Sc.(Eng.), Professor, Full Member of National Academy
of Fire Science Yu. N. Shebeko
Professor Thomas Jim Shields
Dr.Sc.(Eng.), Professor, Academician and the Honoured Member
of the Russian Academy of Natural Sciences
V. V. Kholshchevnikov*

Editorial Office:

*Deputy Editor-in-Chief
Dr.Sc.(Eng.), Professor, Academician of International Academy
of Ecology and Life Safety A. Ya. Korolchenko
Editor-in-Chief
O. V. Korenkova
PR and Subscription Section:
O. I. Nesterova, L. I. Rahmanova*

Учредитель – ООО “Издательство “Пожнаука”

**Тел./факс: (495) 228-09-03
107023, г. Москва, пл. Журавлева, д. 2, стр. 2
E-mail: firepress@gmail.com; info@firepress.ru
http://www.firepress.ru**

ISSN 0869-7493



Подписано в печать 30.09.08.
Формат 60×84 1/8. Тираж 10000 экз.
Бумага офсетная №1. Печать офсетная.
Отпечатано в типографии “ГранПри”, г. Рыбинск

ПЕРСОНАЛЬНАЯ ПОДПИСКА

на журнал

пожаровзрыво- БЕЗОПАСНОСТЬ

КУПОН '2009

Издание	Цена подписки на полугодие, руб., включая НДС	Количество экземпляров	Стоимость подписки, руб.
Комплект журналов "Пожаровзрывобезопасность" и "Пожарная безопасность в строительстве" Полугодовая подписка	1446		

- Укажите в таблице количество экземпляров, которое Вам необходимо. В связи с введением обязательного составления счетов-фактур при совершении операций по реализации просим заполнить карточку на обороте купона. Эти сведения необходимы для подготовки и высылки Вам счета-фактуры.
- Заполненный купон и копию платежного поручения вышлите по тел./факсу (495) 228-09-03 или по e-mail: firepress@gmail.com в отдел распространения. Проследите, пожалуйста, чтобы были высланы **обе стороны** купона.
- Оплату за подписку Вы можете произвести по следующим реквизитам:
ООО "Издательство "ПОЖНАУКА"
Почтовый адрес: 107023, г. Москва, пл. Журавлева, д. 2, стр. 2
ИНН 7722589941 КПП 772201001
Р/с 40702810060120585901 в ОАО "ПРОМСВЯЗЬБАНК" г. Москва
БИК 0445583119
К/с 30101810600000000119
Генеральный директор — *Корольченко Александр Яковлевич*

**По вопросам подписки просьба обращаться по телефону
(495) 228-09-03 (многоканальный)**

ПОДПИСКА:

через агентство "РОСПЕЧАТЬ", индекс 83340;
через агентство "АПР", индекс 83647
(в любом почтовом отделении в каталоге "Газеты и журналы");
через подписные агентства: ООО "Вся пресса",
ООО "Интер-почта", ООО "Урал-Пресс XXI", ООО "Артос-ГАЛ",
ООО "Информнаука"

Карточка учета сведений о подписчике

Полное наименование фирмы (в соответствии с учредительными документами)	
Идентификационный номер (ИНН / КПП)	
Код отрасли по ОКОНХ	
Код отрасли по ОКПО	
Полное наименование банка	
Местонахождение банка	
БИК	
Расчетный счет	
Корсчет	
Юридический адрес (в соответствии с учредительными документами)	
Телефон по юридическому адресу	
Фактический адрес	
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС	
Индекс	
Область, край	
Город	
Улица	
Дом	
Телефон	
Факс	
Контактное лицо	
Телефон контактного лица	





Dr. STHAMER HAMBURG



**СОВРЕМЕННЫЕ
ПРОТИВОПОЖАРНЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

107023, г. Москва, пл. Журавлева, д. 2, стр. 2
Тел./факс: (495) 964-05-46 E-mail: spt@pisem.net

ПЕНООБРАЗОВАТЕЛИ ДЛЯ ПОЖАРОТУШЕНИЯ



Шторм-М

Пленкообразующий синтетический фторсодержащий пенообразователь целевого и специального назначения для получения пены низкой, средней и высокой кратности, включая метод подачи пены в резервуар под слой горючей жидкости во всех климатических районах Российской Федерации. Производится двух типов: 3 и 6%.

Штамекс AFFF (STHAMEX AFFF 3/6), Штамекс многоцелевой (STHAMEX-Multiform AFFF 3/6)

Высокоэффективные пленкообразующие синтетические фторсодержащие пенообразователи целевого и специального назначения для получения пены низкой, средней и высокой кратности. Служат для тушения пожаров классов А и В. Могут использоваться для подслоного пожаротушения.

Штамекс F-15 (STHAMEX F-15)

Углеродородный пенообразователь на основе синтетических ПАВ с широким спектром применения.

ISSN 0869-7493



9 770869 749006