

ПОЖАРОВЗРЫВО БЕЗОПАСНОСТЬ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ 3'2008

Особенности зажигания парогазовой смеси нагретой до высоких температур металлической частицей

Влияние диффузии на воспламенение и горение многокомпонентных газовых смесей

Моделирование процесса пенотушения



Математическое моделирование зажигания дерева хвойной породы наземным грозовым разрядом

Применение твердой двуокиси углерода в качестве огнетушащего вещества

Уточненный порядок расчета одноуровневых разветвленных гидравлических сетей

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ

ТОМ 17 ♦ №3 ♦ 2008

FIRE & EXPLOSION SAFETY

Научно-технический журнал
ООО "Издательство "Пожнаука"

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

СОДЕРЖАНИЕ

НОВОСТИ, КОНФЕРЕНЦИИ, ВЫСТАВКИ	3
ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ	
Бочкарев А. Н. Методика организации досмотра и определения потребности в современных технических средствах для обеспечения пожаровзрывобезопасности в гражданской авиации	8
Буланов И. Ю. Модель процесса гражданского воспитания курсантов образовательных учреждений МЧС России	13
Гундар С. В., Денисов А. Н. Изучение действий работников организаций и граждан в случае обнаружения пожара	21
ПРОЦЕССЫ ГОРЕНИЯ	
Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Особенности зажигания парогазовой смеси нагретой до высоких температур металлической частицей	26
Субботин А. Н. Влияние диффузии на воспламенение и горение многокомпонентных газовых смесей	33
Кузнецов Г. В., Барановский Н. В. Математическое моделирование зажигания дерева хвойной породы наземным грозовым разрядом	41
ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТЬ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ	
Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Авдеев А. С., Пищальников А. В., Орлов С. А., Уломский Е. Н. Показатели пожаровзрывоопасности противовирусного препарата триазавирина и полупродуктов его синтеза	46
ОГНЕЗАЩИТА	
Корольченко А. Я., Гаращенко А. Н., Гаращенко Н. А., Рудзинский В. П. Расчеты толщин огнезащиты, обеспечивающих требуемые показатели пожарной опасности деревоклееных конструкций	49
Кузнецов К. Л., Удилов В. П., Малышева С. Ф., Плотникова Г. В., Селезнев В. Ю. Исследование механизма снижения горючести поливинилхлоридных пластизолов при введении фосфорсодержащих антипиренов	57

(продолжение на следующей странице)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЖАРОВ

Воевода С. С., Корольченко Д. А., Макаров С. А. Обзор зарубежной литературы по моделированию процесса тушения нефтепродуктов пенами **60**

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Поландов Ю. Х., Барг М. А., Власенко С. А. Экспериментальное исследование влияния места установки взрывного клапана на давление взрыва в газовых топках **68**

ТУШЕНИЕ ПОЖАРОВ

Старков Н. Н., Костин А. А., Иванин С. В. Исследование вопросов применения твердой двуокиси углерода в качестве огнетушащего вещества для тушения пожаров **71**

ПОЖАРНАЯ АВТОМАТИКА

Артамонов В. С., Груданова О. В., Таранцев А. А. Уточненный порядок расчета одноуровневых разветвленных гидравлических сетей **77**

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ. СПРАВОЧНИК

84

*Журнал включен в "Реферативный журнал" и Базы данных ВИНТИ.
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.*

ПРЕСС-РЕЛИЗ ОРГАНИЗАЦИОННОГО КОМИТЕТА

7-й Международной специализированной выставки
 “ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ XXI ВЕКА” и

6-й Международной специализированной выставки
 “ОХРАННАЯ И ПОЖАРНАЯ АВТОМАТИКА”

(Комплексные системы безопасности)



17 апреля 2008 г. состоялось заседание объединенного Оргкомитета 7-й Международной специализированной выставки “Пожарная безопасность XXI века” и 6-й Международной специализированной выставки “Охранная и пожарная автоматика” (Комплексные системы безопасности), которые пройдут с 26 по 29 августа 2008 г. в Москве на ВВЦ.

В Оргкомитет выставок входят депутаты Государственной Думы Федерального Собрания Российской Федерации, ответственные сотрудники Совета Безопасности Российской Федерации, МВД России, МЧС России, Минобороны России, МПР России, Минюста России, Правительства Москвы, Правительства Московской области, ОАО “Газпром”, РАО “ЕЭС России”, нефтяной компании “Роснефть”, Международной ассоциации “Системсервис”, Всемирной Академии Наук Комплексной Безопасности, ГАО ВВЦ, Всероссийского добровольного пожарного общества, РВК “Эксподизайн”.

“Пожарная безопасность XXI века” имеет знак Российского союза выставок и ярмарок — показатель высокого качества выставочного мероприятия. С 2003 г. выставка является основной в Российской Федерации в области пожарной безопасности. Российский союз выставок и ярмарок включил “Пожарную безопасность XXI века” в сборник “Лучшие выставки 2007/2008 года”.

Обе выставки нацелены на демонстрацию новейших достижений в областях предупреждения и тушения пожаров, охраны объектов, а также на успешную пропаганду пожарной безопасности среди населения, защиты имущества граждан и объектов разных форм собственности от преступных посягательств.

В работе выставок примут участие свыше 300 российских и зарубежных компаний, представители законодательной и исполнительной власти Российской Федерации, сотрудники региональных органов исполнительной власти, специалисты предприятий,

занимающихся техническими средствами охраны и пожарной безопасностью объектов.

На выставках будут продемонстрированы средства, системы и изделия по тушению и предотвращению пожаров, действия пожарных по спасению людей из задымленных зданий (объектов), модели повседневной, парадной и боевой одежды для личного состава МВД, МЧС и охранных структур, проведены показательные мероприятия по обеспечению пожарной безопасности крупных мегаполисов — дни Москвы и Московской области, день технических средств безопасности.

Потребители средств пожаротушения и систем охранной и пожарной автоматики будут иметь возможность рассмотреть на конкурсной основе лучшие предложения и заключить контракты на поставку соответствующей продукции. Будут изучены также вопросы инвестирования российских предприятий, поставляющих указанные средства.

В рамках выставок предусмотрено проведение корпоративных научно-практических конференций, семинаров (круглых столов) и совещаний специалистов по актуальным проблемам охранной автоматики и пожарной безопасности.

С информацией о проекте Федерального закона “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности (в части установления общих требований пожарной безопасности людей, зданий, сооружений и окружающей среды)” выступил председатель подкомитета по законодательству в сфере обеспечения пожарной безопасности, деятельности единой системы предупреждения и ликвидации

чрезвычайных ситуаций Комитета Государственной Думы по безопасности депутат *В. А. Востротин*.

Директор выставок *Ю. А. Баранник* проинформировал членов Оргкомитета о состоянии подготовительной работы к выставкам (тематика, конкурсы, рекламная компания).

Будут организованы конкурсы: “Лучшее техническое решение в области пожарной безопасности”, “Лидер продаж продукции пожарно-технического назначения”, “Лучшее техническое решение в области охранной и пожарной автоматики”, “Лидер продаж продукции охранной и пожарной автоматики”, “Лучшие материалы и наглядные пособия по организации обучения населения мерам пожарной безопасности и противопожарной пропаганде”.

Ответственный секретарь Оргкомитета *В. С. Микляев* доложил проект “Деловой программы” выставки (тематика конференций, семинаров, круглых столов, показательных выступлений).

Полную информацию о выставке и проводимых в ее рамках мероприятиях можно получить в дирекции выставок по телефонам (495) 181-60-83, 258-87-62 или на сайте www.expo-design.info.

Пожарных оденут как на парад

На заказ отныне будут шить форму каждому российскому пожарному. Огнеборцам в ближайшее время выдадут ордера на обслуживание в ателье.

Как сообщили в МЧС России, шить на заказ будут в основном парадную форму, а повседневную, как и прежде, станут выдавать на вещевом складе. Исключение составят лишь случаи, когда у борца с огнем нестандартная фигура и рост и ему не подходит ни один имеющийся в наличии размер.

Интересно, что в ателье (кстати, МЧС заключит договора с лучшими швейными предприятиями) будут принимать заказы на индивидуальный пошив “парадки” на любой сезон. К зиме пожарным здесь справят меховые шапки и пальто, к весне — куртки и плащи, к лету — пилотки, фуражки и т.д. Причем индивидуально шить парадную форму будут всем сотрудникам Государственной противопожарной службы — от рядовых до генералов. А чтобы портные не были слишком загружены работой, каждому пожарному в порядке очередности выдадут ордер. “Отovarить” его можно будет в течение трех месяцев. Форму сотруднику должны шить максимум за 60 дней. Кстати, портным не нужно думать о материалах — их, а также погоны, эмблемы, кокарды, знаки различия и пуговицы ателье предоставит вещевая служба министерства. Если пожарному не понравится готовое изделие (мундир окажется с дефектами или будет плохо сидеть), он вправе потребовать, чтобы костюм перешили.

mchs.gov.ru

Руководителями научно-практических конференций, семинаров и круглых столов являются ведущие ученые и специалисты в области пожарной безопасности, комплексной безопасности и создания систем охраны особоважных объектов России.

При обсуждении вопросов выступили: первый вице-президент Российской инженерной академии *И. Н. Пономарев*, начальник Департамента Государственной защиты имущества МВД России *В. В. Савичев*, заместитель начальника Управления инвентаризации и оценки состояния лесов *А. А. Ермоленко*, заместитель генерального директора ФГП ВО ЖДТ России, главный инспектор по пожарному надзору на железнодорожном транспорте *В. П. Аксютин*, начальник Управления по пожарному надзору МЧС России по Московской области *И. А. Чернышов*, член Коллегии МВД России *И. Ф. Шилов*.

На заседании утверждены положения о конкурсах, составы конкурсных комиссий.

Причина крупного пожара на шахте в Львовской области (Украина) — безнадежно устаревшее оборудование

2 апреля 2008 г. на шахте “Степная”, расположенной в пос. “Горняк” Сокальского района Львовской области, возник сильный пожар, на ликвидацию которого прибыли 15 отделений и оперативная группа Государственной военизированной горноспасательной службы МЧС Украины.

Возгорание возникло в 9 ч 25 мин на глубине 550 м, сообщили в МЧС. В это время в шахте находилось 92 горняка. Всех их удалось успешно эвакуировать из задымленной шахты до 11 ч 40 мин.

Причину пожара на шахте “Степная” установили спустя 2 месяца. Он произошел из-за нарушения техники безопасности и безнадежно устаревшего оборудования, которое должно было выкачивать из шахты на поверхность взрывоопасную пыль от угля. Об этом во время совещания на Государственном предприятии “Львовуголь” 28 мая 2008 г. заявил председатель Государственного комитета Украины промышленной безопасности, охраны труда и горного надзора *Сергей Сторчак*.

Над выявленными причинами пожара работала специально созданная комиссия, в состав которой вошли специалисты научно-исследовательских институтов и Министерства угольной промышленности. Пострадавшим от пожара на шахте “Степная” уже выплатили компенсацию, но новое оборудование покупать руководители шахт не спешат. По словам чиновника, к этому времени в лаве, где произо-

шел пожар, работы так и не возобновлены. С разрешения Комитета возобновлены работы только в соседней лаве.

www.regnum.ru

Впервые сотрудникам пожарной охраны присвоено почетное звание “Заслуженный спасатель Российской Федерации”

Впервые сотрудникам пожарной охраны присвоено почетное звание “Заслуженный спасатель Российской Федерации”. Указом Президента Российской Федерации полковника внутренней службы *Олега Белоконого*, старшего прапорщика внутренней службы *Виктора Авотина*, прапорщика внутренней службы *Алексея Яроша* наградили за мужество и самоотверженность, проявленные в экстремальных условиях, высокие личные показатели в служебной деятельности.

Этим же указом “Орден мужества” получили заместители директора Федерального государственного унитарного авиационного предприятия *Валерий Дробинский* и *Валерий Крузе*, командир авиационного отряда Федерального государственного унитарного авиационного предприятия *Евгений Серых*.

За заслуги в области здравоохранения и многолетний добросовестный труд директор Федерального государственного учреждения здравоохранения “Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины имени А. М. Никифорова” *Сергей Алексанин* удостоен почетного звания “Заслуженный врач Российской Федерации”.

mchs.gov.ru

Прописка для брандмейстеров

В Железногорске на базе 290-го Спасательного центра будет создано высшее учебное заведение Государственной противопожарной службы. Об этом в ходе селекторного совещания в Сибирском региональном центре МЧС сообщил глава ведомства *Сергей Шойгу*.

“На создание вуза будут выделены серьезные средства, — подчеркнул С. Шойгу. — Его появление за Уралом жизненно важно для нас, поскольку мы испытываем здесь серьезный дефицит специалистов с высшим образованием”.

Отметим, в качестве места базирования рассматривались и иные города Сибири. Однако победил Железногорск, где существует развитая база — Спасательный центр. Еще одним доводом стало

центральное положение края относительно других регионов федерального округа.

“Новый институт — это и рабочие места, и дополнительные налоги, — прокомментировал решение губернатор *Александр Хлопонин*. — Но самое главное, молодые красноярцы получают еще одну возможность обрести квалификацию, профессию”.

Кстати, в Красноярске может появиться еще одна структура, связанная с МЧС. Речь идет о Центре по борьбе с катастрофами, в зону ответственности которого будет включен Азиатско-Тихоокеанский регион. Решение об этом должно быть принято на международном уровне, в рамках Шанхайской организации сотрудничества.

mchs.gov.ru

Международная научно-практическая конференция “Актуальные проблемы пожарной безопасности”

В Москве в рамках Международного салона “Комплексная безопасность-2008”, прошедшего на территории Всероссийского выставочного центра, состоялась научно-практическая конференция “Актуальные проблемы пожарной безопасности”.

В конференции, организованной Всероссийским научно-исследовательским институтом противопожарной обороны (ВНИИПО), приняли участие специалисты МЧС России и заинтересованных научных и общественных организаций, а также представители ведущих вузов страны.

Обращаясь к участникам конференции, первый заместитель министра РФ по чрезвычайным ситуациям *Руслан Цаликов* подчеркнул, что вопросы обеспечения пожарной безопасности в Российской Федерации по-прежнему остаются актуальными. “Несмотря на то, что за последние годы ситуацию удалось изменить и добиться снижения количества жертв при пожарах, в прошлом году от огня погибли почти 16 тысяч россиян”, — отметил Р. Цаликов.

Он рассказал, что начиная с 2002 г. количество пожаров удалось сократить на 18,6%, а число погибших людей — на 19,8%. При этом количество спасенных увеличилось более чем на 37%.

По мнению первого заместителя главы МЧС, данная конференция является важнейшим этапом в продвижении идеологии культуры безопасности населения.

Специалисты из России, Белоруссии и Украины обсудили актуальные вопросы современного состояния пожарной охраны и осуществления надзора в этой сфере, а также рассмотрели перспективы развития пожарно-спасательных сил и научного обеспечения пожарной безопасности.

В своем докладе заместитель министра РФ по чрезвычайным ситуациям Александр Чуприян отметил: “В настоящее время наша страна вышла на новый этап социально-экономического развития, что позволяет улучшить финансирование важнейших сфер жизнедеятельности человека, в том числе пожарной безопасности. Сегодня мы можем закупать новое пожарное оборудование, активно внедрять современные технологии пожаротушения. В конечном итоге от этого выигрывает безопасность общества в целом”.

Как сообщил А. Чуприян, активно продолжается работа по модернизации пожарной охраны России как за счет средств федерального бюджета, так и субъектов РФ. В последние годы за счет средств федерального бюджета было приобретено 704 основных пожарных автомобиля, 343 специальных пожарных автомобиля и 12742 средства индивидуальной защиты органов дыхания. За счет средств бюджетов субъектов РФ приобретено 1587 основных пожарных автомобилей, 249 специальных пожарных автомобилей и 4651 средство индивидуальной защиты органов дыхания.

Существенно изменилась и оплата труда пожарных. Средняя зарплата огнеборцев в 2002 г. составляла 6212 руб., в 2007 г. — уже 11352 руб., увеличение 82,78%.

Важным этапом дальнейшего развития в данной сфере стало принятие федеральной целевой программы “Пожарная безопасность в Российской Федерации на период до 2012 года”, которая была утверждена Президентом РФ в конце прошлого года.

Планируется, что одним из главных результатов реализации данной программы станет сокращение количества людей, погибших при пожарах, на 40%, при этом сумма материального ущерба от огня должна уменьшиться на 44%.

Общий объем финансирования ФЦП составит порядка 200 млрд рублей. Из этой суммы 2 млрд рублей будет выделено на различные научные исследования в области пожарной безопасности.

“Пожарная охрана России должна стать более мобильной, отвечающей требованиям и задачам времени. Современный пожарный — это некий универсальный солдат, владеющий несколькими специальностями, который в любой ситуации должен уметь оказать помощь человеку”, — подчеркнул Александр Чуприян.

Временно исполняющий обязанности директора Департамента пожарно-спасательных сил, специальной пожарной охраны и сил гражданской обороны МЧС России Михаил Верзилин в своем выступлении отметил, что сегодня пожарная охрана

России решает самый широкий круг задач по оказанию помощи населению в условиях чрезвычайной ситуации. По его словам, общее развитие пожарного дела в нашей стране проходит в русле общемировых тенденций.

В настоящее время в МЧС России происходят значительные структурные изменения в области организации деятельности пожарно-спасательных сил, направленные на оптимизацию имеющихся ресурсов и повышение эффективности управления подразделениями.

Реформирование, с одной стороны, обусловлено реализацией указа Президента РФ от 9 ноября 2001 г. № 1309 “О совершенствовании государственного управления в области пожарной безопасности”, в соответствии с которым в состав МЧС России были включены силы и средства Государственной противопожарной службы. По итогам оптимизации пожарных сил предусматривается создание единой пожарно-спасательной службы МЧС России. Планируется, что служба будет состоять из рационально размещенных на территории страны спасательных центров, учреждений и организаций по их обеспечению.

Пожарно-спасательная служба должна стать основой единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС).

Для решения текущих задач РСЧС должна быть построена по принципу двухуровневой системы реагирования: федеральный уровень сил будет представлен центральным аппаратом и силами федерального подчинения, территориальный — местными органами управления и силами территориального подчинения.

Такой подход соответствует опыту большинства развитых стран мира, в том числе США, Германии, Франции, Японии, где проблема борьбы с новыми видами опасности нашла решение в расширении функций пожарной охраны, которая при сохранении своего исторического названия по существу превратилась в многофункциональную аварийно-спасательную службу.

В качестве одного из приоритетных направлений развития пожарной охраны Михаил Верзилин выделил завершение мероприятий по созданию федеральной группировки пожарных, численность которой к 2009 г. должна достигнуть 220 тыс. человек.

Особое внимание он обратил на вопросы дальнейшего развития добровольной пожарной охраны. В настоящее время в России около 100 тыс. населенных пунктов, в которых проживает около 30 млн человек, находятся за пределами нормативного радиуса выезда пожарных. При этом за последние

годы реагирование на пожары добровольных дружин снизилось в 15 раз. “Надо отметить, что, например, во Франции сейчас группировка пожарных составляет 238 тыс. сотрудников, 206 из которых — именно добровольцы”, — сказал Михаил Верзилин.

МЧС России подготовило соответствующие изменения в законодательные акты, которые в ближайшее время будут рассмотрены в Государственной Думе РФ.

Планируется, что в результате изменений в законодательстве на критически важных для национальной экономики объектах будет создана группировка численностью 60 тыс. человек, а добровольная пожарная охрана получит эффективную нормативно-правовую базу.

Не менее важными вопросами в сфере обеспечения пожарной безопасности, по мнению участников конференции, являются совершенствование и дальнейшее развитие надзорной функции в сфере обеспечения пожарной безопасности.

Заместитель директора Департамента надзорной деятельности *Анатолий Гилетич* особо отметил, что одной из главных причин того, что на пожарах по-прежнему гибнут много людей, является так называемый человеческий фактор, в том числе крайне низкий уровень подготовки руководителей и обслуживающего персонала и невыполнение требований Государственного пожарного надзора.

За прошлый год органами надзора проведено более 1 млн контролирующих мероприятий, выявлено 6,8 млн нарушений. По результатам была приостановлена деятельность 17565 объектов. Но если пять лет назад предписания проверяющих выполнялись лишь на 60%, то теперь эта цифра достигла 84%.

В целях сокращения административных ограничений предпринимательской деятельности при осуществлении государственного надзора (контроля) министерством ведется планомерная работа по устранению факторов, препятствующих развитию предпринимательства и созданию благоприятных условий для успешной экономической деятельности хозяйствующих субъектов.

Важнейшим шагом к решению поставленных перед пожарным надзором задач следует считать подготовку проекта технического регламента “Об об-

щих требованиях пожарной безопасности”, находящегося в настоящее время на рассмотрении в Государственной Думе Федерального Собрания Российской Федерации (прошел второе чтение).

В 2008 г. МЧС России продолжит работу по внедрению системы независимой оценки рисков в области пожарной безопасности, гражданской обороны и защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

Правительственная комиссия по проведению административной реформы разработала рекомендации по оптимизации осуществления федеральными органами исполнительной власти государственных функций, одной из которых является разработка административных регламентов федеральных органов исполнительной власти.

В рамках данного направления МЧС России был разработан и утвержден административный регламент по исполнению государственной функции по надзору за выполнением установленных требований пожарной безопасности.

Следующим шагом в этом направлении станет принятие административного регламента исполнения министерством государственной функции по лицензированию отдельных видов деятельности, отнесенных к его компетенции.

Ключевым направлением в области снятия административных барьеров является профилактика правонарушений, связанных с исполнением служебных обязанностей инспекторским составом. В этих целях организована работа “телефонов доверия” в субъектах Российской Федерации и центральном аппарате МЧС России.

В области совершенствования надзорной функции удалось достигнуть существенных результатов. По последним данным Минэкономразвития только 11 респондентов из 100 предъявляют претензии к необоснованным действиям сотрудников пожарного надзора.

По итогам работы конференции специалистами были даны определенные рекомендации по дальнейшему развитию и совершенствованию мероприятий в сфере пожарной безопасности.

mchs.gov.ru



Доцент кафедры безопасности полетов
и жизнедеятельности Московского
государственного технического универ-
ситета гражданской авиации

А. Н. Бочкарев

УДК 658/562:621.396:681.5

МЕТОДИКА ОРГАНИЗАЦИИ ДОСМОТРА И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТРЕБНОСТИ В СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВАХ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ В ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

Рассматриваются технические средства обнаружения взрывчатых и легковоспламеняющихся веществ, методика расчета потребности в аппаратуре для обеспечения пожаровзрывобезопасности на объектах гражданской авиации.

Выявление жидких и твердых взрывчатых веществ (ВВ), легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ) в процессе предполетного досмотра пассажиров, ручной клади и багажа — одна из главных задач обеспечения пожаровзрывобезопасности в гражданской авиации. В данной статье приведен ряд определений опасных веществ и предметов.

Взрывчатое вещество — любое вещество, в том числе в жидком состоянии, или смесь веществ, способные к взрывчатому превращению (взрыву) в определенных условиях. Отличительными особенностями взрыва ВВ являются выделение тепла, большая скорость распространения и наличие газообразных (парообразных) продуктов реакции. Необходимо иметь в виду, что понятия “взрывчатое вещество” в техническом и юридическом смысле совпадают не полностью. Например, пикриновая кислота — типичное взрывчатое вещество, в мирное время изготавливается и используется только как реактив, полупродукт, краситель. Аммиачная селитра применяется как минеральное удобрение, в то же время в смеси с дизельным топливом или при воздействии высокой температуры является мощным взрывчатым веществом. Бензин — ЛВЖ, которая может использоваться в зажигательном устройстве, с другой стороны, это широко распространенное топливо для различных видов транспорта. В указанных случаях при диагностике исследуемое вещество обозначается как взрывчатое или зажигательное в техническом смысле. В юридическом

смысле отнесение вещества к взрывчатому или зажигательному производится только в результате расследования, так как необходимо установить в деянии наличие субъективной стороны состава преступления, а также особого порядка изготовления, приобретения, применения и хранения данного вещества.

Использование энергии взрыва (воспламенения) предполагает изготовление конкретного устройства с определенными конструктивными особенностями — так называемого взрывного (ВУ) или зажигательного (ЗУ) устройства.

ВУ (ЗУ) — любое устройство, специально подготовленное и при определенных условиях способное к взрыву (воспламенению). Самодельное ВУ или ЗУ — такое устройство, в котором использован хотя бы один из элементов конструкции самодельного изготовления или применена непромышленная, нерегламентированная сборка. Промышленное ВУ или ЗУ — устройство, изготовленное с использованием промышленной технологии в соответствии с требованиями нормативно-технической документации.

В подавляющем большинстве практически встречаемых ВУ и ЗУ самым необходимым элементом является взрывчатое или легковоспламеняющееся вещество (ЛВ) (в таблице дана характеристика некоторых ЛВЖ, которые могут быть использованы в ЗУ). В случае полной утраты снаряжением взрывчатых или зажигательных свойств устройство не будет взрывным или зажигательным. Однако

Пожароопасные свойства некоторых легковоспламеняющихся веществ

Вещество (формула)	Характеристика вещества	Плотность паров и газов по воздуху	Температура, °С			Предельно допустимая концентрация, мг/м ³	Пределы воспламе- нения смеси с воз- духом (нижний – верхний), % об.
			кипения	вспышки	самовоспла- менения		
Бензины	Бесцветные ЛВЖ	2,7–3,5	–	От –17 до 44	255–474	100–300	0,76–8,12
Бензол (C ₆ H ₆)	Бесцветная ЛВЖ	2,77	80,1	–11	562	5	1,4–7,1
Бутиловый спирт (C ₄ H ₉ ОН)	ЛВЖ	2,6	117,5	–34	345	10	1,7–12
Дихлорэтан (C ₁ CH ₂ –CH ₂ Cl)	Бесцветная ЛВЖ	3,4	83,5	9	413	10	6,2–16,0
Метиловый спирт (метанол) (CH ₃ ОН)	Бесцветная ЛВЖ	1,1	64,7	8	460	5	6,0–34,7
Серовуглерод (CS ₂)	Бесцветная ЛВЖ	2,6	46,25	–43	90	1	1,0–50,0
Стирол (C ₆ H ₅ CH ₃)	Бесцветная ЛВЖ	3,59	146	30	530	5	1,1–5,2
Толуол (C ₆ H ₅ CH ₃)	Бесцветная летучая ЛВЖ	3,2	110,63	4	536	50	1,3–6,7
Уксусная кислота (CH ₃ COOH)	Бесцветная ЛВЖ	2,06	118,1	38	454	5	3,3–22,0
Этилбензол (C ₆ H ₅ CH ₂ CH ₃)	Бесцветная ЛВЖ	3,66	136,2	20	420	–	0,9–3,9
Этиловый спирт (C ₂ H ₅ ОН)	Бесцветная ЛВЖ	1,6	78,37	13,0	404	1000	–

в случае временной, легко восстановимой утраты снаряжением этих свойств (например, высушивание отсыревшего дымного пороха, разбавление ЛВЖ водой), вещество условно можно рассматривать как взрывчатое или зажигательное, а устройство на его основе — как взрывное с указанием конкретных возможностей восстановления его взрывчатых или зажигательных свойств. На практике наиболее распространенные ВУ и ЗУ состоят из заряда ВВ (ЛВЖ), конструктивно объединенного со средствами инициирования, корпуса и вспомогательных элементов, обеспечивающих их функционирование. Заряд ВВ (ЛВ) и средства инициирования являются основными элементами ВУ или ЗУ.

Непосредственным источником информации о химическом составе исследуемого детектором вещества или предмета (ВУ, ЗУ) служит снимаемая с него проба. Сам же аналитический процесс состоит из последовательных стадий, на каждой из которых осуществляются преобразования или самой пробы, или поступающих от нее в ходе анализа сигналов. Отбор пробы, как правило, осуществляется специалистом, и эта стадия во многом определяет тактику поиска, а также важные характеристики: количество обнаруженного вещества в пробе и общее время цикла аналитической деятельности.

Частицы ВВ могут располагаться как в виде локализованных областей, так и рассеянно. При этом первичным источником принято считать непосредственное скопление ВВ в определенном объекте. В свою очередь, к вторичным источникам относятся те части веществ, которые присутствуют в воздухе внутри объекта и около него в виде паров или оседают на близлежащих поверхностях. В связи с этим различают два способа обследования предмета на содержание в нем ВВ, ЛВ. Один из способов включает в себя отбор воздушных проб из внутреннего объема или в непосредственной близости и дальнейший их анализ на содержание паров ВВ, ЛВ. Использование данной методики предъявляет высокие требования к чувствительности анализа, которая в данном случае определяется летучестью обнаруживаемых веществ. Другой способ требует непосредственного механического контакта проботборного приспособления с поверхностью объекта, содержащего ВВ, ЛВ. Обычно приспособление с отобранной пробой после этого подвергается нагреву, испарившееся вещество пробы вводится в анализатор. Однако указанный способ не дает возможности отобрать пробу из внутреннего объема без нарушения целостности оболочек объекта, кро-

ме того, его применение может быть нежелательным по соображениям безопасности.

Немаловажными факторами для работы с детекторами ВВ и ЛВ являются их малогабаритность и удобство в использовании. Это необходимое условие для качественного и оперативного отбора проб с подозрительного объекта. Анализ отобранных проб должен осуществляться аппаратурой, отвечающей ряду основных требований:

- чувствительность анализа должна обеспечивать обнаружение паров вещества в диапазоне концентраций от 10–13 г/см³ и ниже;
- уровень селективности анализа должен быть достаточен для детектирования обнаруживаемых веществ на фоне различных загрязнений атмосферного воздуха и других примесей, которые могут оказаться в составе пробы;
- скорость проведения анализа должна обеспечивать получение результатов за минимальное время.

Таким требованиям отвечает лишь небольшое количество современных детекторов обнаружения взрывчатых веществ. Например, особо распространено на данный момент устройство под названием “Электронный нос”. Указанный прибор — это тип анализатора паров на основе матрицы разнородных (неравнозначных) сенсоров, имитирующий работу человеческого органа обоняния. “Электронный нос” обеспечивает узнаваемый визуальный образ специфической смеси паров (пахучих веществ), которая может содержать сотни различных химических соединений. Он разработан как универсальный детектор, количественно определяющий и характеризующий все типы запахов.

Но несмотря на все видимые удобства данного прибора, он обладает возможностями анализа только тех ВВ, которые присутствуют в воздухе внутри объекта и около его поверхностей в виде паров. В то же время при работе с подозрительными объектами бывает необходимо снять пробу частиц, осевших на поверхности предмета. Без этого дополнительного обследования порой невозможно определить реальное наличие или отсутствие ВВ. Поэтому, например, корпорацией Scintrex Trace Corp. — производителем ряда современных систем химического обнаружения — был создан EVD-3000 — ручной детектор для обнаружения ВВ. Данный прибор уникален тем, что обеспечивает поиск как следов взрывчатых веществ, так и их паров, что позволяет проводить контроль багажа, ручной клади без нарушения их целостности.

Как и “Электронный нос”, EVD-3000 создан на базе газового хроматографа с высокой чувствительностью. Он способен обнаруживать пластиковую взрывчатку и ВВ, изготовленные по методу высоко-

го давления паров, выдавая при этом достоверные и четкие результаты. Помимо этого EVD-3000 отличается:

- гибкая система питания — использование аккумулятора напряжением 12 В делает возможным применение детектора практически в любых условиях;
- чувствительность, избирательность и безопасность — способен обнаруживать следы С-4, тринитротолуола, РЕТН, семтекса, EGDN, DMNB, RDX, EGMN и нитроглицерина без использования радиоактивного источника или внешнего газа-носителя;
- портативность — полностью автономен, легок, полный комплект поставляется в ударозащищенном чемодане для переноски, готов к применению в любой момент и в любом месте;
- простота и удобство использования — готов к работе в течение одной минуты после включения; одно нажатие клавиши активизирует режим отбора проб и анализа; результаты анализа высвечиваются на простом жидкокристаллическом индикаторе.

Для досмотра пассажиров в аэропортах может быть использована многоуровневая система спецконтроля. На первом уровне применяются стационарные металлоискатели, на втором должны использоваться системы обнаружения ВВ и ЛВ. Например, стационарная система для обнаружения взрывчатых веществ “Sentinel II” или радиолокационный сканирующий портал “SafeScout 100”.

Новый арочный детектор “Sentinel II” представляет собой газоанализатор последней разработки, который позволяет обнаруживать микроскопические частицы ВВ, скрытые на теле человека, проходящего через створ детектора. Данная система при установке ее на втором рубеже предполетного досмотра хорошо дополняет стационарные металлоискатели, обеспечивая максимальную безопасность аэропорта и воздушных судов.

Принцип действия нового оборудования следующий: вошедший пассажир обдувается струями воздуха, которые затем поступают в тестовый отсек установки, через несколько секунд на мониторе отображаются результаты анализа на наличие частиц взрывчатого вещества (гексогена, нитрата аммония, тринитротолуола, динамита и др.). Работа прибора основана на технологии спектрометрии ионной подвижности, что позволяет идентифицировать сверхмалые количества детектируемых веществ, скрытых на теле человека. Данное оборудование можно настраивать на работу с новыми видами опасных веществ путем замены программного кода, что заметно расширяет его функциональные возможности и увеличивает срок службы. В отли-

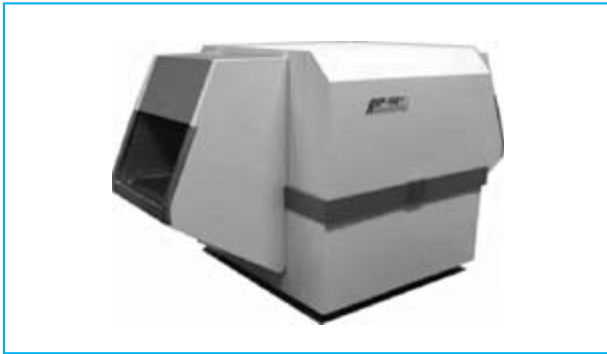


Рис. 1. Обнаружитель взрывчатых веществ ЯКР-160

чие от других систем аналогичного назначения оборудование “Smiths Heimann” прекрасно работает в пыльных и влажных средах, а также на участках с интенсивным движением, обеспечивая быструю и безошибочную проверку пассажиров.

Бесконтактный метод сбора проб и отсутствие вредного электромагнитного воздействия на человека исключают морально-этические проблемы при организации досмотра. Пропускная способность установки составляет 420 человек в час, работа детектора полностью автоматизирована и не приводит к увеличению времени на подготовку и отправку рейсов.

Для обнаружения ВВ и ЛВЖ в багаже и ручной клади эффективна многоуровневая система досмотра. На первом уровне используются рентгено-телевизионные системы, на втором — аппаратура для выявления ВВ и ЛВЖ.

Например, на втором уровне может применяться установка ЯКР-160, позволяющая бесконтактно обнаруживать ВВ на основе пластита, гексогена, тэна, октогена (рис. 1). Характеристики ЯКР-160 приведены ниже:

Размер входного тоннеля, мм	600×400
Типы ВВ, обнаруживаемые прибором	Гексоген, пластины и эластичные на его основе, тэн и ВВ на его основе
Время обнаружения, с, не более	12
Вероятность обнаружения, %, выше	98
Вероятность ложной тревоги, %, менее	0,5
Габаритные размеры, мм	1360×1450×2510
Пропускная способность, мест ручной клади и багажа	500

Для обнаружения ЛВЖ (на втором уровне) следует использовать новую аппаратуру “THSCAN LS8016”, которая предназначена для автоматической идентификации жидких взрывчатых и легко воспламеняющихся веществ (рис. 2). Установка идеальна для применения в аэропортах на пунктах



Рис. 2. Инспекционная система обнаружения ЛВЖ “THSCAN LS8016”

предполетного досмотра пассажиров. Она позволяет идентифицировать жидкости в любой таре (пластик, металл, стекло, керамика). Имеется встроенная база данных взрывчатых и воспламеняющихся жидкостей, различных препаратов, напитков, химических веществ.

Ниже приведены показатели “THSCAN LS8016”:

Общие характеристики

Габаритные размеры (длина × ширина × высота), мм	800×500×1300
Размеры досматриваемого объекта (ширина × высота), мм	160×500
Количество операторов	1
Длительность сканирования одного объекта, с	5
Утечка радиации, Sv, менее	1
Доза за одну инспекцию, Sv, менее	4

Эксплуатационные данные

Температура, °С:	
хранения	От -40 до +60
эксплуатации	От 0 до +40
Относительная влажность воздуха (без конденсата), %	10–95
Источник питания	220 В AC/110 В AC (+10–15%), (50/60 ± 3) Гц
Потребляемая мощность, кВт	0,4

Методика расчета потребности в технических средствах для обнаружения ВВ и ЛВ в аэропортах различной пропускной способности

Исходные данные: аэропорт № 1 — пропускная способность 1000000 пассажиров в год, № 2 — 6000000 пассажиров в год.

Количество технических средств, необходимых для производства предполетного досмотра пассажиров, ручной клади и багажа на наличие ВВ и ЛВ, определяется по формуле:

$$N = AK/P,$$

где A — максимальное количество пассажиров, вылетающих за 1 ч;

K — количество ручной клади и багажа на 1 пассажира;

P — пропускная способность установки.

1. Расчет для аэропорта № 1

а) Для досмотра пассажиров:

$P = 420$ пассажиров в 1 ч (из характеристик арочного детектора для обнаружения ВВ).

Пропускная способность аэропорта $1000000 / (365 \cdot 24) = 114$ пассажиров в 1 ч.

Будем считать, что аэропорт относится к IV классу по пропускной способности, тогда:

$A = 200$ пассажиров в 1 ч;

$N = 200 / 420 = 1$ арочный детектор для обнаружения ВВ (1 детектор для обнаружения ЛВЖ).

б) Для досмотра ручной клади и багажа:

$P = 500$ мест ручной клади и багажа в 1 ч;

$K = 2$ места ручной клади и багажа;

$N = (200 \cdot 2) / 500 = 1$ детектор обнаружения ВВ в клади и багаже (1 детектор для обнаружения ЛВЖ).

2. Расчет для аэропорта № 2

а) Для досмотра пассажиров:

$P = 420$ мест ручной клади и багажа в 1 ч (из характеристик арочного детектора для обнаружения ВВ).

Пропускная способность аэропорта $6000000 / (365 \cdot 24) = 685$ пассажиров в 1 ч.

Будем считать, что аэропорт относится к III классу, в результате находим:

$A = 700$ пассажиров в 1 ч;

$N = 700 / 420 = 2$ арочных детектора для обнаружения ВВ (2 детектора для обнаружения ЛВЖ).

б) Для досмотра ручной клади и багажа:

$P = 500$ мест ручной клади и багажа в 1 ч;

$K = 2$ места ручной клади и багажа;

$N = (700 \cdot 2) / 500 = 3$ детектора обнаружения ВВ в ручной клади и багаже (3 детектора для обнаружения ЛВЖ).

Таким образом, хорошо организованное и научно-обоснованное многоуровневое применение технических средств обнаружения ВВ, ЛВ, ВУ и ЗУ позволит не допустить попадания этих опасных веществ и предметов на борт воздушного судна, что обеспечит стабильную и высокоэффективную работу гражданской авиации в современных условиях.

Поступила в редакцию 08.04.08.



Преподаватель кафедры гражданской защиты
Ивановского института ГПС МЧС РФ, аспирант
кафедры общей педагогики Шуйского государственного педагогического университета

И. Ю. Буланов

УДК 614.849

МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ГРАЖДАНСКОГО ВОСПИТАНИЯ КУРСАНТОВ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ МЧС РОССИИ

Рассматриваются проблема создания теоретической модели процесса гражданского воспитания курсантов в условиях образовательных учреждений МЧС России, составляющие модель компоненты, анализируется характер связей между этими компонентами.

Реализация мероприятий реформирования МЧС России связана с возрастанием психологических нагрузок на все категории личного состава и требует повышения качества воспитательной работы. В настоящее время совершенствование системы воспитания, морально-психологического и информационного обеспечения в системе МЧС России осуществляется на основе Конституции Российской Федерации, федерального законодательства, ведомственных нормативно-правовых актов, определяющих социальный и государственный заказ в области гражданского воспитания.

Так, Федеральный закон Российской Федерации от 10 апреля 2000 г. № 51-ФЗ “Об утверждении Федеральной программы развития образования” [1] в подразделе 2, характеризующем проблемы образования, прямо указывает, что “...судьба подрастающего поколения в значительной мере зависит от восстановления и устойчивого функционирования системы воспитания, определяющей нравственные ориентиры, дающей прочную духовную опору на подлинные, а не мнимые жизненные ценности, формирующей гражданственность и патриотизм”.

Одной из задач развития образования закон устанавливает усиление воспитательной функции образования, направленной на формирование гражданственности, трудолюбия, нравственности, уважения к правам и свободам человека, любви к Родине, семье, окружающей природе. Закон Российской Федерации от 10 июля 1992 г. № 3661-I “Об образовании” [2] в качестве одного из принципов государственной политики в области образования выделяет воспитание гражданственности, трудолюбия, уважения к правам и свободам человека, любви к окружающей природе, Родине, семье. Постановление Правительства Российской Федера-

ции от 19 марта 2001 г. № 196 “Об утверждении Типового положения об общеобразовательном учреждении” [3] определяет, что деятельность общеобразовательного учреждения основывается на принципах демократии, гуманизма, общедоступности, приоритета общечеловеческих ценностей, жизни и здоровья человека, гражданственности, свободного развития личности, автономности и светского характера образования. Основными целями общеобразовательного учреждения являются формирование общей культуры личности обучающихся на основе усвоения обязательного минимума содержания общеобразовательных программ, их адаптация к жизни в обществе, создание основы для осознанного выбора и последующего освоения профессиональных образовательных программ, воспитание гражданственности, трудолюбия, уважения к правам и свободам человека, любви к окружающей природе, Родине, семье, формирование здорового образа жизни. Приказ Министерства образования Российской Федерации от 18 октября 1999 г. № 574 “О реализации решения коллегии от 28 сентября 1999 г. № 19 “Об основных направлениях развития воспитания в системе образования” [4] определяет, что государственная политика в сфере воспитания должна включать в себя цели и задачи воспитания, стратегию их решения, разработку законодательства, государственных программ, выделение ресурсов, поддержку социально значимых воспитательных проектов, определение механизмов контроля. В совокупности все это должно способствовать созданию необходимых условий для формирования системы воспитания подрастающих поколений в соответствии с их потребностями и общественными запросами. Гражданское, патриоти-

ческое воспитание — одно из важнейших направлений государственной политики в образовании.

Письмо Министерства образования Российской Федерации от 15 января 2003 г. № 13-51-08/13 “О гражданском образовании учащихся общеобразовательных учреждений Российской Федерации” определяет, что главной целью гражданского образования является воспитание гражданина для жизни в демократическом государстве, гражданском обществе. Такой гражданин должен обладать определенной суммой знаний и умений, иметь сформированную систему демократических ценностей, а также готовность участвовать в общественно-политической жизни школы, местных сообществ. Гражданское образование направлено на формирование гражданской компетентности личности — совокупности готовности и способностей, позволяющих ей активно, ответственно и эффективно реализовывать весь комплекс гражданских прав и обязанностей в демократическом обществе, применить свои знания и умения на практике. В процессе формирования демократических ценностных ориентиров важным является воспитание на основе социокультурных и исторических достижений многонационального народа Российской Федерации, народов других стран, а также культурных и исторических традиций родного края. Гражданское образование представляет собой единый комплекс, стержнем которого являются политическое, правовое и нравственное образование и воспитание.

Эти и другие нормативно-правовые акты создают правовую основу для формулирования социальных требований к уровню гражданственности молодежи в целом и курсантов образовательных учреждений МЧС России в частности.

Государственную политику в области реализации социального заказа призваны претворять в жизнь общеобразовательные учреждения государства, в том числе и образовательные учреждения МЧС России. Одним из приоритетных направлений деятельности образовательных учреждений МЧС России должно быть гражданское воспитание курсантов.

Целью гражданского воспитания в образовательных учреждениях МЧС России является формирование гражданственности курсантов.

Частные цели гражданского воспитания классифицируются (по признаку воздействия на сферы личности) на три группы — это цели формирования: гражданского сознания личности — представлений, взглядов, убеждений, идеалов; эмоциональной сферы — чувств, переживаний, отношений; поведения, отношения и участия в деятельности [5].

1. *Цели формирования гражданского сознания личности* — это философско-мировоззренческое

самоопределение человека, убежденность в справедливости демократического устройства, истинности демократических и гуманистических ценностей; готовность к социальному и профессиональному самоопределению, национальное самосознание; осознание необходимости заботы об окружающей среде, сохранения и приумножения национальных культурно-исторических ценностей, развитие свободомыслия, сочетающегося с убеждением в необходимости личной ответственности и дисциплины, торжества закона и порядка, самостоятельность и независимость мышления.

2. *Цели формирования эмоциональной сферы гражданина* — развитое чувство верности и преданности родине, дому, семье, уверенности в государстве как гаранте соблюдения демократических прав и свобод, ответственности перед государством, долга, достоинства, гражданской чести, социального оптимизма; формирование эстетической оценки прекрасного и безобразного в жизни людей, общества.

3. *Цели формирования гражданского поведения* — это направленность и здоровый образ жизни, культуру досуга, достижение жизненного успеха, законопослушное поведение, сопротивление злу, подавление асоциальных инстинктов, национализма, жестокости и вандализма, формирование социальной активности, деловых качеств, предприимчивости, навыков коммуникативного общения, социальной мобильности, трудолюбия.

Задачами гражданского воспитания являются:

- обучение курсантов навыкам гражданского поведения в процессе деятельности;
- создание таких условий жизнедеятельности в образовательных учреждениях МЧС России, в которых интериоризация курсантами гражданских ценностей будет являться безусловной;
- содействие развитию качеств, навыков, модели поведения, мотиваций и установок личности, позволяющих реализовывать и отстаивать выбранную позитивную систему ценностей;
- формирование личностных установок курсантов на собственную точку зрения, свободу слова, чувство собственного достоинства;
- повышение культуры межнациональных и межэтнических отношений; использование национальных традиций и современного опыта в области гражданского воспитания.

Процесс гражданского воспитания реализуется на основе принципов гражданского воспитания с учетом педагогических условий с помощью методов и средств гражданского воспитания.

• Под *принципами гражданского воспитания* мы понимаем систему основных требований к организации процесса воспитания, определяющих

воспитательный процесс посредством норм, правил и рекомендаций. Эти требования зависят от целей и задач общества, закономерностей развития личности. Система принципов не является статичной, она постоянно изменяется, корректируется в соответствии с той или иной концепцией воспитания и педагогической позицией ученых-педагогов. Значительный вклад в ее разработку внесли такие ученые, как Я. А. Коменский, К. Д. Ушинский, А. С. Макаренко, Б. З. Вульф, Е. В. Бондаревская, Н. Е. Щуркова и др. К принципам гражданского воспитания относятся:

- *Принцип гуманистической направленности* — предполагает последовательное отношение педагога к воспитаннику как к ответственному и самостоятельному субъекту собственного развития, построение субъект-субъектных отношений в процессе воспитания. Реализация принципа гуманистической направленности гражданского воспитания в практике воспитательной работы образовательных учреждений МЧС России влияет: на развитие у курсанта рефлексии и саморегуляции; на формирование его отношений к миру и с миром, к себе и с самим собой; на развитие чувства собственного достоинства, ответственности, терпимости; на формирование личности — носителя демократических и гуманистических отношений в обществе.

- *Принцип культуросообразности* предполагает, что воспитание должно основываться на общечеловеческих ценностях культуры и строиться в соответствии с ценностями и нормами тех или иных национальных культур, со специфическими особенностями, присущими традициям тех или иных регионов, не противоречащими общечеловеческим ценностям. В соответствии с принципом культуросообразности воспитания перед педагогом стоит задача приобщения курсантов к различным пластам культуры этноса, общества и мира в целом.

- *Принцип диалогичности* предполагает, что духовно-ценностная ориентация курсантов и их развитие осуществляются в процессе такого взаимодействия воспитателей и воспитуемых, содержанием которого являются обмен ценностями (ценностями, выработанными историей культуры конкретного общества; ценностями, свойственными субъектам воспитания как представителям различных поколений и субкультур; индивидуальными ценностями конкретных членов воспитательной организации), а также совместное продуцирование ценностей. Диалогичность воспитания не предполагает равенства между воспитателем и воспитуемыми. Это обусловлено возрастными различиями, неодинаковостью жизненного опыта, асимметричностью социальных ролей. Но диалогичность требует не столько равенства, сколько искренности и

взаимных уважения и принятия. Действие, содействие, соучастие, гражданская деятельность — это результат общения, диалога, управления учебно-воспитательным процессом со стороны педагога. Необходимо преобразовать позицию воспитателя и подчиненную позицию воспитанника в позиции сотрудничающих людей. В соответствии с этим принципом педагог не воспитывает, не учит, а актуализирует, стимулирует стремление учащихся к саморазвитию, создает условия для самовоспитания.

- *Принцип персонализации* заключается в оказании помощи курсантам в создании условий для развития личностного потенциала, определении индивидуальной траектории социального развития. Саморазвитие личности происходит под влиянием множества социальных и воспитательных факторов, но эти факторы развивают и формируют личность лишь в той мере, в какой они вызывают положительный отклик в ее внутренней сфере (психологических переживаниях) и стимулируют ее собственную активность в работе над собой. В основе принципа лежит соотношение между свободой выбора и личной ответственностью за результаты своей деятельности. Эффективность реализации данного принципа обеспечивается, если создана среда взаимной гражданской ответственности, конструктивного общения, диалога как формы социокультурного взаимодействия, способствующего развитию навыков критически-рефлексивного осмысления гражданских ценностей.

- *Принцип дифференциации* направлен на учет типичных социально-психологических особенностей курсантских коллективов, деловых, межличностных и межгрупповых отношений в коллективе. Учет этого принципа предполагает изучение воспитателем места каждого воспитанника в системе межличностных отношений, комплектование групп согласно психологической совместимости и по интересам, создание ситуации успеха для каждого, забота о самочувствии и настроении каждого, индивидуальный подход в организации коллективной творческой деятельности. Посредством гражданского воспитания воспроизводятся и передаются нормы коллективного общежития, социально-групповой ценностной ориентации.

Все принципы действуют в системе, взаимодополняя и взаиморазвивая друг друга. Они в качестве регуляторов задают “русло” протекания воспитательного процесса, характер поведения педагога, стратегию его деятельности, определяющую способ реагирования на ситуации и характер собственной активности.

Под методами гражданского воспитания мы понимаем способы взаимосвязанной деятельности воспитателей и воспитанников, направленной на

решение задач гражданского воспитания. Методы гражданского воспитания условно разделены на четыре группы и представляют собой [6]:

- 1) методы формирования сознания: рассказ, беседа, лекция, дискуссия, диспут, пример;
- 2) методы организации деятельности и формирования опыта поведения: упражнение, приучение, поручение, требование, создание воспитывающих ситуаций;
- 3) методы стимулирования поведения: соревнование, поощрение, наказание;
- 4) методы контроля, самоконтроля и самооценки: наблюдение, опрос, тестирование, анализ результатов деятельности.

Распределение методов по группам в значительной мере условно, потому что личность формируется целиком, не по частям, потому что сознание, отношения, оценки и поведение формируются в единстве в любых обстоятельствах и под влиянием намеренных или случайных действий. В психологии существует принцип единства сознания и деятельности: сознание формируется в деятельности. Тем не менее основная функция 1-й группы методов состоит в формировании отношений, установок, направленности, убеждений и взглядов курсантов — всего того, в основе чего лежат знания о гражданских ценностях. В свою очередь убеждения человека отражаются на его поведении.

Методы 2-й группы реализуют принцип воспитания в деятельности.

С помощью методов 3-й группы проводятся регулирование поведения, воздействие на мотивы деятельности курсантов, так как общественное одобрение или осуждение влияет на поведение, происходит закрепление или торможение различных форм поведения.

Методы контроля и самоконтроля направлены на анализ и оценку результатов гражданского воспитания и влияют на формирование гражданственности скорее косвенно, они необходимы для постоянного контроля за процессом гражданского воспитания.

Под формами гражданского воспитания мы понимаем конкретные мероприятия воспитательной работы.

Исходя из социального заказа, в образовательных учреждениях МЧС России необходимо разработать модель выпускника, обладающего высоким уровнем сформированности гражданственности. Модель выступает как теоретический образ, служащий основанием для проектирования воспитательной политики. Кроме того, модель выпускника предполагает формулирование основных положений, соответствие которым определяет достижение целей воспитания.

Выпускник образовательного учреждения МЧС России как гражданин своей страны это:

1. Личность, обладающая устойчивыми знаниями об общественно-государственном устройстве своей страны; об истории развития и становления российской государственности; о символах государственности: российских флаге, гербе, гимне; о правовых и нравственных нормах общественной жизни.

2. Личность с осознанной и активной гражданской позицией, высоким уровнем патриотизма, выражающегося в беззаветной любви к Родине, желании и способности отстаивать ее интересы и делать все возможное для ее процветания.

3. Личность, свободно ориентирующаяся в сложных социальных обстоятельствах и общественно-политической реальности.

4. Личность с высоким самосознанием, осознающая себя гражданином России и мира, ориентированная на человеческие ценности, ставшие личными убеждениями и жизненными принципами.

5. Личность, обладающая безусловным законопослушанием.

6. Личность, уважающая культуру, обычаи и традиции других народов, обладающая высоким уровнем культуры межнационального общения.

7. Личность, ориентированная на потребность делать добро.

8. Личность с преобладанием духовно-нравственных приоритетов над материальными.

9. Личность, добросовестно и ответственно исполняющая служебные и гражданские обязанности.

10. Личность с глубоким осознанием жизненной необходимости приобретения гражданских качеств.

11. Личность с высоким уровнем личной и служебной воспитанности и дисциплинированности.

12. Личность с мотивацией на проблемы жизни общества, образованность, общую и служебную культуру, интеллектуальное развитие.

13. Личность, проявляющая высокую активность для достижения позитивных изменений в обществе.

Для представления процесса гражданского воспитания курсантов как целостного явления разработана модель процесса гражданского воспитания, представленная на рис. 1. В данной модели цифрами I–V обозначены компоненты модели, выделение которых основано на логике проведения процесса воспитания гражданственности.

I — *целевой компонент модели*, в процессе отработки которого ставятся цель гражданского воспитания и задачи, которые способствуют достижению данной цели. Целевой компонент является наиболее важным, ведущим компонентом модели, так как

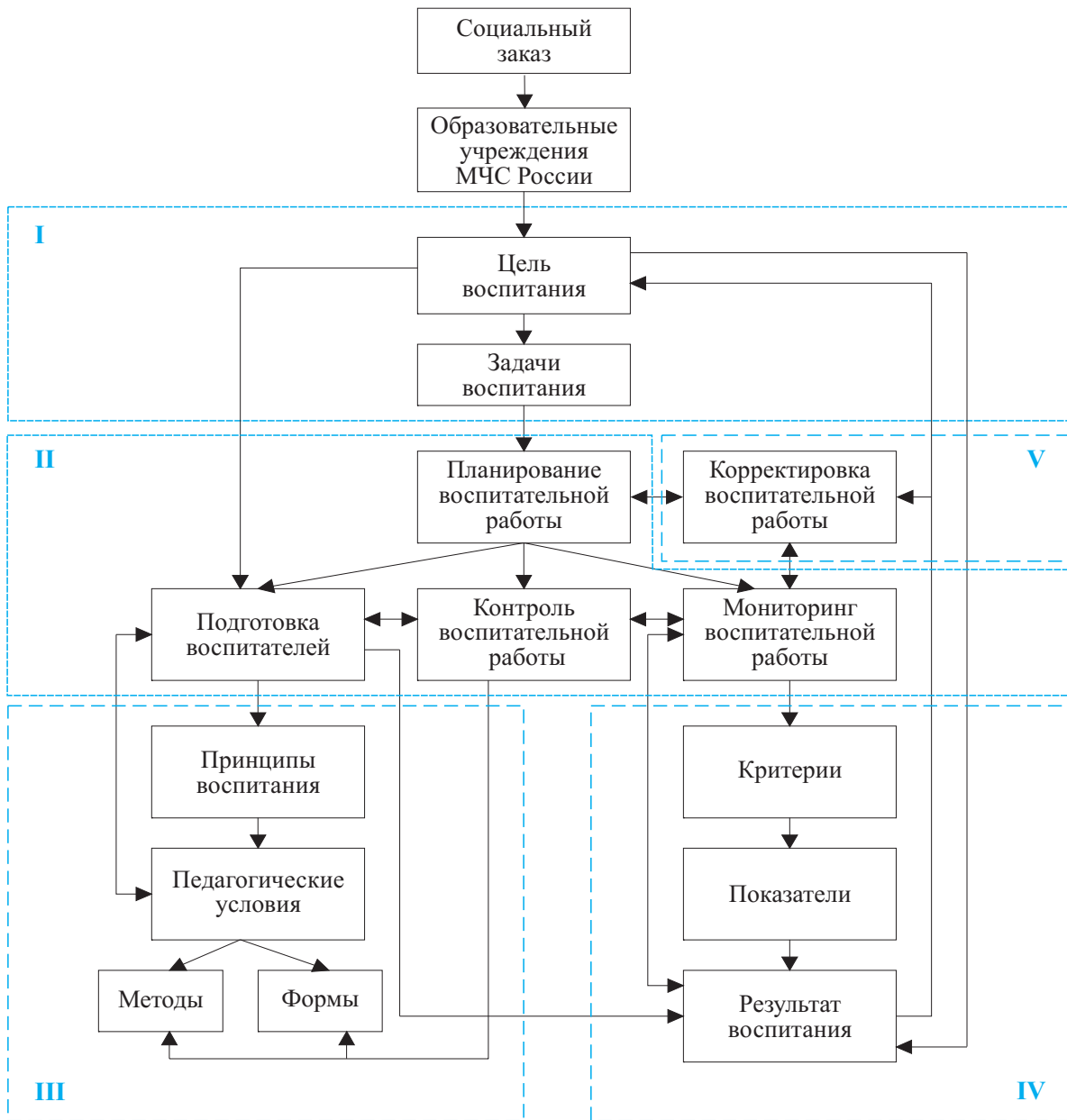


Рис. 1. Модель процесса гражданского воспитания курсантов

от правильно и корректно сформулированных целей и задач зависит конечный результат процесса воспитания. Цель гражданского воспитания курсантов выступает определяющей категорией, сущностное содержание которой формирует совокупность поставленных задач. Системообразующие связи между целью и задачами носят иерархический характер, они являются равноуровневыми компонентами модели.

II — *организационный компонент модели*. В ходе его отработки осуществляется планирование воспитательной работы с курсантами образовательных учреждений МЧС России: на учебный год, семестр, месяц, неделю и ежедневно. Результаты

годового и семестрового планирования отражаются в плане гражданского воспитания курсантов образовательного учреждения на год, семестрового и ежемесячного — в календарном плане основных мероприятий на месяц, еженедельного — в плане проведения мероприятий воспитательной работы структурных подразделений на неделю и ежедневного — в плане работы каждого сотрудника на день. Планирование проводят Ученые советы образовательных учреждений МЧС России, аппарат воспитательной работы, кафедры, структурные подразделения образовательных учреждений МЧС России. В планах отражаются планируемые к проведению мероприятия, сроки их осуществления, должност-

ные лица, ответственные за проведение мероприятий, расчет необходимых сил и средств. Планы подписываются и утверждаются соответствующими должностными лицами образовательного учреждения.

В ходе отработки организационного компонента модели решаются вопросы подготовки преподавательского и руководящего составов образовательных учреждений МЧС России к проведению воспитательной работы с курсантами, а также осуществляются контроль и мониторинг воспитательной работы.

Контроль проведения воспитательной работы может быть плановым и внезапным, осуществляется соответствующими должностными лицами образовательного учреждения по приказу старшего начальника. При проведении контроля проверяются соответствие мероприятий плану воспитательной работы, качество их проведения, оценивается уровень подготовленности лиц, организующих и осуществляющих воспитательную работу, анализируются предварительные результаты работы.

Мониторинг воспитательной работы в образовательном учреждении МЧС России предусматривается в целях всестороннего отражения качества проведения работы, внедрения инновационных методик воспитания, своевременной коррекции воспитательной работы. Периодичность проведения мониторинга воспитательной работы определяется планами воспитательной работы соответствующего уровня. В ходе мониторинга оценивается результативность проведения воспитательной работы, а также определяется круг нерешенных вопросов для последующей корректировки.

В ходе мониторинга собирается необходимая информация о реальных возможностях преподавателей и курсантов, уровне их предшествующей подготовки (развития), объективных условиях функционирования органически взаимосвязанных процессов: обучения, воспитания, развития.

Мониторинг гражданского воспитания выступает как составная часть педагогического мониторинга всего воспитательного процесса. Он включает в себя: оценивание, накопление статистических данных, их анализ, выявление динамики, тенденций, прогнозирование дальнейшего развития объектов воспитания. Анализ и оценке при этом подвергаются все элементы воспитательного процесса.

В реальной педагогической практике воспитатели изучают качества личности и по результатам этих исследований дают общую оценку воспитанности курсантов, пытаются с той или иной долей погрешности оценить результативность воспитания как в целом, так и гражданского воспитания в частности. Овладение простыми методами мониторинга гражданского развития личности курсанта,

такими как тестирование, анкетирование, опрос, — важнейший компонент профессиональной деятельности руководящего и преподавательского составов образовательных учреждений МЧС России, необходимое условие обеспечения системного подхода в гражданском воспитании курсантов.

III — *методологический компонент модели*. В ходе отработки данного компонента определяются основополагающие принципы воспитания, в образовательном процессе создаются и апробируются педагогические условия, необходимые для повышения качества гражданского воспитания, выбираются методы и конкретные формы воспитательной работы с курсантами.

IV — *оценочно-результативный компонент модели*. Данный компонент включает в себя критерии и показатели, на основании которых проводится оценка сформированности гражданственности курсантов и делаются выводы о результатах воспитательного процесса. Результат гражданского воспитания соотносится с поставленной целью воспитания и содержит решение комплекса задач, определяющих сущностное наполнение цели воспитания.

V — *корректировочный компонент модели*. Этот компонент позволяет провести своевременную и необходимую коррекцию воспитательной работы. Корректировка воспитательного процесса осуществляется на основе данных, полученных в ходе мониторинга и контроля воспитательной работы с курсантами.

Для анализа связи между компонентами модели представим на рис. 2 структурную схему процесса гражданского воспитания курсантов. На ней сплошными стрелками обозначены прямые связи между компонентами модели, пунктирными — обратные.

Из рис. 2 видно, что от правильной постановки цели воспитания, комплекса задач, обеспечивающих достижение цели, зависят процесс организации воспитания (планирования, подготовки руководителей, мониторинга воспитательной деятельности), выбор методологии воспитательной работы

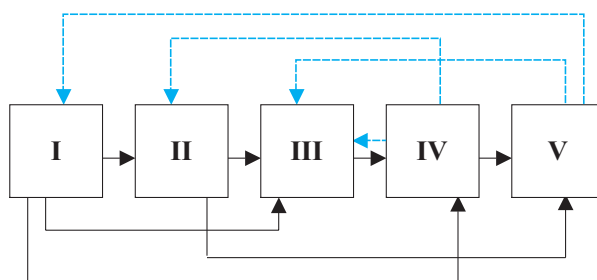


Рис. 2. Структурная схема процесса гражданского воспитания курсантов

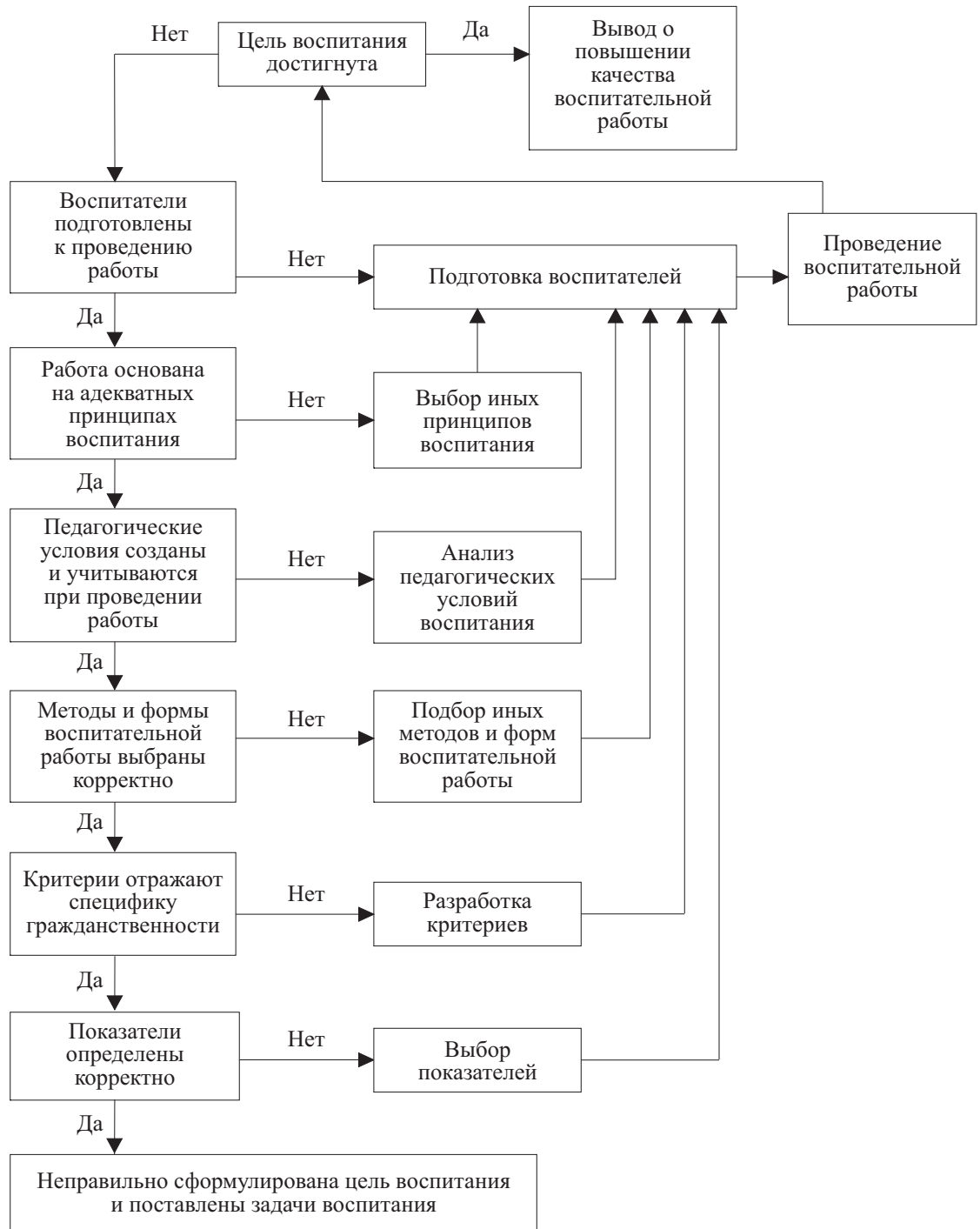


Рис. 3. Алгоритм работы модели процесса гражданского воспитания курсантов

и, в конечном итоге, результат воспитания. То, каким образом осуществлена организация воспитательной работы, определяет выбор методов и форм воспитания, а также корректировку воспитательной работы. От правильности выбора методологии работы прямо зависит результат воспитания, который, в свою очередь, оказывает прямое воздействие на корректировку воспитательной работы.

Корректировка воспитательной работы может приводить к уточнению цели и задач воспитания, совершенствованию методологии воспитательной работы. В свою очередь методика оценки результативности воспитания зависит от качества организации воспитательного процесса.

Алгоритм работы модели процесса гражданского воспитания курсантов представлен на рис. 3.

Основной упор автором сделан на проблему подготовки преподавательского и руководящего составов образовательных учреждений МЧС России к воспитательной работе с курсантами. Предложенный алгоритм позволяет наглядно представить процесс гражданского воспитания как последовательность решения комплекса задач, стоящих перед воспитателями в ходе отработки и реализации в практической воспитательной деятельности различных компонентов модели процесса гражданского воспитания курсантов.

Таким образом, образовательные учреждения МЧС России в своей деятельности в области воспитания курсантов руководствуются социальным заказом, который определяется соответствующими нормативными правовыми актами и является выс-

шей формой целеполагания для процесса воспитания курсантов.

Для изучения гражданского воспитания курсантов как целостного педагогического явления разработана модель процесса гражданского воспитания, состоящая из относительно автономных, но тесно взаимосвязанных компонентов — целевого, организационного, методологического, оценочно-результативного и корректировочного. Алгоритм работы модели позволяет наглядно представить процесс гражданского воспитания как последовательность решения комплекса задач, стоящих перед воспитателями в ходе отработки различных компонентов модели процесса гражданского воспитания курсантов.

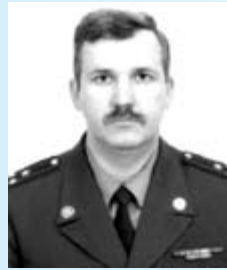
ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральный закон Российской Федерации от 10 апреля 2000 г. № 51-ФЗ «Об утверждении Федеральной программы развития образования» // Собрание законодательства Российской Федерации от 17 апреля 2000 г. — № 16. — Ст. 1639.
2. Закон РФ «Об образовании». — М.: Новая школа, 1996. — 64 с.
3. Постановление Правительства Российской Федерации от 19 марта 2001 г. № 196 «Об утверждении Типового положения об общеобразовательном учреждении» // Собрание законодательства Российской Федерации от 26 марта 2001 г. — № 13. — Ст. 1252.
4. Приказ Министерства образования Российской Федерации от 18 октября 1999 г. № 574 «О реализации решения коллегии от 28 сентября 1999 г. № 19 «Об основных направлениях развития воспитания в системе образования».
5. **Лисак, С. В.** Воспитание гражданственности в условиях полиэтнической группы студентов: дис. ... канд. пед. наук / С. В. Лисак. — Ставрополь, 2005. — 242 с.
6. **Крившенко, Л. П.** Педагогика: Учебник / Л. П. Крившенко, М. Е. Вайндорф-Сысоева [и др.]; под ред. Л. П. Крившенко. — М.: ТК Велби, Проспект, 2004. — 432 с.

Поступила в редакцию 04.04.08.



Канд. техн. наук, доцент,
доцент кафедры "Пожарной тактики
и службы" Академии ГПС МЧС РФ
С. В. Гундар



Канд. техн. наук, доцент,
доцент кафедры "Пожарной тактики
и службы" Академии ГПС МЧС РФ
А. Н. Денисов

УДК 65.012.4

ИЗУЧЕНИЕ ДЕЙСТВИЙ РАБОТНИКОВ ОРГАНИЗАЦИЙ И ГРАЖДАН В СЛУЧАЕ ОБНАРУЖЕНИЯ ПОЖАРА

Рассмотрены некоторые аспекты подготовки слушателей по анализу эффективности первоначальных действий граждан, рабочих и служащих, должностных лиц, местных сил и средств по обнаружению и ликвидации пожара.

Основными руководящими документами при подготовке слушателей Академии ГПС МЧС России к изучению действий работников организаций и граждан в случае обнаружения пожара являются [1–3].

Подготовленный слушатель обязан уметь по каждому пожару:

- изучить эффективность первоначальных действий граждан, рабочих и служащих, должностных лиц, местных сил и средств по обнаружению пожара и передаче сообщений в пожарную охрану;
- оценить принятие возможных мер по спасению людей, тушению пожара и сохранению материальных ценностей, руководству тушением пожара (с учетом специфических особенностей объекта), встрече прибывших подразделений, оказанию им помощи в тушении пожара и проведении аварийно-спасательных работ;
- анализировать положительные стороны и недостатки;
- на основе полученных результатов разработать мероприятия по улучшению первоначальных действий работников организаций и граждан при обнаружении и тушении пожаров, спасе-

нию людей и имущества, взаимодействию с подразделениями пожарной охраны, распространению положительного опыта.

При подготовке слушателей в учебном процессе учитывается следующее:

1. До прибытия подразделений пожарной охраны работники организаций и граждане остаются один на один с постигшей их бедой. Время развития пожара на момент подачи ствола первым прибывшим подразделением (время свободного развития пожара) определяется по формуле:

$$\tau_{св} = \tau_c + \tau_{сл} + \tau_{бр},$$

где τ_c — время от момента возникновения пожара до сообщения о нем, мин;

$\tau_{сл}$ — время следования (в данную переменную включено время обработки сообщения, сбор и выезд на пожар), мин;

$\tau_{бр}$ — время боевого развертывания первых подразделений, мин.

В таблице приведены среднестатистические показатели оперативного реагирования в 2006 г. [4]. Из таблицы следует, что время свободного развития пожара в сельской местности более чем в двое превышает этот показатель в городе. От момента возникновения пожара до сообщения о нем в пожарную охрану проходит около третьей части времени свободного развития пожара.

2. Скорость реагирования подразделений на пожар для оказания помощи работникам организаций и гражданам зависит от численности пожарных депо и оснащения их силами и средствами.

По данным [5–7] число имеющихся в ГПС зданий депо составляет 54,37% нормативной численности, из них 48,22% нуждается в реконструкции и капитальном ремонте. Оснащение основными по-

Среднестатистические показатели оперативного реагирования в 2006 г.

Показатели оперативного реагирования	τ_c	$\tau_{сл}$	$\tau_{св}$
	мин		
Все пожары	6,77	12,42	18,63
Пожары в городе	4,92	8,56	13,25
Пожары в сельской местности	10,52	19,67	29,55

жарными автомобилями составляет 78,2%, специальными — 69,64%, рукавами — 48%. Подлежит списанию 58,89% основных пожарных автомобилей, 63,1% — специальных. Коэффициент технической готовности (из-за технических неисправностей) подразделений не превышает 0,85. Эксплуатация автомобилей, выработавших ресурс, неизбежно ведет к более частому их отказу, снижению боеготовности подразделений, росту эксплуатационных расходов. Для устранения негативных изменений требуется увеличение затрат на содержание пожарной охраны.

3. В связи с переходом на управление безопасностью по критериям риска, когда в основу системы управления безопасностью должна быть положена концепция “не нулевого риска”, при разработке мероприятий по пожарам требуется решать задачу минимизации ущерба и поиска компромисса между затратами и ожидаемой выгодой, обеспечения приемлемого уровня защищенности личности и имущества от огня.

Известно, что чем больше средств тратится на обеспечение пожарной безопасности, тем меньше потери при пожарах. При этом эффективность затрат снижается с их увеличением [8], при больших затратах они начинают превышать потери. Естественно, что в целесообразности таких расходов можно усомниться. Лучше использовать часть этих расходов для прямой компенсации потерь.

Следовательно, разрабатываемые мероприятия по изучению действий работников организаций и граждан в случае обнаружения пожара должны гарантировать оптимальное соотношение материальных затрат на обеспечение пожарной безопасности с потерями от пожаров. В настоящее время указанное соотношение не определено, приемлемый уровень расходов на обеспечение пожарной безопасности отсутствует. Ведется поиск научно обоснованных количественных параметров приемлемого риска. До завершения поиска при разработке мероприятий по результатам изучения пожаров, по мнению авторов, будет вполне оправдана практика, когда фактические затраты оцениваются по методикам “от достигнутого уровня”. За приемлемый уровень можно принять расходы за определенный период в прошлом.

Доля затрат на содержание пожарной охраны от валового национального продукта (ВНП) в России в 2004 г. составила 0,24%. Этот показатель в странах — членах Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) в среднем составляет 0,16% и колеблется от 0,1 до 0,36% [7].

По доле затрат на содержание пожарной охраны от ВНП Россия соответствует средним показателям стран — членов ОЭСР. Увеличение этих затрат тре-

бует отвлечения ресурсов с других направлений хозяйственного комплекса страны.

Занятость имеющихся сил и средств боевыми действиями на основных пожарных автомобилях не превышает 3–4% общего времени дежурства (что составляет около 30 мин). При существующем в России четырехсменном порядке несения службы средняя продолжительность боевой работы пожарного не превышает 2 ч в неделю. Для подразделений на специальных пожарных автомобилях время занятости еще меньше [9]. В такой ситуации, видимо, не следует надеяться на резкое повышение объемов финансирования на пожарную безопасность. В бюджете на 2008 г. заметного увеличения доли затрат от ВНП не заложено.

Согласно методическим рекомендациям [10], дислокацию подразделений пожарной охраны любого вида формирований (частная, добровольная, муниципальная, субъекта Российской Федерации) по охране городских и сельских поселений допускается устанавливать, исходя из условия, что время прибытия первого подразделения к месту пожара не превышает 10 мин. Это должно уменьшить время свободного развития пожара, что особенно актуально для сельской местности.

Однако пожары носят быстротечный, лавинообразный характер. В большинстве случаев успешного результата в тушении можно добиться в первые минуты развития пожара малыми силами и средствами. Допускаемая удаленность подразделений пожарной охраны должна быть компенсирована активными действиями работников организаций и граждан в случае обнаружения пожара.

4. Суммарный материальный ущерб за время свободного развития пожара складывается из стоимости сгоревших материальных ценностей к моменту обнаружения пожара и потерь, образуемых от момента обнаружения до сообщения о пожаре, а также от момента сообщения до начала тушения прибывшими подразделениями пожарной охраны.

В публикации [11] сообщается, что часто к моменту прибытия сил и средств на место вызова пожаром бывает охвачено все здание или большая его часть. На свободное время развития пожара приходится 98% общего числа погибших. Поэтому вопросы раннего обнаружения, сообщения и первоначального тушения загораний работниками организаций и гражданами являются одними из основных при изучении пожаров, так как определяют величину их площади и причиненного ущерба, гибель людей. “...считается, что около 50% пожаров можно было бы ликвидировать огнетушителями, если бы они были под рукой” [8].

5. Создание условий для успешного тушения в начальный период развития пожара невозможно

без обучения населения мерам пожарной безопасности и широкого привлечения добровольцев.

Так, по статистическим данным [4] в 2006 г. население было основным участником тушения 36895 пожаров, члены ДППД — 12394 пожаров. Из заявлений граждан стало известно о 15448 ликвидированных ими пожаров.

В руководстве тушением 39782 пожаров не участвовали основные должностные лица пожарной охраны.

В одноэтажных зданиях в 2006 г. учтено 107475 пожаров, в которых погибли 10974 человека. Люди погибли, когда, как правило, была возможность самостоятельно покинуть здания через дверные или оконные приемы до прибытия пожарно-спасательных служб, когда не требовались специальные спасательные средства (переносные лестницы, прыжковые или рукавные устройства и др.). Есть основания полагать, что в других зданиях, на этажах выше могут находиться такие же люди. Они также будут не все готовы к адекватным действиям в горящем здании.

Следовательно, население в 2006 г. успешно участвовало в тушении нескольких десятков тысяч пожаров. Подавляющая часть граждан смогла самостоятельно покинуть опасные строения в ограниченное чрезвычайным происшествием время.

Здесь следует подчеркнуть, что такие выводы основаны на статистике только учетных пожаров. О ликвидированных населением неучетных пожарах, а также о незарегистрированных пожарах, о которых население после ликвидации никуда не сообщало, необходимая систематизированная информация отсутствует.

Авторам статьи неоднократно приходилось участвовать в борьбе с такими пожарами. Вот некоторые из них: электропроводка освещения жилого дома, автомобиля, электроутюг, сауна, постельные принадлежности, кресло, керогаз, телевизор, деревянный пол под «буржуйкой», кровля летней кухни у металлической дымовой трубы, сушилка для шипек, одежда и обувь при сушке у костра, древесные отходы, трава, мусор в кузове автомобиля, лес и др.

6. Известно, что тушение пожаров относится к экстремальным видам деятельности и требует особого профессионализма. У добровольных участников тушения из числа работников организаций или граждан существует реальная угроза для жизни, высок риск получения различных травм, в том числе и в тяжелой форме. От участвующих в тушении требуется максимальная активизация индивидуальных ресурсов организма, вызванная предельными физическими нагрузками, высоким темпом поступления информации, сложностью действий в

условиях дефицита времени, резким ростом цены ошибочных действий из-за возможности возникновения необратимых тяжелых последствий в результате таких ошибок как для самого участника тушения пожара, так и для других людей.

По мнению авторов работ [12, 13], социальная защита добровольцев не нашла должного отражения в законодательстве. Поэтому не исключена следующая ситуация: "...ну вот представьте, вступил человек в добровольную дружину. Работает он в ней бесплатно или, как говорится, безвозмездно, на энтузиазме. Поехал на пожар. А там беда случилась — погиб. Кто заплатит за его гибель? Кто обеспечит семью, детей? Да никто — нет такого закона, который бы его защитил посмертно, защитил его детей? А получил увечье? Кто оплатит лечение? Никто. Так что если хотим возрождать добровольное дружинничество, надо начинать с Федерального закона...".

Социальная защита добровольцев не может быть обеспечена без предварительной проверки соответствия их индивидуальных характеристик, особенностей и возможностей тем общим и специфическим требованиям, которые предъявляет ему работа на пожаре. Если человек по своим врожденным или приобретенным свойствам не приспособлен для тушения пожара, то вероятность его травмирования значительно возрастает, он часто будет служить причиной несчастных случаев, источником экономического ущерба.

Требования обстановки на пожаре не должны превышать физиолого-психологических возможностей, адаптационных реакций человека. Только в случае пригодности человека для выполнения работ на пожаре можно ожидать необходимого уровня его подготовки, приобретения требуемых навыков для первоначальных действий в случае возникновения пожара, заинтересованности, чувства ответственности, соблюдения требований безопасности труда.

7. Обучение населения первоначальным действиям в случае обнаружения пожара предусмотрено программами по обучению населения мерам пожарной безопасности, которые разрабатываются с учетом особенностей обучаемых.

В зависимости от задач обучения в области пожарной безопасности, существующего порядка организации обучения, возрастных и социальных особенностей граждан выделяются четыре основные группы [14]:

- первая — учащиеся общеобразовательных учреждений начального, среднего, среднетехнического уровней и студенты вузов; сюда же отнесены воспитанники дошкольных учреждений;

- вторая — курсанты и инженерно-технические кадры Государственной противопожарной службы; они являются специалистами-профессионалами в области пожарной безопасности;
- третья — специалисты других министерств, руководители, рабочие и служащие предприятий различных форм собственности;
- четвертая — население, с которым должна проводиться профилактическая работа по месту жительства — это самая сложная с точки зрения организации обучения группа.

Если учитывать, что все группы населения проводят значительную часть своего времени по месту жительства, то результативность обучения в целом можно оценить по статистическим данным о пожарах и их последствиях в жилом секторе. Там ежегодно регистрируется более 70% учетных пожаров и 90% общего числа погибших при пожарах [11].

Из общего числа установленных виновников по всем пожарам около 45% являются представителями четвертой группы обучения.

8. В монографии [15] отмечается, что человек, создавший с использованием достижений науки и техники новую, во многом искусственную среду обитания, буквально начиненную пожаровзрывоопасными и токсичными веществами и материалами, пока не смог психологически к ней приспособиться, так как природа не вооружила его инстинктами и рефлексам, пригодными для таких условий существования. Перед человечеством стоит проблема, которую можно назвать созданием и воспитанием культуры поведения в непрерывно усложняющейся среде обитания.

Огромное число пожаров, происходящих из-за безответственного отношения отдельных граждан к источникам воспламенения, горючим веществам и материалам, указывает, что на сегодняшний день обеспечение безопасности жизнедеятельности не является приоритетной целью и внутренней потребностью каждого человека, часть населения не восприимчива к пропаганде мер пожарной безопасности. Так, среди посетителей лесов эта часть оценивается в 20% [16].

Дополнительно ситуацию усугубляют вредные привычки — курение, алкоголизм, наркомания и т.п. Они притупляют инстинкт самосохранения. Человек частично или полностью отключает врожденную или приобретенную способность совершать безотчетные целенаправленные действия по самосохранению. В последние годы до 65% погибших при пожарах находились в состоянии алкогольного опьянения [17]. Вредные привычки не запрещены. Они имеют лишь некоторые ограничения, например по месту, возрасту, состоянию здоровья и т.д. Часто ограничения носят информацион-

ный, рекомендательный характер. Считается, что здоровье и даже жизнь человека являются его собственностью, и он вправе распоряжаться ими по своему усмотрению. Критерии допустимого риска для человека не могут задаваться директивно.

Очень часто человек не принудительно, а осмысленно и добровольно создает благоприятную обстановку для потери своего имущества, утраты здоровья и даже жизни. Расплачиваться же приходится не только виновнику, но и родным, близким, соседям по квартире и дому.

Средства массовой информации предлагают ужесточить наказания за нарушения правил пожарной безопасности. Действительно, в местах лишения свободы регистрируется в 30–40 раз меньше пожаров по сравнению с основной частью населения.

9. Система пожарной безопасности основана на естественной потребности человека жить. Она направлена на обеспечение условий для сохранения здоровья человека, для его выживания в среде обитания. Предполагается, что каждый человек будет, в первую очередь, сам заботиться о личной безопасности. Зная свои умственные и физические возможности, всю деятельность он будет осуществлять в пределах этих возможностей.

Общество не может постоянно контролировать поступки каждого человека, своевременно принимать профилактические и другие меры, оно не имеет на это достаточного количества сил и средств.

Основным результатом обучения должно быть прежде всего осознание каждым гражданином того, что абсолютная безопасность человека при пожаре в современных условиях недостижима. Его жизнь, здоровье и имущество особенно дороги именно ему, а не кому-либо другому. Его жизнь и здоровье — это его ценности, заботиться о них должен прежде всего он сам. А помощь каких-либо структур является только дополнением к его собственным заботам.

Нельзя быть застрахованным от беды, если безопасность полностью зависит от своевременности и правильности действий других людей. У них может просто не хватить времени, оказаться недостаточно опыта, сил и средств для оказания своевременной помощи. Поэтому личная готовность к встрече с пожаром зачастую более значима, чем меры спасательных служб или других людей.

Предвидеть при обучении все опасные риски, в которых может оказаться человек, практически невозможно. Выйти из сложных ситуаций человеку помогают его логика, навыки, полученные в процессе обучения, а также интуиция. Подавляющая часть людей, испытывающих угрозу от опасных факторов пожара, самостоятельно избегают негативных воздействий. Каждый человек на пожаре

подвергается тем или иным рискам, но не каждый попадает в безвыходную ситуацию. Объясняется это тем, что человек, умеющий анализировать риски в повседневной жизни, попадая в сложную ситу-

ацию, продолжает это делать уже по отработанному в повседневной жизни алгоритму. Во время пожара, как правило, проявляются те качества, которые в нем заложены, развиты и укреплены.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральный закон от 21 ноября 1994 г. № 69-ФЗ “О пожарной безопасности”.
2. **ППБ 01–03.** Правила пожарной безопасности в Российской Федерации.
3. Методические рекомендации по изучению пожаров. — М.: МЧС России, 2007. — 59 с.
4. Пожары и пожарная безопасность в 2006 г.: Статистический сборник / Под. общ. ред. *Н. П. Копылова*. — М. ФГУ ВНИИПО, 2007. — 137 с.
5. Пожары и пожарная безопасность. Обзор “О состоянии пожаротушения в Российской Федерации”: Приложение 1 к письму УОП МЧС России от 24 мая 2006 г. № 18-5-2-1056. — 32 с.
6. **Верзилин, М.** Организация пожаротушения в Российской Федерации / *М. Верзилин* // Пожарное дело. — 2006. — № 5. — С. 6–9.
7. **Лупанов, С. А.** Экономический анализ деятельности пожарной охраны как структурной составляющей хозяйственного комплекса / *С. А. Лупанов, Г. Г. Иванова, В. Н. Копченев* / Пожарная безопасность. — 2006. — № 3. — С. 71–79.
8. **Микеев, А. К.** Пожар. Социальные, экономические, экологические проблемы / *А. К. Микеев*. — М.: Пожнаука, 1994. — 389 с.
9. **Коробко, В. Б.** Расширение функций Государственной противопожарной службы: вопросы теории и практики / *В. Б. Коробко*. — М.: АРС, 2002. — 131 с.
10. Методические рекомендации органам местного самоуправления по реализации Федерального закона от 6 октября 2003 г. № 131-ФЗ “Об общих принципах местного самоуправления в Российской Федерации в области гражданской обороны, защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, обеспечения пожарной безопасности и безопасности людей на водных объектах” // Пожарная безопасность. — 2006. — № 2. — С. 6–90.
11. **Копылов, Н. П.** Создание Государственной пожарно-спасательной службы: пути, структурное построение, место в РСЧС / *Н. П. Копылов* // О создании Государственной пожарно-спасательной службы. — М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2002. — С. 11–27.
12. **Левина, Л.** Борьбу с лесными пожарами должны возглавить Федеральный лесной орган / *Л. Левина* // Лесная газета, 29 июня 2004 г.
13. Основы защиты населения и территорий в кризисных ситуациях / Под. общ. ред. *Ю. Л. Воробьева*. — М.: Деловой экспресс, 2006. — 544 с.
14. **Ратникова, О. Д.** Обучение населения мерам пожарной безопасности / *О. Д. Ратникова, Г. А. Прытков, М. А. Комова* / Пожарная безопасность. — 2006. — № 4. — С. 113–119.
15. **Микеев, А. К.** Добровольная пожарная охрана / *А. К. Микеев*. — М.: Стройиздат, 1987. — 400 с.
16. **Медведева, А.** Триста тысяч за “красный цветок” / *А. Медведева* // Российская лесная газета. — 2005. — № 18(96), май.
17. **Лупанов, С. А.** Социальный аспект гибели людей при пожарах в Российской Федерации / *С. А. Лупанов, Г. Г. Иванова, В. Н. Копченев* // Пожарная безопасность. — 2006. — № 4. — С. 106–108.

Поступила в редакцию 20.04.08.



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



Аспирант теплоэнергетического факультета
Томского политехнического университета
П. А. Стрижак

УДК 536.468

ОСОБЕННОСТИ ЗАЖИГАНИЯ ПАРОГАЗОВОЙ СМЕСИ НАГРЕТОЙ ДО ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ЧАСТИЦЕЙ

В рамках газофазной модели воспламенения, учитывающей в двумерной постановке процессы теплопроводности, испарения, диффузии и конвекции паров горючего в среде окислителя, выполнено численное моделирование зажигания парогазовой смеси, образующейся в результате испарения жидкого топлива при комнатной температуре, одиночной нагретой до высоких температур металлической частицей. Установлены зависимости времени задержки воспламенения парогазовой смеси от начальной температуры частицы, температуры окружающего воздуха и расстояния между частицей и поверхностью жидкости. Определены минимальные значения начальной температуры источника зажигания, температуры окружающего воздуха и расстояния между частицей и поверхностью жидкости, при которых возможно воспламенение.

Введение

Одним из наиболее типичных источников зажигания пожароопасных жидкостей являются одиночные нагретые до высоких температур частицы различной физической природы. Но несмотря на то, что доля пожаров, возникающих в результате попадания горячих частиц (например, при сварке и резке металлов) на поверхность пожароопасных жидкостей, достаточно велика, до настоящего времени опубликовано крайне мало данных по исследованию закономерностей зажигания в рассматриваемых условиях [1, 2]. В частности, в работе [1] представлены результаты численного моделирования зажигания бензина при попадании на его поверхность углеродистых частиц. Известно, что даже при комнатной температуре бензин и ряд других жидких топлив интенсивно испаряются, и возможно создание вблизи поверхности испарения опасных концентраций паров горючего в воздушной среде [3, 4]. В этом случае движение нагретой до высоких температур частицы через систему *воздух – пары бензина* может приводить к воспламенению. Возможно, на практике этот вариант зажигания и реализуется чаще всего.

Целью данной работы является численный анализ зажигания смеси газов окислителя с парами жидкого топлива (бензина) одиночной горячей металлической (стальной) частицей.

Постановка задачи

Рассматривается система *металлическая частица – бензин – воздух* (рис. 1). Принята следующая схема исследуемого процесса. При достаточно низкой (комнатной) температуре окружающего воздуха бензин испаряется, пары горючего диффундируют в окружающий воздух и перемешиваются с ним. Вследствие этого над поверхностью жидкого топлива образуется смесь паров горючего и воздуха. На некотором расстоянии от поверхности жидкости находится потенциальный источник зажигания — горячая металлическая частица.

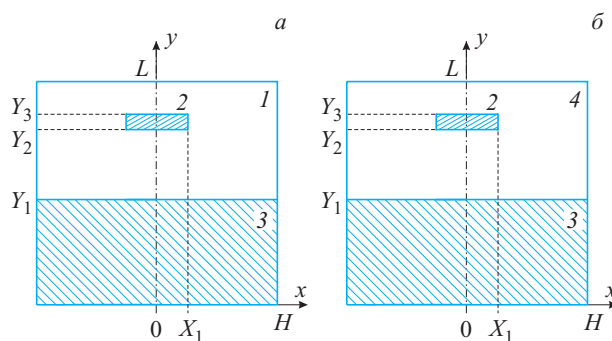


Рис. 1. Схема области решения задачи в начальный момент времени ($t = 0$) (а) и при $0 < t < t_s$ (б): 1 — воздух; 2 — частица; 3 — жидкое горючее вещество; 4 — парогазовая смесь

В качестве источника зажигания принята одиночная стальная частица в форме параллелепипеда размерами порядка $1 \cdot 10^{-3}$ м. Такая форма частицы позволяет достаточно просто описывать условия ее контакта с парогазовой смесью. В жидком веществе и воздухе выделены области размерами $L = 20 \cdot 10^{-3}$ м, $H = 10 \cdot 10^{-3}$ м. Численное моделирование выполнено в осесимметричной постановке (см. рис. 1).

При моделировании исследуемого процесса приняты следующие допущения:

1. Теплофизические характеристики материала частицы и жидкости не зависят от температуры (кроме коэффициентов кинематической вязкости и диффузии паров горючего, резкое изменение которых с ростом температуры [5] существенно сказывается на процессах тепло- и массопереноса при зажигании).

2. В результате испарения бензина образуется одно вещество с известными характеристиками. При экспериментальном определении кинетических параметров реакции воспламенения горючих жидкостей [6] традиционно определяются эффективные значения энергии активации E и предэкспоненциального множителя k_0 . Исследования выполняются при предположении реализации одной “эффективной” реакции, в которой участвует одно горючее вещество. Соответственно, численный анализ исследуемого процесса возможен при использовании кинетической схемы, для которой известны кинетические постоянные.

В качестве условий воспламенения приняты следующие [7]:

а) тепло, выделяемое в результате химической реакции паров горючего с окислителем, больше тепла, передаваемого от источника зажигания парогазовой смеси;

б) температура парогазовой смеси превышает начальную температуру источника зажигания.

Математическая постановка

Численное исследование процесса воспламенения в рассматриваемой системе (см. рис. 1) сводится к решению системы нелинейных нестационарных дифференциальных уравнений с соответствующими начальными и граничными условиями.

Для парогазовой смеси ($Y_1 < y < Y_2, 0 < x < H$; $Y_2 < y < Y_3, X_1 < x < H$; $Y_3 < y < L, 0 < x < H$) система уравнений включает:

- уравнение неразрывности:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0; \quad (1)$$

- уравнения движения смеси паров горючего с газами окислителя:

$$\begin{aligned} & \rho_5 \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = \\ & = -\frac{\partial P_5}{\partial x} + \nu_5 \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \rho_5 \beta g_x (T_5 - T_0); \quad (2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \rho_5 \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = \\ & = -\frac{\partial P_5}{\partial y} + \nu_5 \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \rho_5 \beta g_y (T_5 - T_0); \quad (3) \end{aligned}$$

- уравнение энергии:

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

- уравнение диффузии паров горючего в воздухе:

$$\begin{aligned} & \rho_5 \left(\frac{\partial C_g}{\partial t} + u \frac{\partial C_g}{\partial x} + v \frac{\partial C_g}{\partial y} \right) = \\ & = \rho_5 D_5 \left(\frac{\partial^2 C_g}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C_g}{\partial y^2} \right) - W_{\text{вос}}; \quad (5) \end{aligned}$$

- уравнение баланса:

$$C_g + C_o = 1. \quad (6)$$

Теплофизические характеристики парогазовой смеси рассчитываются по выражениям:

$$\lambda_5 = \lambda_1 \Phi_1 + \lambda_4 \Phi_4; \quad (7)$$

$$C_5 = C_1 \Phi_1 + C_4 \Phi_4; \quad (8)$$

$$\rho_5 = \rho_1 \Phi_1 + \rho_4 \Phi_4. \quad (9)$$

Уравнение теплопроводности для частицы ($Y_2 < y < Y_3, 0 < x < X_1$):

$$C_2 \rho_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} = \lambda_2 \left(\frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_2}{\partial y^2} \right). \quad (10)$$

Уравнение теплопроводности для жидкости ($0 < y < Y_1, 0 < x < H$):

$$C_3 \rho_3 \frac{\partial T_3}{\partial t} = \lambda_3 \left(\frac{\partial^2 T_3}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_3}{\partial y^2} \right). \quad (11)$$

Здесь T — температура, К; T_0 — начальная температура воздуха и жидкости, К; P — давление, Н/м²; C — удельная теплоемкость, Дж/(кг·К); $Q_{\text{вос}}$ — тепловой эффект реакции воспламенения, МДж/кг; $W_{\text{вос}}$ — скорость окисления паров горючего в воздухе, кг/(м³·с); D — коэффициент диффузии, м²/с;

C_g — концентрация паров жидкого горючего вещества ($0 < C_g < 1$); C_o — концентрация окислителя; x, y — координаты декартовой системы координат, м; u, v — составляющие скорости конвекции смеси паров горючего и окислителя в проекции на ось x и y соответственно, м/с; g_x и g_y — компоненты ускорения свободного падения в проекции на ось x и y соответственно, м/с²; t — время, с; t_s — время задержки воспламенения, с; ϕ — относительная объемная доля компонента парогазовой смеси ($0 < \phi < 1$); ρ — плотность, кг/м³; λ — коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); ν — кинематическая вязкость, м²/с; β — коэффициент термического расширения, °С⁻¹; индексы “1”, “2”, “3”, “4”, “5” соответствуют воздуху, частице, жидкому топливу, парам горючего вещества, парогазовой смеси.

Уравнения движения и уравнение неразрывности записаны в форме, не содержащей давления, — в переменных *функция тока – вихрь скорости* [8]:

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + u \frac{\partial \omega}{\partial x} + v \frac{\partial \omega}{\partial y} = \nu_s \left(\frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} \right) + \beta g_y \frac{\partial T_s}{\partial x}; \quad (12)$$

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial y^2} = \omega. \quad (13)$$

Функция тока ψ и вектор вихря скорости ω заданы следующим образом [8]:

$$u = \frac{\partial \psi}{\partial y}; \quad v = -\frac{\partial \psi}{\partial x}; \quad \omega = \text{rot}_z \vec{v} = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}. \quad (14)$$

Для перехода к безразмерной форме записи представленных выше уравнений в качестве масштаба скорости конвекции выбрана скорость конвекции V_0 на границе с частицей (определяется в результате расчета), в качестве масштаба координат выбраны характерные размеры области решения ($H = 10 \cdot 10^{-3}$ м, $L = 20 \cdot 10^{-3}$ м).

Для перехода к безразмерным переменным использованы следующие выражения [9]:

$$\begin{aligned} X &= \frac{x}{H}; \quad Y = \frac{y}{L}; \quad \tau = \frac{t}{t_0}; \quad U = \frac{u}{U_0}; \quad V = \frac{v}{V_0}; \\ \Theta &= \frac{T - T_0}{\Delta T}; \quad \Psi = \frac{\psi}{\Psi_0}; \quad \Omega = \frac{\omega}{\omega_0}; \quad V_0 = \sqrt{g\beta\Delta TH}; \\ \Psi_0 &= V_0 H; \quad \omega_0 = \frac{V_0}{H}; \quad \Delta T = T_u - T_0, \end{aligned} \quad (15)$$

где X, Y — безразмерные координаты, соответствующие x, y ;

t_0 — масштаб времени, с;

τ — безразмерное время;

U, V — безразмерные составляющие скорости в проекции на ось x и y соответственно;

T_u — начальная температура частицы, К;

Θ — безразмерная температура;

Ψ_0 — масштаб функции тока, м²/с;

Ψ — безразмерный аналог функции тока;

ω_0 — масштаб вектора вихря, с⁻¹;

Ω — безразмерный аналог вектора вихря.

После перехода к безразмерным переменным уравнения движения, Пуассона, энергии и диффузии для газовой фазы, уравнения теплопроводности для твердой и жидкой фаз имеют вид [8–10]:

$$\begin{aligned} \frac{Y_1}{L} < Y < \frac{Y_2}{L}, \quad 0 < X < 1; \\ \frac{Y_2}{L} < Y < \frac{Y_3}{L}, \quad \frac{X_1}{H} < X < 1; \\ \frac{Y_3}{L} < Y < 1, \quad 0 < X < 1; \\ \frac{1}{\text{Sh}} \frac{\partial \Omega}{\partial \tau} + U \frac{\partial \Omega}{\partial X} + V \frac{\partial \Omega}{\partial Y} = \\ = \frac{1}{\text{Re}} \left(\frac{\partial^2 \Omega}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \Omega}{\partial Y^2} \right) + \frac{\text{Gr}}{\text{Re}^2} \frac{\partial \Theta}{\partial X}; \end{aligned} \quad (16)$$

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial Y^2} = \Omega; \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{\text{Sh}} \frac{\partial \Theta_s}{\partial \tau} + U \frac{\partial \Theta_s}{\partial X} + V \frac{\partial \Theta_s}{\partial Y} = \\ = \frac{1}{\text{Re} \cdot \text{Pr}} \left(\frac{\partial^2 \Theta_s}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \Theta_s}{\partial Y^2} \right) + \frac{Q_{\text{вс}} W_{\text{вс}} H}{\rho_s C_s \Delta T V_0}; \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{\text{Sh}} \frac{\partial C_g}{\partial \tau} + U \frac{\partial C_g}{\partial X} + V \frac{\partial C_g}{\partial Y} = \\ = \frac{1}{\text{Re} \cdot \text{Sc}} \left(\frac{\partial^2 C_g}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 C_g}{\partial Y^2} \right) - \frac{W_{\text{вс}} H}{\rho_s V_0}; \end{aligned} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} \frac{Y_2}{L} < Y < \frac{Y_3}{L}, \quad 0 < X < \frac{X_1}{H}, \\ \frac{1}{\text{Fo}_2} \frac{\partial \Theta_2}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 \Theta_2}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \Theta_2}{\partial Y^2}; \end{aligned} \quad (20)$$

$$0 < Y < \frac{Y_1}{L}, \quad 0 < X < 1,$$

$$\frac{1}{\text{Fo}_3} \frac{\partial \Theta_3}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 \Theta_3}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \Theta_3}{\partial Y^2}. \quad (21)$$

Безразмерные комплексы (числа: Струхалья Sh , Рейнольдса Re , Грасгофа Gr , Прандтля Pr , Шмидта Sc , Фурье Fo) вычислены по формулам [9, 10]:

$$\text{Sh} = \frac{V_0 t_0}{H}; \quad (22)$$

$$Re = \frac{2V_0H}{\nu_5}; \quad (23)$$

$$Gr = \frac{\beta g H^3 \Delta T}{\nu_5^2}; \quad (24)$$

$$Pr = \frac{\nu_5 \rho_5 C_5}{\lambda_5}; \quad (25)$$

$$Sc = \nu_5 / D_5; \quad (26)$$

$$Fo_2 = \frac{\lambda_2 t_0}{\rho_2 C_2 H^2}; \quad (27)$$

$$Fo_3 = \frac{\lambda_3 t_0}{\rho_3 C_3 H^2}. \quad (28)$$

Начальные условия (см. рис. 1, а) ($\tau = 0$):

$$\begin{aligned} 0 < Y < \frac{Y_1}{L}, 0 < X < 1; \\ \frac{Y_1}{L} < Y < \frac{Y_2}{L}, 0 < X < \frac{X_1}{H}; \\ \frac{Y_3}{L} < Y < 1, 0 < X < \frac{X_1}{H} \end{aligned} \quad \Theta_3 = \Theta_0; \quad (29)$$

$$\begin{aligned} \frac{Y_1}{L} < Y < 1, \\ \frac{X_1}{H} < X < 1 \end{aligned} \quad \begin{cases} \Theta_1 = \Theta_0, \\ C_g = 0, \\ \Psi = 0, \\ \Omega = 0; \end{cases} \quad (30)$$

$$\frac{Y_2}{L} < Y < \frac{Y_3}{L}, 0 < X < \frac{X_1}{H} \quad \Theta_2 = \Theta_u. \quad (31)$$

Граничные условия (см. рис. 1, б) ($0 < \tau < \frac{t_3}{t_0}$):

$$\begin{aligned} X = 0, X = 1, 0 < Y < \frac{Y_1}{L}; \\ X = 0, \frac{Y_1}{L} < Y < \frac{Y_2}{L}, \\ \frac{Y_3}{L} < Y < 1 \end{aligned} \quad \frac{\partial \Theta_3}{\partial X} = 0; \quad (32)$$

$$X = 1, \frac{Y_1}{L} < Y < 1 \quad \begin{cases} \frac{\partial \Theta_5}{\partial X} = 0, \\ \frac{\partial C_g}{\partial X} = 0, \\ \frac{\partial \Psi}{\partial X} = 0, \\ \frac{\partial \Omega}{\partial X} = 0; \end{cases} \quad (33)$$

$$X = 0, \frac{Y_2}{L} < Y < \frac{Y_3}{L} \quad \begin{cases} \frac{\partial \Theta_2}{\partial X} = 0, \\ C_g = 0, \\ \Psi = 0, \\ \Omega = 0; \end{cases} \quad (34)$$

$$\begin{aligned} X = \frac{X_1}{H}, \\ \frac{Y_2}{L} < Y < \frac{Y_3}{L} \end{aligned} \quad \begin{cases} \frac{\partial \Theta_2}{\partial X} = \frac{\lambda_5}{\lambda_2} \frac{\partial \Theta_5}{\partial X}, \\ \Theta_2 = \Theta_5, \\ \frac{\partial C_g}{\partial X} = 0, \\ \frac{\partial \Psi}{\partial X} = 0, \\ \Psi = 0; \end{cases} \quad (35)$$

$$Y = 0, 0 < X < 1 \quad \frac{\partial \Theta_3}{\partial Y} = 0; \quad (36)$$

$$\begin{aligned} Y = \frac{Y_1}{L}, \\ 0 < X < 1 \end{aligned} \quad \begin{cases} \frac{\partial \Theta_3}{\partial Y} = \frac{\lambda_5}{\lambda_2} \frac{\partial \Theta_5}{\partial Y} - Q_{ucn} W_{ucn} \frac{L}{\Delta T \lambda_3}, \\ \Theta_3 = \Theta_5, \\ \frac{\partial C_g}{\partial Y} = -\frac{W_{ucn} L}{\rho_5 D_5}, \\ \frac{\partial \Psi}{\partial X} = U, \\ -\frac{\partial \Psi}{\partial X} = V; \end{cases} \quad (37)$$

$$\begin{aligned} Y = \frac{Y_2}{L}, \\ Y = \frac{Y_3}{L}, \\ 0 < X < \frac{X_1}{H} \end{aligned} \quad \begin{cases} \frac{\partial \Theta_2}{\partial Y} = \frac{\lambda_5}{\lambda_2} \frac{\partial \Theta_5}{\partial Y}, \\ \Theta_2 = \Theta_5, \\ \frac{\partial C_g}{\partial Y} = 0, \\ \frac{\partial \Psi}{\partial Y} = 0, \\ \Psi = 0; \end{cases} \quad (38)$$

$$Y = 1, 0 < X < 1 \quad \begin{cases} \frac{\partial \Theta_5}{\partial Y} = 0, \\ \frac{\partial C_g}{\partial Y} = 0, \\ \frac{\partial \Psi}{\partial Y} = 0, \\ \frac{\partial \Omega}{\partial Y} = 0. \end{cases} \quad (39)$$

Здесь Q_{ucn} — тепловой эффект испарения жидкости, кДж/кг; W_{ucn} — массовая скорость испарения, кг·м²/с.

Для вычисления скорости окисления паров бензина в воздухе использовано выражение [11]:

$$W_{вос} = k_0 (1 - C_g)^n C_g^m \rho_5 \exp\left(-\frac{E}{RT_5}\right), \quad (40)$$

где k_0 — предэкспоненциальный множитель, с⁻¹;
 E — энергия активации, кДж/моль;
 R — универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К);
 n, m — постоянные.

Кинематическая вязкость парогазовой смеси рассчитана по формуле [5]:

$$\nu_5 = \frac{171 + 0,35T_5}{\rho_5} \cdot 10^7. \quad (41)$$

Коэффициент диффузии паров бензина в воздухе [5]:

$$D_5 = 7,83 \cdot 10^{-6} \left(\frac{T_5}{273} \right)^{1,89}. \quad (42)$$

Скорость парообразования вычислена из соотношения [12]:

$$W_{исп} = \frac{A(P_{исп}^H - P_{исп})}{\sqrt{2\pi R T_{пож} / M}}, \quad (43)$$

где A — коэффициент аккомодации;

$P_{исп}^H$ — давление насыщения паров горючего, Н/м²;

$P_{исп}$ — давление паров над поверхностью жидкости, Н/м²;

M — молекулярная масса жидкого топлива, кг/кмоль;

$T_{пож}$ — температура поверхности жидкости, К.

Коэффициент аккомодации рассчитан по формуле [13]:

$$A = 35 / (P_{исп}^H)^{0,56}. \quad (44)$$

Метод решения

Для решения системы нелинейных нестационарных дифференциальных уравнений (16) – (21) с соответствующими начальными и граничными условиями (29) – (39) применен метод конечных разностей [14]. Разностные аналоги дифференциальных уравнений найдены локально-одномерным методом [14]. Система одномерных разностных уравнений решена методом прогонки с использованием неявной четырехточечной разностной схемы [14] совместно с методом итераций [15].

Результаты и обсуждение

Численное исследование процесса зажигания в системе (см. рис. 1) выполнено при следующих

теплофизических и термохимических характеристиках взаимодействующих веществ [3, 5, 16–18]:

- воздух: $C_1 = 1190$ Дж/(кг·К), $\rho_1 = 1,161$ кг/м³, $\lambda_1 = 0,026$ Вт/(м·К), $T_0 = 300$ К;
- стальная частица: $C_2 = 470$ Дж/(кг·К), $\rho_2 = 7831$ кг/м³, $\lambda_2 = 49$ Вт/(м·К), $T_q = 1000$ К;
- бензин: $C_3 = 2060$ Дж/(кг·К), $\rho_3 = 751$ кг/м³, $\lambda_3 = 0,116$ Вт/(м·К), $C_4 = 2280$ Дж/(кг·К), $\rho_4 = 2,5$ кг/м³, $\lambda_4 = 0,027$ Вт/(м·К), $Q_{вос} = 45$ МДж/кг, $E = 130$ кДж/моль, $k_0 = 7 \cdot 10^6$ с⁻¹, $M = 100$ кг/кмоль, $Q_{исп} = 29,4$ кДж/кг, $\beta = 0,0012$ °С⁻¹, $T_0 = 300$ К.

В результате моделирования исследуемого процесса установлена возможность воспламенения смеси паров жидкого бензина с воздухом в рассматриваемой системе (см. рис. 1). Определены зависимости времени задержки воспламенения жидкости от расстояния между ней и нижней гранью частицы ($Y_1 < \Delta Z < Y_2$) при фиксированной температуре окружающего воздуха $T_{окр}$, а также от температуры окружающего воздуха $T_{окр}$ при фиксированном ΔZ . Результаты представлены в табл. 1 и 2.

Анализ значений t_3 (см. табл. 1) показывает, что при размерах частицы $L_q = 1$ мм, $H_q = 4$ мм максимальное расстояние от поверхности жидкости ΔZ , при котором возможно воспламенение парогазовой смеси, составляет величину, почти в 10 раз превышающую L_q . Можно предположить, что установленная закономерность будет иметь место при увеличении размеров частицы. В этом случае необходимо учитывать скорость движения (падения или пролета) частицы, которая может значительно влиять на время задержки воспламенения. При увеличении ΔZ интенсивность процессов тепло- и массопереноса в рассматриваемой системе снижается, вследствие чего время задержки воспламенения увеличивается.

При повышении температуры окружающей среды процесс испарения бензина происходит более интенсивно (см. табл. 2). В результате чего концентрация паров горючего в газовой области рассматриваемой системы возрастает. Это, в свою очередь, приводит к увеличению интенсивности процессов

Таблица 1. Время задержки воспламенения в системе *стальная частица – бензин – воздух* в зависимости от ΔZ при $T_{окр} = 35^\circ\text{C}$, $T_q = 1000$ К, $L_q = 1$ мм, $H_q = 4$ мм

ΔZ , мм	5	6	7	8	9	10	11	12
t_3 , с	1,262	1,423	1,581	1,853	2,129	2,437	2,843	Нет воспламенения

Таблица 2. Время задержки воспламенения в системе *стальная частица – бензин – воздух* в зависимости от $T_{окр}$ при $\Delta Z = 7$ мм, $T_q = 1000$ К, $L_q = 1$ мм, $H_q = 4$ мм

$T_{окр}$, °С	35	30	20	10	0	-10	-15
t_3 , с	1,581	1,619	1,715	1,867	1,993	2,517	Нет воспламенения

Таблица 3. Время задержки воспламенения в системе *стальная частица – бензин – воздух* в зависимости от T_q при $L_q = 1$ мм, $H_q = 4$ мм, $\Delta Z = 7$ мм, $T_{окр} = 35^\circ\text{C}$

T_q , К	1500	1250	1000	975	950	925	900	875
t_3 , с	1,383	1,442	1,581	1,736	1,919	2,341	2,772	Нет воспламенения

тепло- и массопереноса, что хорошо согласуется с общей теорией [7]. Как следствие, ускоряются химические реакции окисления паров горючего в окружающем воздухе, время задержки воспламенения резко уменьшается.

По данным табл. 2 можно сделать вывод, что в системе (см. рис. 1) при выбранных масштабах расчетной области минимальной температурой, при которой возможно воспламенение, является -10°C . Это показывает, что при высоком теплосодержании источника воспламенения возможно воспламенение парогазовой смеси даже при отрицательных температурах.

В результате численного анализа зажигания парогазовой смеси одиночной горячей стальной частицей установлена зависимость времени задержки воспламенения от начальной температуры источника зажигания T_q (табл. 3). Как и в случае идеального теплового контакта воспламеняемой жидкости с одиночной нагретой до высоких температур углеродистой частицей [1, 2], при увеличении T_q тепло- и массоперенос при зажигании парогазовой смеси стальной частицей проходят более интенсивно и время задержки воспламенения в системе (см. рис. 1) уменьшается.

На рис. 2 представлено температурное поле в момент воспламенения в системе *стальная частица – бензин – воздух* при $\Delta Z = 7$ мм, $T_{окр} = 35^\circ\text{C}$. Положение характерных изотерм в этом случае представлено на рис. 3.

На рис. 2 и 3 отчетливо видна зона воспламенения, которая имеет место в газовой области под частицей. Этот результат качественно хорошо согласуется с данными экспериментального исследования процессов зажигания газовой смеси металлическими высокотемпературными шариками и стержнями [19]. Расположение зоны воспламенения под частицей можно объяснить следующим образом. В рассматриваемой системе пары горючего формируются в результате фазового перехода равномерно по всей поверхности жидкости. После этого они диффундируют в окружающий воздух и перемешиваются с ним. Образуется парогазовая смесь с высоким содержанием паров горючего, но имеющая недостаточную для воспламенения температуру.

При появлении высокотемпературного источника зажигания (горячей частицы) образуются завихрения парогазовых потоков вблизи нижней поверхности частицы. Вследствие этого под частицей резко возрастает концентрация паров горючего и увеличивается температура парогазовой смеси. В та-

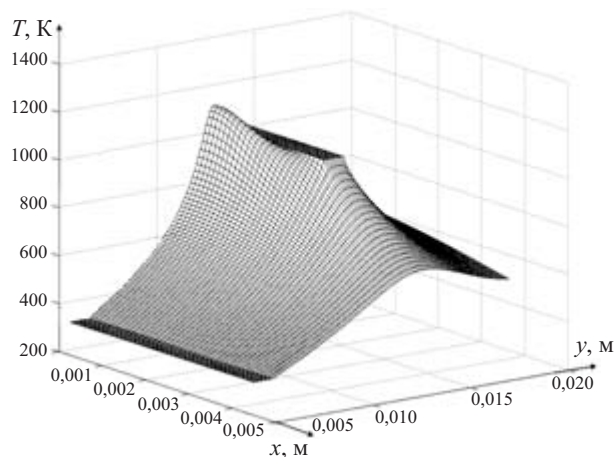


Рис. 2. Температурное поле системы *стальная частица – бензин – воздух* в момент воспламенения ($t_3 = 1,581$ с) при $T_q = 1000$ К, $L_q = 1$ мм, $H_q = 4$ мм, $T_{окр} = 35^\circ\text{C}$, $\Delta Z = 7$ мм

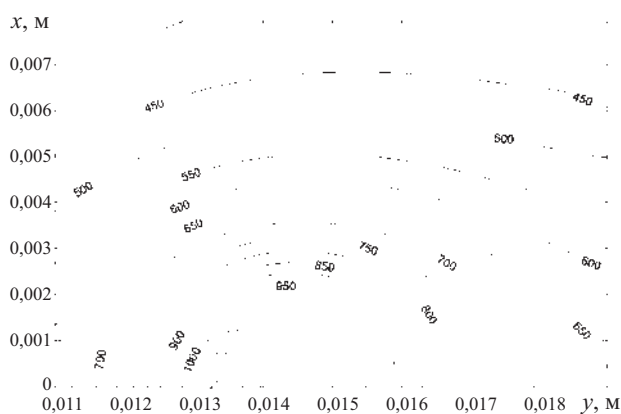


Рис. 3. Изотермы системы *стальная частица – бензин – воздух* в момент воспламенения ($t_3 = 1,581$ с) при $T_q = 1000$ К, $L_q = 1$ мм, $H_q = 4$ мм, $T_{окр} = 35^\circ\text{C}$, $\Delta Z = 7$ мм

ких условиях скорость реакции окисления паров горючего газами окислителя резко возрастает и происходит воспламенение парогазовой смеси.

Полученный результат позволяет сделать вывод о том, что, скорее всего, в большинстве случаев воспламенение бензина одиночными горячими частицами происходит до их взаимодействия с открытой поверхностью топлива. Так как расстояние от поверхности, на котором происходит газофазное воспламенение, относительно невелико, то этот механизм достаточно трудно было зафиксировать в случаях возникновения пожаров. Но высокая вероятность реализации данного механизма воспламенения бензина является основанием для вывода о том,

что воспламенение может происходить при движении нагретой частицы и параллельно поверхности испарения. Например, при пролете углеродистой частицы, образующейся при раздувании костров, над поверхностью разлитого и испаряющегося бензина. Аналогичные условия для воспламенения могут возникать и при открытых горловинах емкостей с бензином самого различного назначения, даже если частица не попадает непосредственно в отверстие емкости.

Также следует отметить, что для воспламенения по рассматриваемому механизму бензина необходимой является температура частицы более 1000 К. Такая температура частиц достигается при работе всех сварочных аппаратов и устройств для резки металлов. При температуре же около 1500 К воспламенение может происходить на расстоянии 2–3 см от поверхности испарения бензина. Сказанное еще раз подчеркивает высокую пожароопасность исследуемого процесса.

Заключение

В результате выполненных численных исследований показана возможность воспламенения смеси паров жидкого топлива, образующихся при относительно низких температурах, и воздуха одиночной нагретой до высоких температур металлической частицей. Предложен механизм газофазного воспламенения бензина, который может быть реализован во многих случаях на практике. Полученные данные создают объективные предпосылки для объяснения причин многих пожаров, возникающих при проведении сварочных работ или демонтаже металлических конструкций.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. **Кузнецов, Г. В.** Математическое моделирование зажигания жидкого горючего вещества нагретой до высоких температур частицей / *Г. В. Кузнецов, П. А. Стрижак* // Изв. вузов. Физика. — 2007. — №9/2. — С. 103–112.
2. **Кузнецов, Г. В.** Воспламенение пожароопасной жидкости одиночной “горячей” частицей / *Г. В. Кузнецов, П. А. Стрижак* // Пожаровзрывобезопасность. — 2007. — Т. 16, № 6. — С. 13–20.
3. **Горшков, В. И.** Тушение пламени горючих жидкостей / *В. И. Горшков*. — М.: Пожнаука, 2007. — 268 с.
4. **Lindstedt, R. P.** Detailed kinetic modeling of premixed benzene flames Lindstedt / *R. P. Lindstedt, G. Skevis* // Combustion and Flame. — 1994. — № 99. — P. 551–561.
5. **Варгафтик, Н. Б.** Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей / *Н. Б. Варгафтик*. — М.: ООО “Старс”, 2006. — 720 с.
6. **Dagaut, P.** The ignition, oxidation and combustion of kerosene: A review of experimental and kinetic modeling / *P. Dagaut, M. Cathonnet* // Progress in Energy and Combustion Science. — 2006. — № 32. — P. 48–92.
7. **Виллюнов, В. Н.** Теория зажигания конденсированных веществ / *В. Н. Виллюнов*. — Новосибирск: Наука, 1984. — 190 с.
8. **Пасконов, В. М.** Численное моделирование процессов тепло- и массообмена / Под ред. *В. М. Пасконова, В. И. Полежаева, Л. А. Чудова*. — М.: Наука, 1984. — 277 с.
9. **Роуч, П. Дж.** Вычислительная гидродинамика: пер. с англ. / *П. Дж. Роуч*; под ред. *П. И. Чушкина*. — М.: Мир, 1980. — 616 с.
10. **Джалурия, Й.** Естественная конвекция: тепло- и массообмен: пер. с англ. / *Й. Джалурия*. — М.: Мир, 1983. — 399 с.
11. **Франк-Каменецкий, Д. А.** Диффузия и теплопередача в химической кинетике / *Д. А. Франк-Каменецкий*. — М.: Наука, 1987. — 490 с.
12. **Полежаев, Ю. В.** Тепловая защита / *Ю. В. Полежаев, Ф. Б. Юрьевич*. — М.: Энергия, 1976. — 391 с.
13. **Исаченко, В. П.** Теплообмен при конденсации / *В. П. Исаченко*. — М.: Энергия, 1977. — 239 с.
14. **Самарский, А. А.** Теория разностных схем / *А. А. Самарский*. — М.: Наука, 1983. — 616 с.
15. **Коздоба, Л. А.** Методы решения нелинейных задач теплопроводности / *Л. А. Коздоба*. — М.: Наука, 1975. — 227 с.
16. **Щетинков, Е. С.** Физика горения газов / *Е. С. Щетинков*. — М.: Наука, 1965. — 739 с.
17. **Бабичев, А. П.** Физические величины: справочник / *А. П. Бабичев, Н. А. Бабушкина, А. М. Братковский*. — М.: Энергоатомиздат, 1991. — 1232 с.
18. **Корольченко, А. Я.** Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справочник / Под ред. *А. Я. Корольченко, Д. А. Корольченко*. — М.: Пожнаука, 2004. — Ч. 1. — 713 с.
19. **Кумагаи, С.** Горение: пер. с англ. / *С. Кумагаи*; пер. *С. К. Орджоникидзе, Б. С. Ермолаев*. — М.: Химия, 1979. — 255 с.

Поступила в редакцию 15.04.08.



Канд. физ.-мат. наук, доцент,
доцент кафедры физической и
вычислительной механики Томского
государственного университета (ТГУ)

А. Н. Субботин

УДК 662.612.324:662.612.31

ВЛИЯНИЕ ДИФфуЗИИ НА ВОСПЛАМЕНЕНИЕ И ГОРЕНИЕ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ

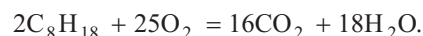
Исследуется влияние диффузии отдельных компонентов многокомпонентной горючей смеси на время зажигания, нестационарные и стационарные процессы горения. Установлено, когда в теории горения следует корректно учитывать диффузионные свойства реальных горючих газообразных смесей, а когда можно использовать формулу Уилке или формулы для коэффициентов бинарной диффузии. Показано, в каких случаях упрощенный расчет коэффициентов диффузии приводит к большим погрешностям в определении скорости горения.

Постановка задачи

В ранних работах, например [1, 2], исследовался вопрос о зажигании накаливаемой поверхностью, причем считалось, что смесь бинарная и использовалась эффективная скорость реакции для гипотетического газа. В публикации [3] рассматривалось влияние многокомпонентной диффузии на нормальную скорость горения окисей углерода и этилена. Имеются работы, например [4–6], посвященные исследованию конвективных течений, образующихся вследствие диффузии в многокомпонентных газовых смесях. В публикации [7] изучается роль многокомпонентной диффузии на процессы воспламенения и горения трехкомпонентной газовой смеси, теплофизические и диффузионные свойства компонентов которой слабо различаются. В отличие от перечисленных выше работ в данной статье исследуются процессы зажигания и горения пятикомпонентного реагирующего газа с сильно различающимися теплофизическими и диффузионными свойствами компонентов.

Рассматривается нагретая пластина, температура которой остается постоянной и примерно равной температуре горения. В момент времени $t = 0$ она приводится в соприкосновение с реагирующим газом, занимающим полупространство. Предполагается, что пластина инертная, а свободная и вынужденная конвекции реагирующего газа отсутствуют. Исследуем влияние диффузии на зажигание и горение многокомпонентных газовых смесей на примере оксида углерода и изооктано-воздушной смеси. Будем учитывать сжимаемость горючей смеси и предположим, что она состоит из пяти компонент. Первый компонент — горючее — изооктан (C_8H_{18})

или оксид углерода (CO), второй — кислород (O_2), третий — диоксид углерода (CO_2), четвертый — водяные пары (H_2O), пятый — азот (N_2). Вначале рассмотрим зажигание и горение изооктано-воздушной смеси



Тепловой эффект реакции, согласно [8], равен 10664,4 кДж/моль, а скорость реакции определяется по формуле:

$$\frac{dy_1}{dt} = -\left(\frac{p}{R}\right)^{1,8} k_0 x_1^{0,8} x_2 T^{-1,3} \exp\left(-\frac{E_1}{RT}\right),$$

где $k_0 = 1,11 \cdot 10^{14}$ для бедных смесей ($\bar{\alpha} < 1$) и $k_0 = 1,67 \cdot 10^{13}$ для богатых смесей ($\bar{\alpha} > 1$); $E_1 = 175980$ Дж/моль.

Поставим своей задачей оценить влияние многокомпонентной диффузии на скорость горения и время выхода на режим нормального горения. Если учитывать записанную выше кинетику, то задача о зажигании изооктано-воздушной смеси накаливаемой поверхностью при сделанных предположениях сводится к решению системы уравнений сохранения массы α -компонентов, энергии и состояния, которые запишем в безразмерном виде:

$$\frac{\partial c_\alpha}{\partial \tau} = -L_n \frac{\partial J_\alpha}{\partial y} - \gamma_\alpha \frac{x_1^{0,8} x_2}{\rho (1 + \beta\theta)^{1,3}} \exp \frac{\theta}{1 + \beta\theta},$$

$$\alpha = \overline{1,4}; \quad (1)$$

$$c_p \frac{\partial \theta}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial y} \left(\rho \lambda \frac{\partial \theta}{\partial y} \right) - L_n \frac{\partial \theta}{\partial y} \sum_{\alpha=1}^5 c_{p\alpha} c_\alpha +$$

$$+ \frac{x_1^{0,8} x_2}{\rho (1 + \beta\theta)^{1,3}} \exp \frac{\theta}{1 + \beta\theta}; \quad (2)$$

$$\rho = \frac{\bar{M}}{1 + \beta\theta}. \quad (3)$$

Система уравнений (1)–(3) решалась совместно с соотношениями Стефана – Максвелла [9, 10], которые в нашем случае будут иметь вид [11]:

$$\frac{\partial c_\alpha}{\partial y} = \sum_{i=1}^5 \frac{x_\alpha x_i}{\rho^2 D_{\alpha i}} \left(\frac{J_i}{c_i} - \frac{J_\alpha}{c_\alpha} \right),$$

$$\alpha = \overline{1, 4}, \quad \sum_{\alpha=1}^5 J_\alpha = 0. \quad (4)$$

Коэффициенты бинарной диффузии $D_{\alpha i}$ для молекул сорта α и i вычислялись по формуле [10]:

$$D_{\alpha i} = \frac{D'_{\alpha i}}{D_{12}} = \frac{1,858 \cdot 10^{-7} \sqrt{\frac{T^3 (M_\alpha + M_i)}{M_\alpha M_i}}}{D_{12} P \sigma_{\alpha i}^2 \Omega_{\alpha i}^{(1,1)*} (T_{\alpha i}^*)}. \quad (5)$$

Для расчета коэффициента теплопроводности смеси газов использовалась формула Мейсена и Саксены [9]:

$$\lambda' = \frac{\sum_{\alpha=1}^5 \frac{\lambda'_\alpha}{1 + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq \alpha}}^5 G_{\alpha k} \frac{x_k}{x_\alpha}}}{}, \quad (6)$$

где

$$G_{\alpha k} = \frac{1,065}{2\sqrt{2}} \left(1 + \frac{M_\alpha}{M_k} \right)^{-1/2} \left[1 + \left(\frac{\lambda'_{\alpha 0}}{\lambda'_{k 0}} \right)^{1/2} \left(\frac{M_\alpha}{M_k} \right)^{1/4} \right].$$

Коэффициент теплопроводности α -компоненты λ'_α с учетом по Эйкену [9] внутренних степеней свободы определялся по формуле:

$$\lambda'_\alpha = \lambda'_{\alpha 0} \left(0,115 + 0,354 \frac{c_{p\alpha}}{R} \right), \quad (7)$$

где коэффициент теплопроводности “чистого” газа равен

$$\lambda'_{\alpha 0} = \frac{8,334 \cdot 10^{-2} \sqrt{M_\alpha T}}{M_\alpha \sigma_\alpha^2 \Omega_\alpha^{(2,2)*} (T_\alpha^*)}. \quad (8)$$

Значения $\Omega_{\alpha i}^{(1,1)*}$, $\Omega_\alpha^{(2,2)*}$, σ_α и ε_α/k для N_2 , O_2 , CO , CO_2 , H_2O и C_8H_{18} были взяты из работ [8, 9].

Удельные теплоемкости α -компонентов $c_{p\alpha}$ (кроме C_8H_{18}) вычислялись согласно [12] по формуле:

$$c_{p\alpha} = a_\alpha + b_\alpha T + c_\alpha T^{-2}, \quad (9)$$

а для изооктана по уравнению:

$$c_{p\alpha} = a_\alpha + b_\alpha T + c_\alpha T^2 + d_\alpha T^3, \quad (10)$$

значения констант a_α , b_α , c_α , d_α приведены в [12].

Система уравнений (1)–(4) решалась при следующих начальных и граничных условиях:

$$\theta|_{\tau=0} = -\theta_n, \quad \theta|_{y=0} = 0, \quad \theta|_{y=y_\infty} = -\theta_n, \quad (11)$$

$$J_\alpha|_{y=0} = 0,$$

$$c_\alpha|_{y=y_\infty} = c_\alpha|_{\tau=0} = c_{\alpha n}, \quad \alpha = \overline{1, 4}. \quad (12)$$

Анализ численных расчетов

При численном интегрировании краевых задач (1)–(4), (11), (12) с учетом формул (5)–(10) фиксировались поля концентрации компонентов, температуры, чисел Льюиса и нормальная скорость горения, которые вычислялись с погрешностью, не превышающей 1%. Координата “фронта” пламени $y_*(\tau)$ определялась из условия:

$$c_*(y_*, \tau) = 0,01. \quad (13)$$

Здесь $c_*(y_*, \tau)$ — концентрация α -компоненты, которая находится в недостатке (для бедной смеси $c_* = c_{1*}$, для богатой $c_* = c_{2*}$).

Все численные расчеты, приведенные ниже, были получены при $T_n = 400$ К, $T_* = 2000$ К, а начальные значения массовых концентраций компонентов смеси варьировались.

На рис. 1 приведены временные зависимости безразмерной скорости горения изооктано-воздушной смеси, массовые концентрации компонентов которой в начальный момент времени составляли $c_{1n} = 0,07$, $c_{2n} = 0,37$, $c_{3n} = 0,01$, $c_{4n} = 0,05$, $c_{5n} = 0,5$ (бедная смесь). Временная зависимость скорости горения смеси для случая, когда учитывается многокомпонентная диффузия, изображена кривой 1. Кривые 2–5 показывают зависимости скорости горения изооктана от времени, когда взаимная диффузия компонентов не учитывается. Так как компонентой, лимитирующей процесс, для приведенного случая является изооктан, то использовались коэф-

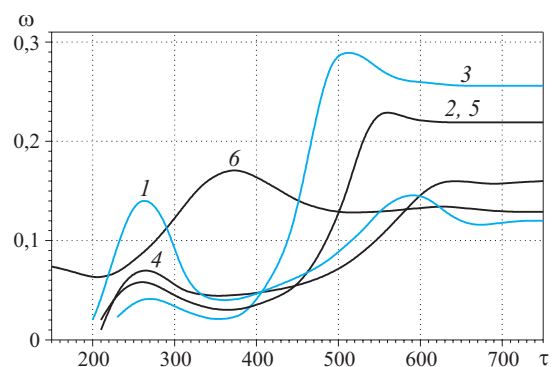


Рис. 1. Изменение со временем скорости горения бедной изооктано-воздушной смеси при различном учете диффузионного переноса

коэффициенты бинарной диффузии с недостающим компонентом, т.е. коэффициенты бинарной диффузии: D_{12} — между изооктаном и кислородом, D_{13} — изооктаном и диоксидом углерода, D_{14} — изооктаном и парами воды, D_{15} — изооктаном и азотом. Зависимость 2 (см. рис. 1) получена при условии равенства всех эффективных коэффициентов диффузии коэффициенту бинарной диффузии D_{12} , кривые 3, 4 и 5 — при тех же условиях, что и кривая 2, но вместо D_{12} использовались коэффициенты D_{13} , D_{14} и D_{15} соответственно. Кривая 6 представляет зависимость безразмерной скорости горения от времени для того случая, когда эффективные коэффициенты диффузии вычислялись по формуле Уилке (C. R. Wilke) [13], имеющей вид:

$$D_{\alpha} = \frac{1 - x_{\alpha}}{\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq \alpha}}^5 x_j / D_{\alpha j}}, \quad (14)$$

а диффузионные потоки определялись по формулам с использованием закона Фика [13], который в лагранжевых переменных запишется как

$$J_{\alpha} = -\rho^2 D_{\alpha} \frac{\partial c_{\alpha}}{\partial y}. \quad (15)$$

Анализируя рис. 1 приходим к выводу, что диффузионные свойства бедной смеси с сильно различающимися молекулярными массами компонентов нельзя с хорошей точностью описать одним коэффициентом диффузии, как при стационарном, так и при нестационарном процессе. Самые близкие результаты к точному решению (кривая 1) получаются при использовании коэффициента бинарной диффузии D_{14} (кривая 4). Времена выхода на стационарный режим горения различаются для данных расчетов на 25%, нормальные скорости горения — на 30%. Временные зависимости скорости горения изооктана при использовании коэффициентов бинарной диффузии D_{12} и D_{15} совпадают (см. рис. 1, кривые 2 и 5), это объясняется тем, что диффузные свойства кислорода и азота близки.

Различие в нормальной скорости горения, полученное при решении основной системы уравнений совместно с соотношениями Стефана – Максвелла (3) (см. рис. 1, кривая 1) или с использованием формул (14) и (15) (см. рис. 1, кривая 6), не превышает 8%.

Таким образом, в случае сильного различия молекулярных масс компонентов формула (14) при стационарном режиме горения бедной изооктано-воздушной смеси достаточно точно описывает диффузные свойства компонентов.

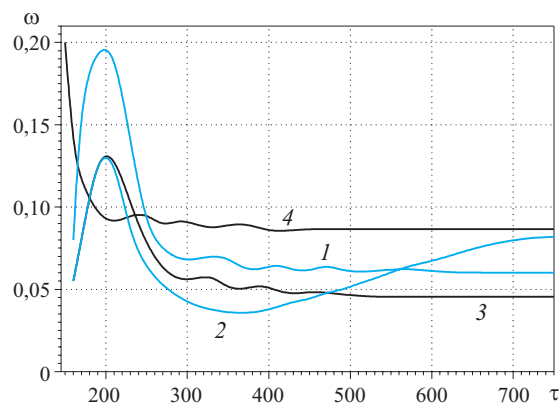


Рис. 2. Изменение скорости горения богатой изооктано-воздушной смеси при выходе на стационарный режим горения

На рис. 2 представлены временные зависимости безразмерной скорости горения богатой изооктано-воздушной смеси. Начальные массовые концентрации компонентов в данных расчетах были заданы следующими: $c_{1н} = 0,2$, $c_{2н} = 0,24$, $c_{3н} = 0,01$, $c_{4н} = 0,05$, $c_{5н} = 0,5$.

На рис. 2 кривая 1 так же, как и на предыдущем, показывает временную зависимость скорости горения изооктана, когда учитывается многокомпонентная диффузия (решаются соотношения Стефана – Максвелла). Кривые 2 и 3 получены без учета взаимной диффузии компонентов. В расчетах, представленных на рис. 2, также использовались коэффициенты бинарной диффузии с активным компонентом, находящимся в недостатке. Кривая 2 построена для случая равенства всех эффективных коэффициентов диффузии коэффициенту D_{21} (коэффициент бинарной диффузии между кислородом и изооктаном), а кривая 3 — D_{23} (коэффициент бинарной диффузии между кислородом и диоксидом углерода). Зависимость 4 показывает изменение со временем скорости горения изооктана при описании диффузных свойств горючей смеси формулой Уилке (14).

Анализируя графики рис. 2 можно сделать вывод, что для богатых горючих смесей с сильно различающимися молекулярными массами, использование бинарных коэффициентов диффузии не только приводит к существенным погрешностям в определении нормальной скорости горения (24%) и времени выхода на режим стационарного горения (18%), но и делает невозможным описание с хорошей точностью диффузионных процессов формулой Уилке, использование которой приводит к погрешностям, равным соответственно 32 и 36%. Последний результат, вообще говоря, следовало ожидать, так как формула Уилке получена для бедных смесей.

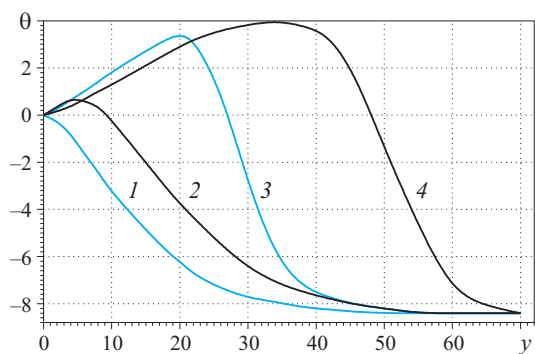


Рис. 3. Профили температуры в разные моменты времени при горении бедной изооктано-воздушной смеси: $c_{1н} = 0,07$; $c_{2н} = 0,37$; $c_{3н} = 0,01$; $c_{4н} = 0,05$; $c_{5н} = 0,5$

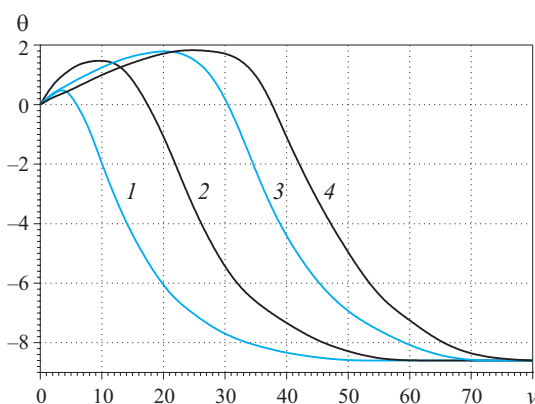


Рис. 4. Профили температуры в разные моменты времени при горении богатой изооктано-воздушной смеси: $c_{1н} = 0,2$; $c_{2н} = 0,24$; $c_{3н} = 0,01$; $c_{4н} = 0,05$; $c_{5н} = 0,5$

На рис. 3 и 4 приведены профили температуры для четырех моментов времени: 1 — $\tau = 177,5$; 2 — $\tau = 361$; 3 — $\tau = 556$; 4 — $\tau = 717$. Из приведенных графиков следует, что температура горения бедной смеси несколько выше, чем богатой. Этот факт обусловлен малым содержанием кислорода в богатой горючей смеси. И поэтому, в конечном счете, при горении богатой смеси в единице объема сгорает меньшее количество горючего, чем при горении бедной.

Анализируя кривые 2, 3 и 4 рис. 3 и 4, а также кривые 1 рис. 1 и 2, можно сделать вывод, что богатая горючая изооктано-воздушная смесь воспламеняется быстрее и раньше устанавливается стационарный режим горения.

Следует заметить, что для изооктано-воздушной смеси эффективное число Льюиса инертного компонента, как и для горючей смеси *диоксид углерода — воздух* [11], может принимать значения как большие единицы, так и отрицательные (рис. 5, кривая 5).

На рис. 5 изображены профили эффективных чисел Льюиса в момент времени $\tau = 199,5$ для смеси

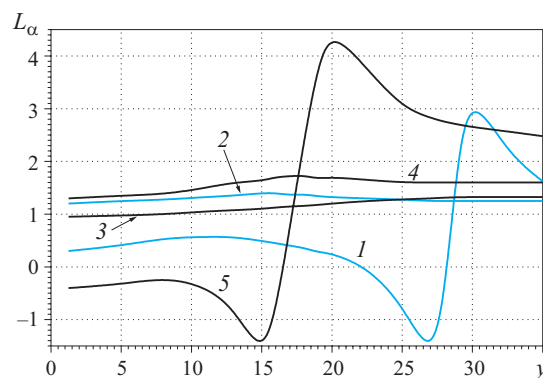


Рис. 5. Профили эффективных чисел Льюиса – Семенова для богатой изооктано-воздушной горючей смеси

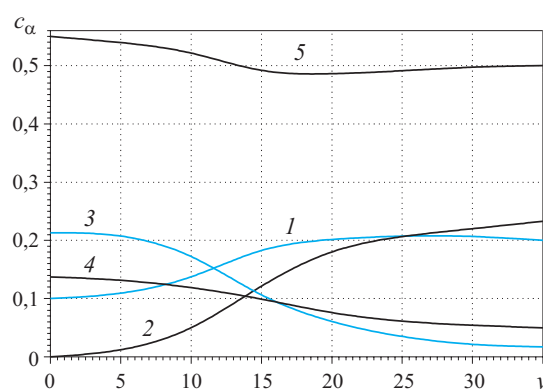


Рис. 6. Пространственные распределения массовых концентраций при воспламенении богатой изооктано-воздушной смеси

состава: $c_{1н} = 0,2$, $c_{2н} = 0,24$, $c_{3н} = 0,01$, $c_{4н} = 0,05$, $c_{5н} = 0,5$, а на рис. 6 — профили массовых концентраций компонентов для того же расчета. На рис. 5 и 6 номер кривой совпадает с номером компонентов смеси. Из рис. 5 следует, что для изооктано-воздушной смеси отрицательные и большие единицы значения может принимать и эффективное число Льюиса активной компоненты (изооктана), но в отличие от инертного компонента этот участок сдвинут в холодную область (находится перед “фронтом” химической реакции). Данный эффект можно объяснить тем фактом, что остальные компоненты более легкие (т.е. более подвижные), поэтому, диффундируя в зону реакции, они создают некоторый избыток изооктана перед областью химических превращений (см. рис. 5 и 6 кривые 1 в области $19 < y \leq 35$).

Следует заметить, что в работе [14] при обсуждении эффекта избирательной диффузии приводятся результаты, подтверждающие описанный выше эффект. В данной работе экспериментально установлено, что для водородо-воздушных смесей пробы, взятые у верхушки пламени, более соответству-

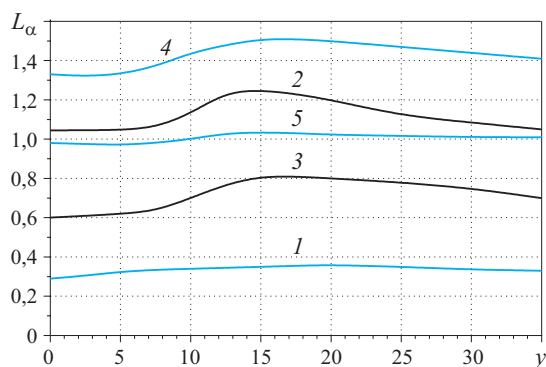


Рис. 7. Профили эффективных чисел Льюиса – Семенова при расчете эффективных коэффициентов диффузии по формуле Уилке

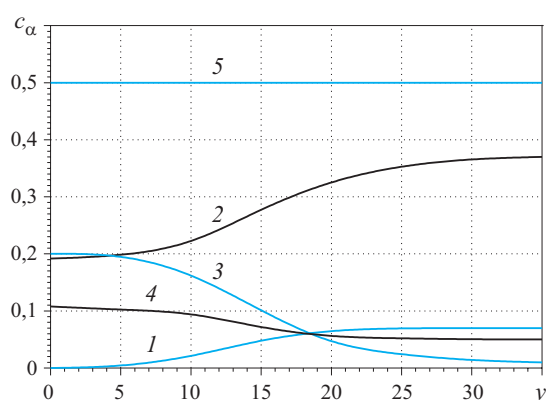


Рис. 8. Профили массовых концентраций α -компонентов при расчете эффективных коэффициентов диффузии по формуле Уилке

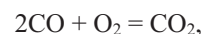
ют бедным смесям, чем пробы, взятые у боковой поверхности. Кроме того, в публикации [14] при условиях, когда полностью исключается влияние вторичного воздуха, установлено, что продукты, отобранные у верхушки пламени предварительно перемешанных смесей бензола и эфира с воздухом, более соответствовали богатому составу, чем продукты, отобранные у боковой поверхности пламени. На основании этих результатов N. Vubnoff [14] приходит к заключению, что более тяжелый компонент смеси всегда устремляется к верхушке пламени.

На рис. 7 показаны пространственные распределения эффективных чисел Льюиса, на рис. 8 — массовых концентраций α -компонентов в момент времени $\tau = 269,2$ для бедной изооктано-воздушной смеси ($c_{1н} = 0,07$, $c_{2н} = 0,37$, $c_{3н} = 0,01$, $c_{4н} = 0,05$, $c_{5н} = 0,5$). При проведении данных расчетов эффективные коэффициенты диффузии вычислялись по формуле Уилке (14). Таким образом, как следует из рис. 7 и 8, если использовать формулу (14) для вычисления эффективных коэффициентов диффузии, то концентрация инертной компоненты будет постоянной, а эффективные числа Льюиса – Семенова

не будут принимать отрицательных и сильно отклоняющихся от средних значений.

Вопрос о том, когда следует корректно учитывать диффузные свойства реальных горючих газобразных смесей в теории горения, является важным, так как при учете взаимной диффузии компонентов математическая постановка задачи значительно усложняется по сравнению с математической моделью в бинарной постановке. Поэтому проанализируем данный вопрос на основе проведенных расчетов.

Вначале рассматривался случай, когда компоненты можно объединить в две группы по молекулярным массам так, что в каждой из групп молекулярные массы компонентов различались не сильно, как делалось в работе [15] для задачи диссоциированного многокомпонентного пограничного слоя. С этой целью проанализируем задачу о зажигании оксида углерода в воздухе нагретой пластиной, постановка которой имеет тот же вид (1)–(4), (11), (12), но вместо изооктана рассматривается реакция окисления оксида углерода:



тепловой эффект которой, согласно [8], равен 567,7 КДж/моль, а скорость реакции определяется по формуле:

$$\frac{dy_1}{dt} = -\bar{k}_0 x_1 x_2^{0,25} T^{-2,25} \exp\left(\frac{E_2}{RT}\right).$$

Здесь предэкспоненциальный множитель $\bar{k}_0 = (1,14-2,5) \cdot 10^{12}$, энергия активации $E_2 = 96370$ Дж/моль.

В рассматриваемом случае имеем горючую смесь, состоящую из четырех компонентов — CO, O₂, CO₂ и N₂. Молекулярные массы оксида углерода, кислорода и азота различаются не сильно, поэтому объединим их в одну группу, а в другую включим диоксид углерода. Тогда на основании работы [15] можно предположить, что диффузионные свойства такой горючей смеси будут достаточно точно описаны одним эффективным коэффициентом диффузии, равным коэффициенту бинарной диффузии D_{13} (в данном случае индекс 1 относится к CO, 2 — O₂, 3 — CO₂, 4 — N₂).

Для проверки этого предположения были проведены расчеты по зажиганию трех- ($c_{1н} = 0,2658$, $c_{2н} = 0,3038$, $c_{3н} = 0,4304$) и четырехкомпонентной ($c_{1н} = 0,2658$, $c_{2н} = 0,3038$, $c_{3н} = 0,2304$, $c_{4н} = 0,2$) горючих смесей, эффективные коэффициенты диффузии при этом заменялись коэффициентом бинарной диффузии D_{13} .

Нормальная скорость горения для трехкомпонентной смеси оказалась равной 0,226 м/с, для че-

тырехкомпонентной — 0,261 м/с. Нормальная же скорость горения СО при учете взаимной диффузии компонентов для трех- и четырехкомпонентной смесей того же состава равнялась 0,2277 и 0,284 м/с соответственно. Различие в стационарных профилях температур и концентраций в данных примерах не превышало 1%. Таким образом, в рассматриваемом случае при вычислении нормальной скорости горения диффузионные свойства смеси можно описать одним коэффициентом диффузии (решать задачу в бинарной постановке), точно так же, как предложено в работе [15] для замороженных течений в пограничном слое.

Следует заметить, что несмотря на хорошее согласование стационарных значений скорости горения, время выхода на нормальный режим горения различается более чем в два раза. Для трех- и четырехкомпонентной горючих смесей при учете многокомпонентной диффузии время выхода на стационарный режим горения соответственно равно $3,31 \cdot 10^{-3}$ и $3,02 \cdot 10^{-3}$ с, а при $D_\alpha = D_{13}$ время выхода на нормальный режим горения составит $1,55 \cdot 10^{-3}$ и $1,36 \cdot 10^{-3}$ с. Кроме того, при учете взаимной диффузии компонентов в приведенных выше примерах выход на режим стационарного горения сопровождается затухающими колебаниями скорости горения, а при $D_\alpha = D_{13}$ скорость горения асимптотически приближается к стационарной без колебаний.

Рассмотрим далее изооктано-воздушную смесь, молекулярные массы компонентов которой сильно различаются. Резюмируя результаты численных расчетов, представленных на рис. 1–6, можно сделать вывод, что диффузионные свойства бедных горючих смесей с существенно различающимися молекулярными массами можно для стационарного режима горения достаточно точно рассчитывать по формулам (14) и (15). При решении задач стационарного горения богатых горючих смесей использование данных формул приводит к погрешности в определении нормальной скорости горения от 24 до 100% (см. рис. 1 и 2, кривые 1 и 3). Следует отметить, что диффузионные процессы при нестационарном горении не удается точно моделировать ни с применением бинарных коэффициентов диффузии, ни и с использованием формулы Уилке для вычисления эффективных коэффициентов диффузии (погрешность от 18 до 129%).

Таким образом, на основании представленных выше примеров можно сделать вывод, что если молекулярные массы компонентов различаются сильно, то при теоретическом исследовании как нестационарных, так и стационарных процессов горения реальных многокомпонентных смесей необходимо использовать для нахождения диффузионных пото-

ков соотношения Стефана – Максвелла. В противном случае ошибки в определении характеристик процесса воспламенения и горения могут достигать больших значений (от 18 до 129%).

Список обозначений

y_1 — молярно-объемная концентрация изооктана, Кмоль/м³;

p — давление, атм;

R — универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К);

k_0 — предэкспоненциальный множитель, моль·К^{1,3}·Дж^{1,8}/[м³·с·(атм·моль·К)^{1,8}];

x_1, x_2 — молярные концентрации изооктана и кислорода соответственно;

$\bar{\alpha}$ — коэффициент избытка горючего;

$\tau = t/t_*$ — безразмерное время;

$t_* = \frac{c_{pn} \rho_n^2 R T_*^{3,3} \exp(E_1/RT_*)}{q(P_n/R)^{1,8} k_0 E_1 M_1}$ — масштаб времени, с;

$y = \psi/\psi_n$ — безразмерная пространственная координата;

$\psi_n = \sqrt{\frac{\lambda_n \rho_n T_*^{3,3} \exp(E_1/RT_*)}{q(P_n/R)^{1,8} k_0 E_1 M_1}}$ — масштаб лагранжевой координаты, м;

индекс “ n ” присписывается параметрам в начальный момент времени;

q — тепловой эффект реакции, Дж/м³;

J_α — безразмерная плотность диффузионного потока;

$$\beta = \frac{RT_*}{E_1}; \gamma_1 = \frac{c_{pn} RT_*^2}{qE_1}; \gamma_2 = \frac{25M_2}{2M_1} \gamma_1; \gamma_3 = \frac{8M_3}{M_1} \gamma_1;$$

$\gamma_4 = \frac{9M_4}{M_1} \gamma_1$ — безразмерные параметры для реакции окисления изооктана;

$$\beta = \frac{RT_*}{E_2}; \gamma = \frac{c_{pn} RT_*^2}{qE_2}; \gamma_1 = \gamma; \gamma_2 = \frac{M_2}{2M_1} \gamma$$

— безразмерные параметры для реакции окисления оксида углерода;

$c_p = c'_p/c_{pn}$ — безразмерная теплоемкость газовой смеси;

$c'_p = \sum_{\alpha=1}^5 c'_{p\alpha} c_\alpha$, c_{pn} — удельная теплоемкость газовой смеси и начальная теплоемкость, Дж/(кг·К);

$\theta = \frac{(T - T_*)E}{RT_*^2}$ — безразмерная температура газа,

для изооктана $E = E_1$, для оксида углерода $E = E_2$;

T_* — характерная температура, равная температуре пластины 2000 К;

c_α — массовая концентрация α -компоненты;

$c'_{p\alpha}$, M_α — удельная теплоемкость, Дж/(кг(К)), и молекулярная масса, кг/моль, α -компоненты;

$\bar{M} = \frac{MT_n}{M_n T_*}$, $M = 1 / \sum_{\alpha=1}^5 \frac{c_\alpha}{M_\alpha}$ — молекулярная

масса горючей смеси, кг/моль;

$M_n = M|_{\tau=0}$ — молекулярная масса горючей смеси в начальный момент времени;

$\rho = \rho'/\rho_n$, $\lambda = \lambda'/\lambda_n$ — безразмерная плотность и коэффициент теплопроводности горючей газовой смеси;

$L_n = \frac{c_{pH} \rho_n D_{12}}{\lambda_n}$ — число Льюиса – Семенова;

D_{12} — характерный коэффициент бинарной диффузии (между CO и O₂);

$D_{\alpha i} = D'_{\alpha i} / D_{12}$ — безразмерный коэффициент бинарной диффузии;

$D'_{\alpha i}$ — коэффициенты бинарной диффузии для молекул сортов α и i , м²/с;

$\sigma_{\alpha i} = \frac{\sigma_\alpha + \sigma_i}{2}$; $\varepsilon_{\alpha i} = \sqrt{\varepsilon_\alpha \varepsilon_i}$; σ_α и ε_α — постоянные для потенциала взаимодействия Леннарда – Джонса, м, Дж;

$T_{\alpha i}^* = \frac{kT}{\varepsilon_{\alpha i}}$ — приведенная температура;

$\Omega_{\alpha i}^{(1,1)*}$, $\Omega_{\alpha i}^{(2,2)*}$ — безразмерные интегралы столкновения для молекул сортов αi и α , характеризующие степень отличия модели взаимодействия Леннарда – Джонса от модели взаимодействия по закону твердых сфер;

k — постоянная Больцмана, Дж/К;

λ'_α — коэффициент теплопроводности α -компонента с учетом внутренних степеней свободы, Дж/(м·с·К);

$\lambda'_{\alpha 0}$ — теплопроводность “чистого” газа с невозбужденными внутренними степенями свободы, Дж/(м·с·К);

$D_\alpha = D'_\alpha / D_{12}$, D'_α — безразмерный и размерный эффективный коэффициент диффузии α -компонента соответственно, м²/с.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Мержанов, А. Г.** Установление стационарного распространения пламени при зажигании газа накаливаемой поверхностью / А. Г. Мержанов, Б. И. Хайкин, К. Г. Шкадинский // ПМТФ. — 1969. — № 5. — С. 42–48.
2. **Шкадинский, К. Г.** Закономерности зажигания газов накаливаемой поверхностью с учетом диффузии и гидродинамики / К. Г. Шкадинский, В. В. Барзыкин // ФГВ. — 1968. — Т. 4, № 2. — С. 176–181.
3. **Гришин, А. М.** Влияние инертных газов на нормальную скорость горения газовых смесей / А. М. Гришин, Е. Е. Зеленский // Математическое моделирование аэротермохимических явлений. — М.: ВЦ АН СССР, 1974. — С. 88–101.
4. **Жаврин, Ю. И.** Диффузионная стабильность и концентрационная неустойчивость трехкомпонентных изотермических газовых систем / Ю. И. Жаврин, В. Н. Косов // Тез. докл. X Всес. конф. по динамике разреженных газов, 27–30 июня 1989 г. — М., 1989. — С. 69.
5. **Жаврин, Ю. И.** Границы устойчивой диффузии в трехкомпонентных газовых смесях / Ю. И. Жаврин, В. Н. Косов // Инженерно-физический журнал. — 1991. — Т. 60, № 3. — С. 419–425.
6. **Косов, Н. Д.** Применение теневых методов для визуализации конвективных течений, образующихся при диффузии в многокомпонентных газовых смесях / Н. Д. Косов, А. Г. Бычков, Ю. И. Жаврин [и др.] // Тез. докл. II Международной конференции “Оптические методы исследования потоков”, 1–3 июня 1993 г. — Новосибирск, 1993. — С. 79–80.
7. **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.
8. **Щетинков, Е. С.** Физика горения газов / Е. С. Щетинков. — М.: Наука, 1965. — 739 с.
9. **Гиршфельдер, Дж.** Молекулярная теория газов и жидкостей / Дж. Гиршфельдер, Ч. Кертис, Р. Берд. — М.: Изд-во ин. литер., 1961. — 929 с.
10. **Алексеев, Б. В.** Курс лекций по аэротермохимии / Б. В. Алексеев, А. М. Гришин. — Томск: Изд-во ТГУ, 1979. — 330 с.

11. **Гришин, А. М.** Выход на режим нормального горения в многокомпонентной горючей смеси / А. М. Гришин, А. Н. Субботин // ФГВ. — 1974. — № 6. — С. 826–835.
12. Краткий справочник физико-химических величин / Под ред. К. П. Мищенко и А. А. Равделя. — Л.: Химия, 1967. — 182 с.
13. **Тирский, Г. А.** Определение эффективных коэффициентов диффузии в ламинарном многокомпонентном пограничном слое / Г. А. Тирский // ДАН СССР. — 1964. — Т. 155. — С. 1278–1281.
14. Нестационарное распространение пламени / Под ред. Дж. Г. Маркштейна. — М.: Мир, 1968. — 437 с.
15. **Тирский, Г. А.** Вычисление эффективных коэффициентов диффузии в ламинарном диссоциированном многокомпонентном пограничном слое / Г. А. Тирский // ПМТФ. — 1969. — Т. 33, Вып. 1. — С. 180–192.

Поступила в редакцию 11.04.08.

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

Е-mail: firepress@gmail.com, info@firepress.ru
Тел./факс: (495) 228-0903

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ В СФЕРЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ



Д-р физ.-мат. наук, профессор,
декан ТЭФ, Томский политехнический
университет
Г. В. Кузнецов



Канд. физ.-мат. наук, младший научный
сотрудник, ОСП НИИ прикладной матема-
тики и механики Томского государствен-
ного университета
Н. В. Барановский

УДК 614.841:533.6

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАЖИГАНИЯ ДЕРЕВА ХВОЙНОЙ ПОРОДЫ НАЗЕМНЫМ ГРОВОЗНЫМ РАЗРЯДОМ

Представлены результаты численного моделирования разогрева дерева хвойной породы (сосны) наземным грозовым разрядом. Задача решена в одномерной постановке в цилиндрической системе координат. Проведено параметрическое исследование влияния вольт-амперных характеристик, типичных для отрицательных и положительных наземных грозовых разрядов, на процесс разогрева древесины ствола. Установлены условия воспламенения ствола дерева в типичном диапазоне изменения параметров воздействия разряда.

Введение

В настоящее время возникновение лесных пожаров обусловлено главным образом антропогенными причинами [1]. Но в малообжитых [2] и высокогорных [3] регионах большое значение имеет возникновение пожаров в лесных массивах при прохождении грозы в результате действия наземного грозового разряда [4]. Известны различные варианты детерминированно-вероятностного критерия прогноза лесной пожарной опасности [5, 6], который включает подсистему оценки вероятности возникновения лесных пожаров от гроз. Но существующие критерии не учитывают физический механизм зажигания дерева в результате действия наземного грозового разряда. Основными характеристиками наземных грозовых разрядов являются полярность, пиковый ток удара и напряжение, а также продолжительность действия [7]. Зажигание дерева электрическим грозовым разрядом характеризуется высокой энергетикой. Поэтому целесообразна разработка методики прогноза лесопожарных возгораний на базе математической постановки задачи о зажигании дерева наземным грозовым разрядом. Математическое моделирование такого сложного процесса позволит избежать затратных экспериментальных исследований.

До настоящего времени не опубликовано результатов моделирования процессов зажигания древесины ствола вследствие наземного грозового разряда. Также отсутствуют экспериментальные данные о зависимости параметров этого процесса от условий воздействия.

Цель исследования — математическое моделирование процесса зажигания хвойного дерева наземным грозовым разрядом.

Физико-математическая постановка

Процессы протекания тока имеют свои особенности в случае удара молнии в ствол дерева хвойной породы (относится к голосеменным), например сосны. В структуре древесины покрытосеменных заметную роль играют сосуды, по которым движется влага [8]. Внутренняя часть ствола, пронизанная такими транспортными каналами, является хорошим проводником электрического тока. Одним из отличий строения древесины хвойных пород является отсутствие сосудов [8]. Поэтому центральная часть ствола смолистого хвойного дерева имеет значительно большее сопротивление, чем кора и подкорковый слой (рис. 1). Вследствие этого в сосне электрический ток разряда молнии проходит преимущественно по наружным слоям, насыщенным влагой [8].

Рассматривается следующая физическая модель. На поверхности земли произрастает отдельно

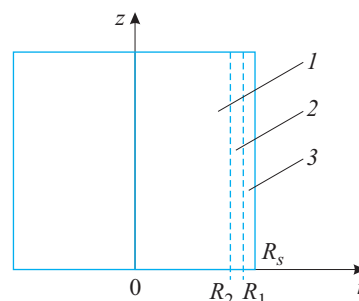


Рис. 1. Схема области решения: 1 — сердцевина; 2 — подкорковая зона; 3 — кора ствола дерева; R_s — внешний радиус ствола; R_1 — граница раздела подкорковой зоны и коры; R_2 — граница раздела сердцевины и подкорковой зоны

стоящее дерево хвойной породы. В ствол дерева ударяет наземный грозовой разряд определенной полярности. Электрический ток наземного грозового разряда протекает по стволу. Предполагается, что в различных сечениях ствола параметры тока одинаковы и он протекает в подкорковой зоне хвойного дерева. В результате происходит разогрев древесины за счет джоулева тепла, и при достижении определенных тепловых потоков из подкорковой зоны ствола и критической температуры происходит зажигание дерева. Влиянием влажности древесины на процесс зажигания пренебрегают. Последнее допущение достаточно обосновано для кратковременных дождей с грозами, а также для начального периода дождя, когда грозовая активность обычно максимальна.

Задача решается для цилиндра, который моделирует ствол дерева. Рассматривается определенное сечение ствола. Схема области решения представлена на рис. 1.

Математически процесс разогрева дерева наземным грозовым разрядом перед зажиганием описывается системой нестационарных дифференциальных уравнений теплопроводности:

$$\rho_1 c_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} = \frac{\lambda_1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T_1}{\partial r} \right); \quad (1)$$

$$\rho_2 c_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} = \frac{\lambda_2}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T_2}{\partial r} \right) + JU; \quad (2)$$

$$\rho_3 c_3 \frac{\partial T_3}{\partial t} = \frac{\lambda_3}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T_3}{\partial r} \right). \quad (3)$$

Граничные условия для уравнений (1) – (3):

$$r = 0, \quad \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial r} = 0; \quad (4)$$

$$r = R_2, \quad \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial r} = \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial r}, \quad T_1 = T_2; \quad (5)$$

$$r = R_1, \quad \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial r} = \lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial r}, \quad T_2 = T_3; \quad (6)$$

$$r = R_s, \quad \lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial r} = \alpha(T_e - T_3). \quad (7)$$

Начальные условия для уравнений (1) – (3):

$$t = 0, \quad T_i(r) = T_{i0}(r), \quad i = 1, 2, 3, \quad (8)$$

где T_i , ρ_i , c_i , λ_i — температура, плотность, теплоемкость и теплопроводность соответственно сердцевина ($i = 1$), подкорковой зоны ($i = 2$), коры ($i = 3$) ствола;

α — коэффициент теплоотдачи;

J — сила тока наземного грозового разряда;

U — напряжение наземного грозового разряда;

r — координата;

t — время;

индексы “e” и “0” соответствуют параметрам внешней среды и древесины в начальный момент времени соответственно.

Исходные данные (древесина сосны, сердцевина) [9]: $\rho = 500 \text{ кг/м}^3$; $c = 1670 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}$; $\lambda = 0,12 \text{ Вт/(м}\cdot\text{K)}$. Параметры подкоркового слоя: $\rho = 500 \text{ кг/м}^3$; $c = 2600 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}$; $\lambda = 0,35 \text{ Вт/(м}\cdot\text{K)}$. Теплофизические характеристики коры: $\rho = 500 \text{ кг/м}^3$; $c = 1670 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}$; $\lambda = 0,12 \text{ Вт/(м}\cdot\text{K)}$. Геометрические характеристики области решения: $R_s = 0,25 \text{ м}$; $R_1 = 0,245 \text{ м}$; $R_2 = 0,235 \text{ м}$. Параметры внешней среды: $T_e = 300 \text{ K}$; $\alpha = 80 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{K)}$.

Результаты численного моделирования и обсуждение

Сформулированная математическая модель (1) – (3) с краевыми и начальными условиями (4) – (8) решена методом конечных разностей [10]. Для решения разностных аналогов одномерных дифференциальных уравнений использовался метод прогонки [10].

Известны достаточно обширные сведения по параметрам наземных грозовых разрядов. Средний пиковый ток удара [11]: $J = 23,5 \text{ кА}$ для отрицательного разряда и $J = 35,3 \text{ кА}$ — для положительного. Около 16,5% положительных разрядов имеет ток менее 10 кА [12].

Проведено параметрическое исследование влияния характеристик наземного грозового разряда на процесс разогрева древесины ствола в течение грозового импульса. Необходимо отметить, что до настоящего времени не опубликовано экспериментальных данных о кинетике процесса зажигания больших массивов древесины. Очевидно, это обусловлено трудностями реального экспериментального изучения данного процесса. Но известен подход [9], в котором условия зажигания древесины хвойной породы (сосны) описываются двумя параметрами (тепловым потоком и температурой поверхности зажигания). Фактически в работе [9] моделируется процесс газофазного зажигания конденсированного вещества в условиях высоких тепловых потоков и относительно малых времен воздействия источника нагрева при избытке окислителя. Экспериментальные данные [9] по критической температуре и тепловому потоку к поверхности коры использованы в настоящей работе в качестве критериев зажигания.

При проведении численных исследований принималось, что на сосну действует отрицательный

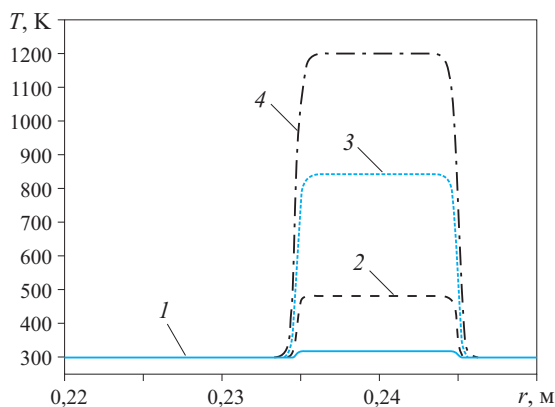


Рис. 2. Распределение температуры по радиусу ствола дерева в различные моменты времени (продолжительность действия разряда — 500 мс): 1 — $t = 0,01$ с; 2 — $0,1$ с; 3 — $0,3$ с; 4 — $0,5$ с

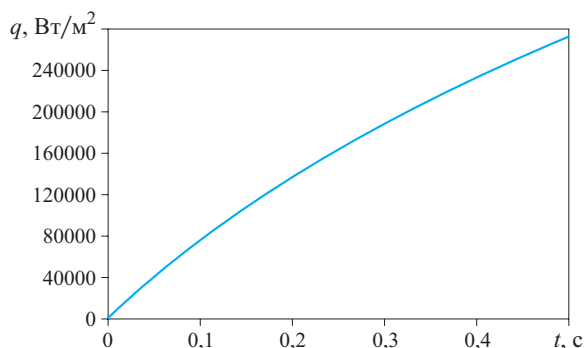


Рис. 3. Тепловой поток к поверхности зажигания ствола дерева из подкорковой зоны в различные моменты времени

грозового разряд длительностью 500 мс с пиковым током удара 23,5 кА и напряжением 100 кВ. Это типичные параметры разряда [11, 12]. На рис. 2 представлено распределение температуры по радиусу ствола дерева в различные моменты времени до и в момент его зажигания электрическим током.

На рис. 3 показана зависимость теплового потока из подкорковой зоны к поверхности зажигания ствола дерева от времени, на рис. 4 — температура этой границы в различные моменты времени. Условия зажигания древесины ствола определялись по экспериментальным данным [9] (табл. 1).

В табл. 2 приведены результаты численных расчетов условий зажигания (в зависимости от напряжения наземного грозового разряда при длительности импульса 500 мс).

В табл. 3 показаны условия зажигания в зависимости от силы тока наземного грозового разряда при $U = 100$ кВ.

Анализ данных, представленных на рис. 2, показывает, что в результате действия рассматриваемого наземного грозового разряда ствол дерева в

Таблица 1. Экспериментальные данные по условиям зажигания древесины сосны [9]

Время задержки зажигания, с	Тепловой поток, кВт/м ²	Температура поверхности, К
63,5	12,5	658
45,0	21	700
11,1	42	726
2,6	84	773
0,4	210	867

Таблица 2. Условия зажигания дерева в зависимости от напряжения разряда при $J = 23,5$ кА

Напряжение U , кВ	Выполнение условий [9]	Температура поверхности, К	Тепловой поток изнутри ствола к поверхности, кВт/м ²
1–85	За время действия наземного грозового разряда условия зажигания не достигаются	< 867	< 210
90			242
95			246
100	Условия зажигания выполняются	867	249
105			252
110			255

Таблица 3. Условия зажигания ствола дерева в зависимости от силы тока при $U = 100$ кВ

Сила тока J , кА	Выполнение условий [9]	Температура поверхности, К	Тепловой поток изнутри ствола к поверхности, кВт/м ²
1–20	За время действия наземного грозового разряда условия зажигания не достигаются	< 867	< 210
23,5			249
30	Условия зажигания выполняются	867	264
35			274

подкорковой зоне разогревается до температур, при которых природные горючие материалы горят (более 1200 К). Результаты позволяют сделать вывод, что ствол дерева воспламеняется и, по крайней мере, обугливается. Кроме того, при таких температурах происходит абляция материала древесины с образованием борозд на внешней стороне ствола. Это заключение соответствует данным наблюдений за грозами [13], где указано, что в результате наземного грозового разряда дерево обугливалось.

Анализ зависимостей величины теплового потока и температуры границы подкорковой зоны

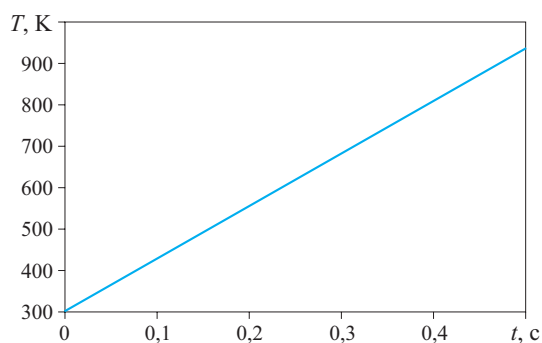


Рис. 4. Температура границы подкорковой зоны ствола хвойного дерева в различные моменты времени

(см. рис. 3 и 4) показывает, что по температуре (867 К) и тепловому потоку (249 кВт/м^2) условия зажигания для рассматриваемого разряда достигаются при достаточно типичных параметрах грозового разряда. Полученные результаты также демонстрируют, что оценка условий возникновения лесных пожаров в результате грозовых разрядов может быть проведена при использовании достаточно простой математической модели (1)–(8). Эта модель может быть легко реализована в составе систем прогноза лесной пожарной опасности [14, 15]. Исходными данными для эксплуатации такой модели служат параметры наземного грозового разряда

и характеристики древесины. Напряжение, сила тока и продолжительность конкретного разряда могут быть оценены или даже зафиксированы посредством современных систем регистрации грозовой активности [7, 11, 12]. Теплофизические характеристики любых типов древесины могут быть определены достаточно простыми способами [9] для каждого уровня влажности.

Заключение

Итогом настоящего исследования является численная реализация математической модели разогрева хвойного дерева в результате протекания по нему электрического тока удара молнии. В процессе параметрического исследования выделены условия реализации рассматриваемого явления, которые характерны для типичного диапазона изменения параметров наземного грозового разряда. Показана возможность зажигания хвойного дерева при прохождении грозы разрядом класса облако – земля. Представленная физико-математическая модель может быть включена в подсистему оценки вероятности возникновения лесопожарных происшествий [14]. Кроме того, полученные результаты дополняют теоретическую базу для дальнейшего развития моделей зажигания пожароопасных материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Pew, K. L.** GIS analysis of spatial and temporal patterns of human-caused wildfires in the temperate rain forest of Vancouver Island, Canada / *K. L. Pew, C. P. S. Larsen* // *Forest Ecology and Management*. — 2001. — Vol. 140, № 1. — P. 1–18.
2. **Иванов, В. А.** Методологические основы классификации лесов Средней Сибири по степени пожарной опасности от гроз: дис. ... д-ра с.-х. наук. / *В. А. Иванов*. — Красноярск: СибГТУ, 2006. — 350 с.
3. **Conedera, M.** Lightning-induced fires in the Alpine region: An increasing problem / *M. Conedera, G. Cesti, G. B. Pezzatti* [et al.] // *Forest Ecology and Management*. — 2006. — Vol. 234, Supplement 1. — P. S68.
4. **Latham, D.** Lightning and forest fires / *D. Latham, E. Williams* // *Forest fires: Behavior and Ecological Effects*. — Netherlands, Amsterdam: Elsevier, 2001. — P. 375–418.
5. **Барановский, Н. В.** Математическое моделирование наиболее вероятных сценариев и условий возникновения лесных пожаров: дис. ... канд. физ.-мат. наук / *Н. В. Барановский*. — Томск: Томский государственный университет, 2007. — 153 с.
6. **Барановский, Н. В.** Влияние антропогенной нагрузки и грозовой активности на вероятность возникновения лесных пожаров / *Н. В. Барановский* // *Сибирский экологический журнал*. — 2004. — № 6. — С. 835–842.
7. **Burke, C. P.** On the polarity and continuing current in unusually large lightning flashes deduced from ELF events / *C. P. Burke, D. L. Jones* // *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*. — 1996. — Vol. 58. — P. 531–548.
8. **Эзау, К.** Анатомия семенных растений. Кн. 1 / *К. Эзау*. — М.: Мир, 1980. — 218 с.
9. **Заболотный, А. Е.** Определение зон безопасного применения твердотопливных генераторов пожаротушающих аэрозолей / *А. Е. Заболотный, М. М. Заболотная, Ю. А. Заболотная* [и др.] // *Вопросы специального машиностроения*. — 1995. — Вып. 7–8. — С. 15–21.
10. **Самарский, А. А.** Теория разностных схем / *А. А. Самарский*. — М.: Наука, 1983. — С. 33–36.

11. **Soriano, L. R.** Ten-year study of cloud-to-ground lightning activity in the Iberian Peninsula / *L. R. Soriano, F. de Pablo, C. Tomas* // *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*. — 2005. Vol. 67, № 16. — P. 1632–1639.
12. **Cummins, K. L.** A combined TOA/MDF technology upgrade of the U.S. national lightning detection network / *K. L. Cummins, M. J. Murphy, E. A. Bardo* [et al.] // *Journal of Geophysical Research*. — 1998. — Vol. 103. — P. 9035–9044.
13. **Plummer, F. G.** Lightning in Relation to Forest Fires / *F. G. Plummer* // *Bulletin 111. USDA Forest Service*. — Washington, DC: Government Printing Office, 1992.
14. **Кузнецов, Г. В.** Детерминированно-вероятностный прогноз лесопожарных возгораний / *Г. В. Кузнецов, Н. В. Барановский* // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2006. — Т. 15, № 5. — С. 56–59.
15. **Барановский, Н. В.** Информационно-прогностическая система определения вероятности возникновения лесных пожаров / *Н. В. Барановский, А. М. Гришин, Т. П. Лоскутникова* // *Вычислительные технологии*. — 2003. — № 2. — С. 16–26.

Поступила в редакцию 15.04.08.



представляем новую книгу

«ПОЖНАУКА»

ИЗДАТЕЛЬСТВО

А. 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. хим. наук, начальник организационно-научного и редакционно-издательского отдела Уральского института ГПС МЧС РФ

С. Г. Алексеев



Д-р техн. наук, старший научный сотрудник, заведующий кафедрой физики и теплообмена Уральского института ГПС МЧС РФ

Н. М. Барбин



Начальник сектора ГУ "Судебно-экспертное учреждение федеральной противопожарной службы "Испытательная пожарная 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 кафедры органической химии Уральского государственного технического университета (УГТУ-УПИ)

Е. Н. Уломский

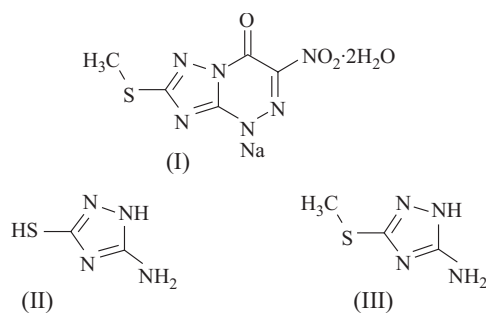
УДК 618.841

ПОКАЗАТЕЛИ ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТИ ПРОТИВОВИРУСНОГО ПРЕПАРАТА ТРИАЗАВИРИНА И ПОЛУПРОДУКТОВ ЕГО СИНТЕЗА

Эмпирическими, полуэмпирическими и экспериментальными методами определен ряд показателей пожаровзрывоопасности лекарственного препарата триазавирина (дигидрат натриевой соли 2-метилтио-6-нитро-1,2,4-триазоло[5,1-с]-1,2,4-триазин-7(4H)-она) и двух полупродуктов его синтеза – 5-амино-3-меркапто-1,2,4-триазола и 5-амино-3-метилтио-1,2,4-триазола.

В Уральском государственном техническом университете (УГТУ-УПИ) создан противовирусный препарат широкого спектра действия триазавирин (I). В ходе проведенных испытаний установлено, что он эффективен для лечения гриппа, парагриппа, клещевого энцефалита, птичьего гриппа (штамм H5N1). Принцип его действия основан на том, что он является антиметаболитом, встраивающимся в вирусную нуклеиновую кислоту и тем самым препятствующим размножению вируса [1]. Учитывая, что испытания препарата триазавирина (I) вступают в завершающую стадию, на повестку дня ставятся вопросы, связанные с разработкой технологического регламента по его производству. Согласно ст. 21 ФЗ от 21.12.1994 г. № 69-ФЗ "О пожарной безопасности" в своей технической документации изготовители должны указывать показатели пожарной опасности веществ и материалов.

Авторами проведена работа по определению показателей пожаровзрывоопасности триазавирина (I) и полупродуктов его синтеза (II) и (III). При этом были использованы эмпирические, полуэмпирические и экспериментальные методы определения этих показателей.



Триазавирин (I) по химической номенклатуре IUPAC называется дигидратом натриевой соли

Таблица 1. Физико-химические свойства соединений (I)–(III)

Соединение	Брутто-формула (молекулярная масса, кг/кмоль)	$T_{пл}$, °C	Элементный состав, %							Спектральные данные	
			C	H	N	Na	O	S	W	ИК (КВт), см ⁻¹	ПМП (DMSO-d ₆), м.д.
(I)	C ₅ H ₃ N ₆ NaO ₃ S·2H ₂ O (286,2)	130 (300–305)	20,98	1,06	29,36	8,03	16,77	11,20	12,59	1675, 1519, 1302	2,52 (3H, с, SCH ₃)
(II)	C ₂ H ₄ N ₄ S (116,14)	305	20,68	3,47	48,24	–	–	27,61	–	3533, 3427 (NH), 2929, 2850 (CH), 1273 (SCH ₃)	2,51 (3H, с, SCH ₃), 6,02 (2H, уш. с, NH ₂), 11,89 (1H, уш. с, NH)
(III)	C ₃ H ₆ N ₄ S (130,17)	130	27,68	4,65	43,04	–	–	24,63	–	3380–2621 (NH, SH), 1641 (C=S), 1140 (C–N)	5,62 (2H, уш. с, NH ₂), 9,20–12,80 (2H, уш. с, NH, SH)

Примечания. 1. Внешний вид соединений (I)–(III) — порошок желтого цвета.
2. В отличие от триазолов (II) и (III) триазавирин (I) хорошо растворим в воде.

Таблица 2. Показатели пожаровзрывоопасности соединений (I)–(III)

Соединение	Q_n , кДж/кг	НКПВ, г/м ³		$P_{взр}$, кПа	dP/dt , МПа/с	E_{min} , МДж	Температура, °C			Способность гореть и взрываться под воздействием воды и кислорода воздуха
		Метод					воспла-менения	самовос-пламенения	тления	
		A	Б*							
(I)	7288,7	110	90/224	528	39,6	~10–13	261	429	Отсут.	Отсут.
(II)	13603,4	59	48/121	560	42,0		253	431	Отсут.	Отсут.
(III)	16867,6	47	41/101	554	41,6		301	333	Отсут.	Отсут.

* В числителе — значение для частиц вещества размером 40–50 мкм, в знаменателе — размером ≤ 10 мкм.

2-метилтио-6-нитро-1,2,4-триазоло[5,1-с]-1,2,4-триазин-7(4H)-она. В процессе нагревания соединения (I) при 130°C происходит дегидратация (потеря химически связанной воды), а при 300–305°C наблюдается процесс плавления. Триазавирин (I) получают в результате многостадийного синтеза через 5-амино-3-меркапто-1,2,4-триазола (II) и 5-амино-3-метилтио-1,2,4-триазол (III). Основные физико-химические свойства соединений (I)–(III) представлены в табл. 1.

Расчет нижней теплоты сгорания Q_n для соединений (I)–(III) осуществлен по формуле Менделеева [2] (результаты расчета приведены в табл. 2.):

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

где [C], [H], [O], [S], W — процентное содержание углерода, водорода, кислорода, серы и влаги соответственно.

Нижний концентрационный предел распространения пламени или нижний концентрационный предел воспламенения пылей (далее НКПВ) связан эмпирической зависимостью (2) с нижней теплотой сгорания пылевидного вещества или ма-

териала [3]. Результаты расчета по уравнению (2) сгруппированы в табл. 2 и обозначены как метод А:

$$НКПВ = \frac{800000}{Q_n}, \text{ г/м}^3. \quad (2)$$

НКПВ пылевидных материалов имеет линейную зависимость от молекулярной массы вещества и его НКПВ в парообразном состоянии. Эта зависимость описывается уравнениями (3) и (4). Для крупнодисперсного аэрозоля химических соединений (размер частиц 40–50 мкм) используется формула (3), для мелкодисперсного аэрозоля (размер частиц менее 10 мкм) — формула (4) [4]:

$$НКПВ = 0,164M\varphi_n, \text{ г/м}^3; \quad (3)$$

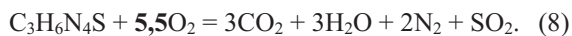
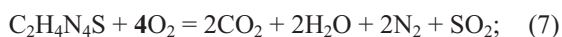
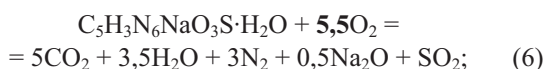
$$НКПВ = 0,41M\varphi_n, \text{ г/м}^3, \quad (4)$$

где M — молекулярная масса вещества (см. табл. 1), кг/кмоль;

φ_n — НКПВ вещества в парообразной фазе, %.

НКПВ веществ (I)–(III) в парообразной фазе рассчитаны по уравнению (5) [5], коэффициенты β найдены из полных уравнений горения соединений в кислороде (6)–(8):

$$\varphi_n = 100/(a\beta + b); \quad (5)$$



Из табл. 2 видно, что расчеты по уравнениям (2) и (3) дают примерно одинаковые результаты, отличие в расчетных показателях НКПВ веществ (I)–(III) составляет 13–19%. Использование формулы (4) дает высокие значения НКПВ, что объясняется тем, что мелкодисперсный аэрозоль по своим физико-химическим свойствам максимально приближается к таковым для парообразного состояния твердых веществ [4].

Максимальное давление аэровзвеси соединений (I)–(III) определено по формулам (9) и (10), исходные коэффициенты C_i рассчитаны по уравнениям (11)–(17) [3]:

$$P_{\max} = 0,7P_{\max}^0; \quad (9)$$

$$P_{\max}^0 = 0,34C_7C_1 - 1013, \quad (10)$$

где P_{\max}^0 — максимальное давление взрыва аэровзвеси вещества, рассчитанное в предположении адиабатичности процесса, кПа;

$$C_7 = 2000 + 24,4C_2(C_6 - C_5)/(C_1 \cdot C_3) - C_4/C_3; \quad (11)$$

$$C_1 = 1 + (n_O + n_N + 1/2n_H)/9,6\beta; \quad (12)$$

$$C_2 = n_C + 1/2n_H + 1/2n_N + 3,8\beta; \quad (13)$$

$$C_3 = 53n_C + 23n_H + 14n_N + 110\beta; \quad (14)$$

$$C_4 = (0,83n_C + 0,33n_H + 0,24n_N + 1,86\beta) \cdot 10^5; \quad (15)$$

$$C_5 = 8,5(7,6n_C + 19,2n_H - 4,3n_O - 4,3n_N)/\beta + 255; \quad (16)$$

$$C_6 = (8,5 \cdot 10^{-3} \cdot Q_u M)/\beta, \quad (17)$$

где n_i — количество i атомов в молекуле.

Для нахождения максимальной скорости нарастания давления при взрыве аэровзвеси триазавирина (I) и триазолов (II) и (III) применялась формула (18) при допущении, что максимальная скорость распространения пламени по аэровзвеси органических веществ (I)–(III) равна 30 м/с [3]. Результаты вычислений представлены в табл. 2:

$$\frac{dP}{dt} = P_{\max} \frac{S_u}{L}, \quad (18)$$

где S_u — максимальная скорость распространения пламени по аэровзвеси, м/с;

L — размер взрывного сосуда, м, при стандартных испытаниях $L = 0,4$ м.

Ориентировочно минимальную энергию зажигания аэрозолей органических веществ E_{\min} можно оценить по формуле [6]:

$$E_{\min} = (10 \cdot d)/38. \quad (19)$$

Если принять, что средний диаметр частиц пыли d составляет 40–50 мкм, то значение E_{\min} будет лежать в пределах 10–13 МДж.

Для триазавирина (I) и триазолов (II) и (III) по стандартным методикам ГОСТ 12.1.044–89* “Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения” на аттестованном оборудовании проведены эксперименты по определению их температур воспламенения, самовоспламенения и тления, а также способности гореть и взрываться под воздействием воды и кислорода воздуха. Полученные данные для соединений (I)–(III) представлены в табл. 2.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. № 2294936 РФ. Натриевая соль 2-метилтио-6-нитро-1,2,4-триазоло[5,1-с]-1,2,4-триазин-7(4Н)-она, дигидрат, обладающая противовирусной активностью / О. Н. Чупахин, В. Л. Русинов, Е. Н. Уломский [и др.].
2. Демидов, П. Г. Горение и свойства горючих веществ / П. Г. Демидов, В. А. Шандыба, П. П. Щеглов. — М.: Химия, 1981.
3. Шебеко, Ю. Н. Расчет основных показателей пожаровзрывоопасности веществ и материалов: Руководство / Ю. Н. Шебеко, В. Ю. Навценя, С. Н. Копылов [и др.] — М.: ВНИИПО, 2002.
4. Монахов, В. Т. Методы исследования пожарной опасности веществ / В. Т. Монахов. — М.: Химия, 1979.
5. 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.]. — Кн. 1. — М.: Химия, 1990.
6. Корольченко, А. Я. Пожаровзрывоопасность промышленной пыли / А. Я. Корольченко. — М.: Химия, 1986.

Поступила в редакцию 04.05.08.



Д-р техн. наук, профессор, академик МАНЭБ, заведующий кафедрой Московского государственного строительного университета

А. Я. Корольченко



Канд. техн. наук, заместитель генерального директора ЗАО “Тепло-огнезащита”

А. Н. Гаращенко



Канд. техн. наук, доцент Московского государственного строительного университета

Н. А. Гаращенко



Канд. техн. наук, старший научный сотрудник НИИ прикладной математики и механики при Томском университете

В. П. Рудзинский

УДК 614.841.332:620.197.6

РАСЧЕТЫ ТОЛЩИН ОГНЕЗАЩИТЫ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ТРЕБУЕМЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ДЕРЕВОКЛЕЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Обоснована целесообразность использования методик и компьютерных программ серии “ОГНЕЗАЩИТА” для теплотехнических расчетов показателей пожарной опасности деревянных клееных конструкций (ДКК) с современными средствами огнезащиты. Приведены результаты экспериментальных и теоретических исследований, свидетельствующих, что наиболее перспективными для защиты ДКК являются вспучивающиеся лаки типа ФЕНИКС ДП. Представлены результаты определения характеристик, необходимых для проведения расчетов, и данные экспериментальной проверки методики расчетов температурных полей в ДКК со вспучивающейся огнезащитой. Результаты расчетов свидетельствуют о возможности применения методики для определения толщин огнезащиты, обеспечивающих требуемые пределы огнестойкости и класс пожарной опасности ДКК.

Применение деревянных клееных конструкций (ДКК) крайне желательно при строительстве многих уникальных объектов, поскольку они обладают рядом преимуществ по сравнению с конструкциями из железобетона и стали. Расширению области и увеличению объема использования конструкций из древесины в определенной степени препятствует недостаточный объем исследований огнестойкости и класса пожарной опасности ДКК с современными средствами огнезащиты.

ДКК, как и все строительные конструкции, должны подвергаться огневым испытаниям для определения пределов огнестойкости по ГОСТ 30247.0–94 “Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования”, ГОСТ 30247.1–94 “Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Несущие и ограждающие конструкции” и класса пожарной опасности по ГОСТ 30403–96 “Конструкции строительные. Метод определения пожарной опасности”. Но испытания для оценки пределов огнестойкости конструкций из древесины в нашей стране не проводились более 15 лет. Также не осуществлялись до последнего времени огневые испытания по

ГОСТ 30403 для оценки класса пожарной опасности ДКК с огнезащитой.

В ближайшее время по различным причинам нереально проведение огневых испытаний ДКК в требуемом объеме (сопоставимом с объемом таких испытаний за рубежом). В связи с этим возрастает актуальность разработки и последовательного уточнения методик теплотехнических расчетов, позволяющих, наряду со статическими расчетами, прогнозировать показатели пожарной опасности ДКК с современными средствами огнезащиты. Ранее теплотехнические расчеты по упрощенным методикам использовались для оценок температурных полей в ДКК и определения пределов огнестойкости [1]. Попытки расчета толщин огнезащиты, обеспечивающих требуемый класс пожарной опасности ДКК, ранее не предпринимались.

Для создания и апробирования надежных расчетных методик следует в наиболее полном объеме использовать информацию, получаемую при огневых испытаниях, проводимых пока в ограниченном количестве. Следует также привлекать информацию, которую можно получить при относительно недорогих исследованиях на лабораторных уста-

новках. При этом должное внимание необходимо уделять обоснованию выбора объектов исследований, т.е. наиболее перспективных для ДКК огнезащитных материалов. За рубежом практикуется использование для защиты конструкций из древесины вспучивающихся лаков, в частности ПРОТЕРМ ВУД.

Ранее считалось, что существенное снижение класса пожарной опасности ДКК возможно только при защите такими неестественными для них средствами огнезащиты, как плитные негорючие материалы или обмазки (штукатурки), имеющие относительно большую толщину. Недавние экспериментальные и теоретические исследования [2–4] продемонстрировали возможность и целесообразность использования для ДКК прозрачных вспучивающихся покрытий (лаков) ПРОТЕРМ ВУД и ФЕНИКС ДП. Такие покрытия наиболее приемлемы и естественны для ДКК и позволяют обеспечить эстетичный внешний вид и архитектурную привлекательность конструкций.

Выбор вспучивающихся лаков ПРОТЕРМ ВУД и ФЕНИКС ДП в качестве объекта исследований объясняется тем, что при применении этих покрытий было получено самое значительное снижение показателей пожарной опасности древесины по сравнению с другими имевшимися на рынке материалами: для покрытия ПРОТЕРМ ВУД — 1-я группа огнезащитной эффективности и показатели пожарной опасности древесины Г1, В1, Д1 при расходе 390 г/м^2 , для покрытия ФЕНИКС ДП — 1-я группа огнезащитной эффективности и показатели пожарной опасности Г1, В1, Д2 при расходе 320 г/м^2 , т.е. меньше, чем у покрытия ПРОТЕРМ ВУД [5].

Для оценки эффективности и определения характеристик данных покрытий была проведена серия испытаний на установке лучистого нагрева, реализуемого с помощью пакета трубчатых кварцево-галогенных ламп. Испытывались образцы из клееной древесины размером $200 \times 200 \times 50 \text{ мм}$ с нанесенной на них вспучивающейся огнезащитой. Данная методика применяется для исследований различных средств огнезащиты металлоконструкций. В процессе испытаний измерялась температура на поверхности образцов из древесины и по их толщине с помощью хромель-алюмелевых термопар. Фиксировалась также динамика изменения толщины вспученного слоя огнезащитных покрытий. Внешний вид вспученного слоя показан на рис. 1.

Проведено пять испытаний образцов древесины с покрытием ПРОТЕРМ ВУД, три — с покрытием ФЕНИКС ДП и четыре — без огнезащиты. Проведено также по три испытания этих покрытий,

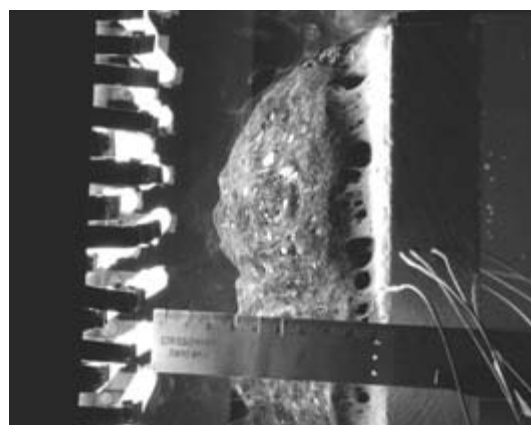


Рис. 1. Общий вид образца из древесины со вспучивающимся покрытием во время испытания на установке лучистого нагрева

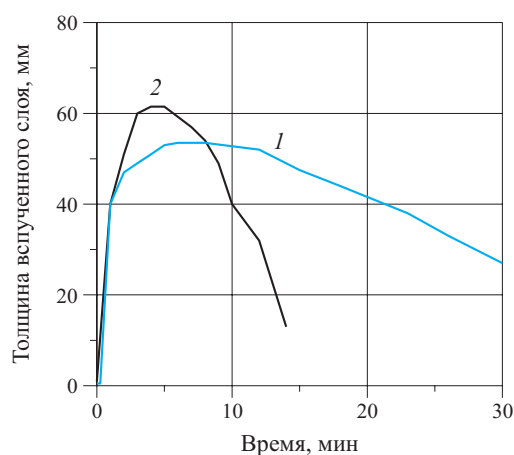


Рис. 2. Зависимости от времени толщины вспученного слоя при испытаниях образца древесины с покрытием ПРОТЕРМ ВУД толщиной $0,5 \text{ мм}$ при плотности теплового потока 55 кВт/м^2 (1) и ФЕНИКС ДП толщиной $0,95 \text{ мм}$ при плотности теплового потока 90 кВт/м^2 (2)

нанесенных на стальные пластины. Результаты термометрических измерений свидетельствуют о том, что вспучивание исследуемых покрытий начинается при уровне температур $120\text{--}140^\circ\text{C}$ (приблизительно на 100 град. меньше, чем для большинства известных вспучивающихся материалов). Температура защищаемых образцов в сопоставимых условиях при использовании покрытия ФЕНИКС ДП была несколько ниже, что свидетельствует о большей его эффективности по сравнению с ПРОТЕРМ ВУД.

В ходе визуальных наблюдений установлено, что толщина вспученного слоя приблизительно в 120 раз превышает начальную толщину исследуемых покрытий. Типичные зависимости от времени толщины вспученного слоя покрытий, полученные в процессе двух испытаний, представлены на рис. 2. В этих экспериментах после достижения максимальной толщины вспученного слоя фикси-

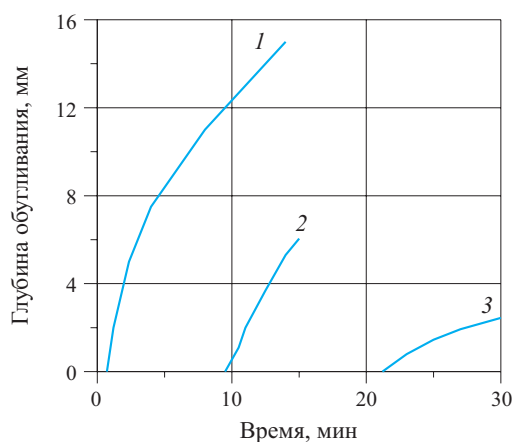


Рис. 3. Зависимости от времени глубины обугливания древесины для образца без огнезащиты (1) и с покрытием: 2 — ФЕНИКС ДП толщиной 0,95 мм при тепловом потоке 90 кВт/м²; 3 — ПРОТЕРМ ВУД толщиной 0,5 мм при тепловом потоке 55 кВт/м²

ровалось ее уменьшение (более интенсивное при большем тепловом потоке). Такое уменьшение толщины происходило в виде усадки и поверхностного уноса, который, как известно, объясняется химическим взаимодействием углерода поверхностного слоя с окисляющими компонентами окружающей газовой среды. На интенсивность поверхностного уноса существенное влияние оказывает величина теплового потока, который определяет уровень нагрева поверхностных слоев покрытия.

Результаты испытаний показали, что использование вспучивающихся покрытий существенно снижает уровень прогрева и глубину обугливания образцов древесины, а также значительно увеличивает время до начала ее обугливания. На рис. 3 представлены типичные зависимости глубины обугливания древесины (глубины прогрева до температуры 300°C) от времени теплового воздействия для образцов без огнезащиты и с исследуемыми покрытиями. Характер кривых свидетельствует о том, что скорость обугливания не является постоянной, а уменьшается в процессе нагрева. Графики наглядно показывают, насколько увеличивается время до начала обугливания при использовании покрытий и уменьшается скорость обугливания древесины. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности проведения испытаний ДКК с такой огнезащитой в огневых печах по стандартизированным методикам.

Впервые для конструкций из древесины были осуществлены огневые испытания в соответствии с ГОСТ 30403 по определению класса пожарной опасности ДКК со вспучивающимися покрытиями ПРОТЕРМ ВУД и ФЕНИКС ДП [2, 3]. Их целью было доказательство возможности обеспечения для ДКК класса пожарной опасности К0(15) или

К0(30). Они проводились в испытательной лаборатории пожарной безопасности «Пожполитест-М». Исследуемые образцы представляли собой деревоклееные панели стандартного размера. Методика и особенности этих испытаний описаны в публикациях [2, 3].

В соответствии с ГОСТ 30403 контролировался ряд параметров и предельных состояний, в том числе определялось наличие недопустимого размера повреждения образца (древесины) в контрольной зоне. Дополнительно к измерительным средствам, предусмотренным ГОСТ 30403, в различных зонах панелей были установлены термодатчики в соответствии со схемой, представленной в работе [2]. Они позволили получить дополнительную информацию по прогреву образцов и провести более объективный анализ полученных результатов. В качестве контрольного параметра рассматривалось время достижения 300°C (температура обугливания древесины) на глубине 2 мм от поверхности панели в зоне тепловой камеры на различном расстоянии от плиты перекрытия огневой камеры. Для показателя К0, согласно ГОСТ 30403, это расстояние не должно превышать 50 мм, для показателя К1 — 400 мм.

По ГОСТ 30403 были проведены два огневых испытания деревоклееных панелей с лаком ПРОТЕРМ ВУД и одно — с лаком ФЕНИКС ДП. При подготовке деревоклееных панелей для первого и второго испытаний на их поверхность наносилось покрытие ПРОТЕРМ ВУД толщиной 1,1 мм, а для третьего — ФЕНИКС ДП толщиной 0,6 мм. Толщина покрытия ФЕНИКС ДП была назначена на основании предварительных расчетов, проведенных с использованием результатов двух предшествующих огневых испытаний панелей, а также испытаний образцов на установке лучистого нагрева.

По данным огневых испытаний установлено, что исследуемая деревоклееная конструкция с покрытием ПРОТЕРМ ВУД толщиной 1,1 мм соответствует классу пожарной опасности К0(30) и К1(45), с покрытием ФЕНИКС ДП толщиной 0,6 мм — К0(30). Достижение данного показателя подтверждено сертификатом пожарной безопасности.

Были внесены изменения в методику испытаний, предусмотренную ГОСТ 30403, а также изменена конструкция печи [2, 3]. Сделанные изменения учитывают специфику испытаний конструкций со вспучивающейся огнезащитой. Они обеспечивают постоянство величины сечения проема между обогреваемой поверхностью испытываемого образца и торцом перекрытия печи за счет перемещения плиты перекрытия в процессе эксперимента. Кроме обеспечения корректности эксперимента это позволило оценивать изменение толщины вспученного слоя, поскольку перемещение плиты осуществ-

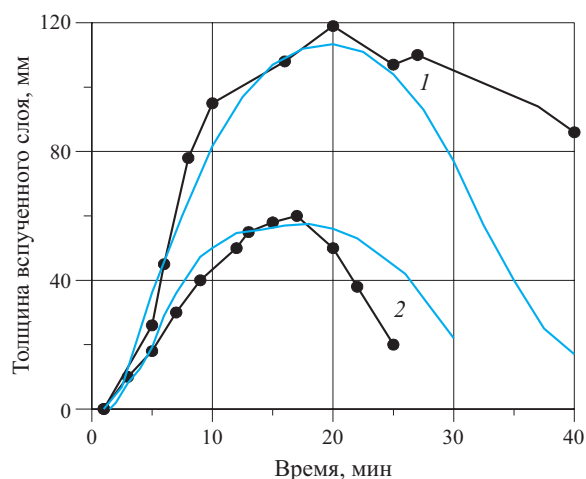


Рис. 4. Зависимости от времени толщины вспученного слоя в процессе второго испытания ДКК с покрытием ПРОТЕРМ ВУД толщиной 1,1 мм (1) и третьего испытания с покрытием ФЕНИКС ДП толщиной 0,6 мм (2); —●—●— эксперимент; — расчет

влялось по мере изменения ширины проема, перекрываемого этим слоем. На рис. 4 представлена зависимость от времени толщины вспученного слоя, построенная с использованием данных по перемещению плиты в ходе эксперимента. Следует отметить, что при испытаниях образцов с покрытиями ПРОТЕРМ ВУД и ФЕНИКС ДП на установке лучистого нагрева были получены близкие данные по динамике изменения толщины вспученного слоя (см. рис. 2).

Значительный объем полезной информации получен при термопарных измерениях в ДКК, проведенных в зонах огневой и тепловой камер печи. Эти данные способствовали объективному анализу результатов испытаний по ГОСТ 30403. Кроме того, они использовались при разработке и экспериментальной проверке методики теплотехнических расчетов ДКК со вспучивающейся огнезащитой. На рис. 5–7 представлены результаты термопарных измерений для зоны огневой камеры, полученные в ходе трех огневых испытаний.

Состояние разработки и использования на практике методик теплотехнических расчетов ДКК с огнезащитой рассмотрено в публикации [4]. В этой работе отмечены целесообразность и возможность адаптирования и применения для ДКК методик и программных комплексов серии “ОГНЕЗАЩИТА” (версии ВУ-2, ВН.1, 2Т), используемых для теплотехнических расчетов конструкций из стали и железобетона. В качестве примера адаптирования для ДКК таких методик проведено математическое моделирование температурных полей в ДКК с типичными представителями всех видов средств огнезащиты при различных их толщинах. При анализе результатов такого моделирования получены и

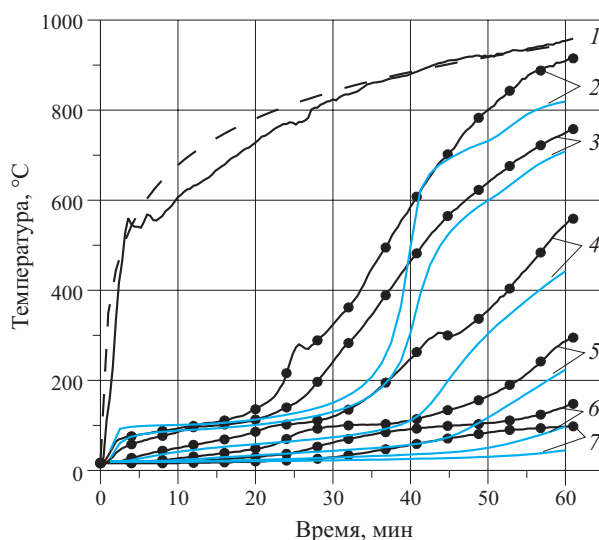


Рис. 5. Зависимости от времени температуры газовой среды (1), на границе деревоклееной панели и покрытия ПРОТЕРМ ВУД толщиной 1,1 мм (2), а также на расстоянии от поверхности панели 2 (3), 12 (4), 22 (5), 32 (6) и 42 мм (7), полученные с помощью термопар в процессе первого испытания для зоны огневой камеры; —●—●— эксперимент; — расчет; - - - стандартная температурная кривая

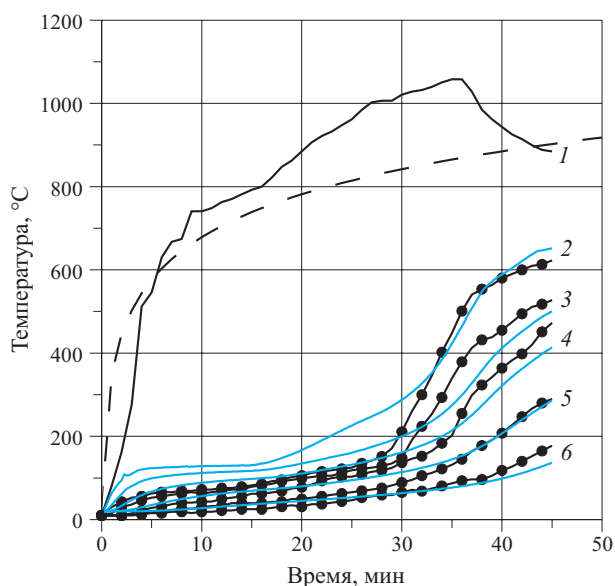


Рис. 6. Зависимости от времени температуры на границе деревоклееной панели и покрытия ПРОТЕРМ ВУД толщиной 1,1 мм (1), а также на расстоянии от поверхности панели 2 (2), 5 (3), 10 (4), 20 (5) и 30 мм (6), полученные в процессе второго испытания для зоны огневой камеры; —●—●— эксперимент; — расчет; - - - стандартная температурная кривая

представлены в работе [4] наглядные и важные для практики данные по времени до начала обугливания древесины, а также по скорости обугливания при применении многочисленных современных огнезащитных материалов. Для расчетов темпера-

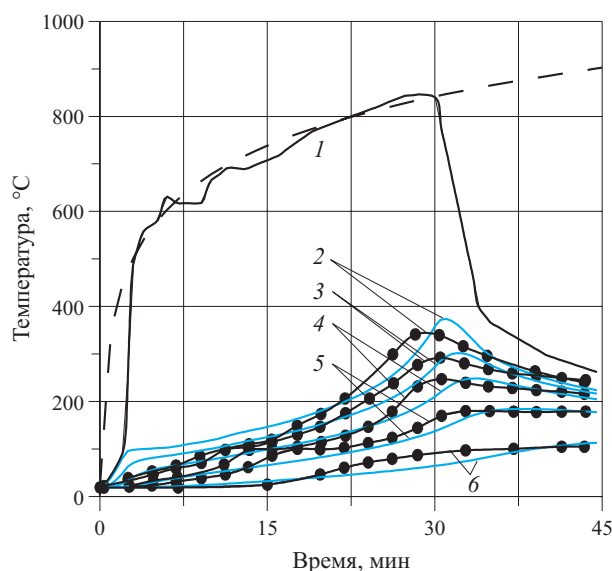


Рис. 7. Зависимости от времени температуры на границе деревоклееной панели и покрытия ФЕНИКС ДП толщиной 0,6 мм (1), а также на расстоянии от поверхности панели 2 (2), 5 (3), 10 (4), 20 (5) и 30 мм (6), полученные в процессе третьего испытания для зоны огневой камеры; —●—●— эксперимент; — расчет; - - - стандартная температурная кривая

турных полей в ДКК со вспучивающейся огнезащитой использован программный комплекс “ОГНЕЗАЩИТА. Версия ВУ-2”. На него получен сертификат соответствия № РОСС. RU. СП05. Н00261 от 29.01.2008 г., выданный специализированным органом — НИЦ программных средств МГТУ им. Н. Э. Баумана.

В данной статье представлены результаты определения характеристик неисследованных ранее вспучивающихся лаков ПРОТЕРМ ВУД и ФЕНИКС ДП, а также экспериментальной проверки методики теплотехнических расчетов ДКК со вспучивающейся огнезащитой. Эта информация не приведена в публикации [4], в то время как результаты расчетов для ДКК с различными средствами огнезащиты в ней представлены.

Искомые параметры вспучивающихся покрытий ПРОТЕРМ ВУД и ФЕНИКС ДП определялись по аналогии с работами [6–9], в которых представлены перечень и порядок определения комплекса характеристик таких материалов, большая часть которых определяется традиционными лабораторными методами. Эти характеристики принимались для обоих покрытий такими же, как у ранее исследованного покрытия ПРОТЕРМ СТИЛ [8], имеющего близкий состав с рассматриваемыми материалами. Кроме того, были определены основные (наиболее значимые) параметры для покрытий ПРОТЕРМ ВУД и ФЕНИКС ДП: температура начала вспучивания $T_{ин}$, кратность вспучивания k_V ,

Таблица 1. Результаты определения основных характеристик покрытий ПРОТЕРМ ВУД и ФЕНИКС ДП

Материал	k_V	$T_{ин}, ^\circ\text{C}$	$\Theta, 10^{11}$ Вт/(м·К ⁴)	ψ
ПРОТЕРМ ВУД	120	130	12,8	8
ФЕНИКС ДП	120	130	8,6	7

параметр лучистого теплопереноса в порах Θ , параметр уноса (выгорания) вспученного слоя покрытия ψ . Значения искомых параметров представлены в табл. 1. Их определяли методом решения обратной задачи с использованием результатов экспериментальных исследований на установке лучистого нагрева и огневых испытаний, описанных в работах [2, 3].

Кроме определения характеристик вспучивающихся покрытий, необходимых для проведения расчетов, были уточнены значения теплофизических параметров клееной древесины, что также не нашло отражения в работе [4]. Анализ показал, что на данном этапе исследований целесообразно использование эффективных теплофизических характеристик. Приняты следующие значения плотности и удельной теплоемкости древесины: $\rho = 526 \text{ кг/м}^3$ [1], $c = 2800 \text{ Дж/(кг·К)}$ [10]. Для определения эффективного коэффициента теплопроводности древесины была использована зависимость:

$$\lambda_{\Sigma} = \lambda_0 + aT + \Theta T^3. \quad (1)$$

Величины λ_0 и a в выражении (1) определялись такими, чтобы получить согласование с известными из публикаций значениями теплопроводности при относительно низких температурах (до 300 °C). Параметр Θ был определен как параметр согласования результатов расчетов с данными огневых испытаний ДКК без огнезащиты, представленными в работе [1]. Такие расчеты осуществлялись при использовании граничного условия 1-го рода. Задавалась зависимость температуры обогреваемой поверхности ДКК, полученная при термопарных измерениях, проводимых в процессе испытаний в огневой печи. Получены следующие значения параметров, входящих в зависимость (1): $\lambda_0 = 0,16 \text{ Вт/(м·К)}$, $a = 0,002 \text{ Вт/м}$, $\Theta = 3,5 \cdot 10^{11} \text{ Вт/(м·К}^4)$. На рис. 8 и 9 показано согласование результатов расчетов с экспериментальными данными огневых испытаний. Сопоставление свидетельствует о возможности использования полученной зависимости для коэффициента теплопроводности древесины на данном этапе исследований. Применение эффективных параметров для древесины позволяет проводить вычисления по всем перечисленным методикам теп-

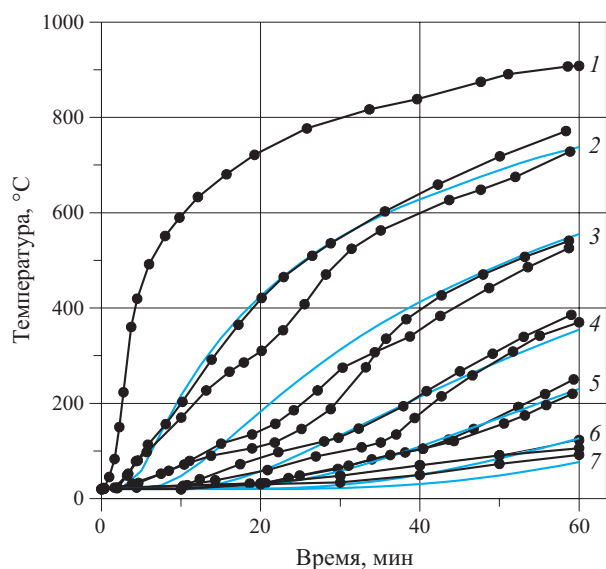


Рис. 8. Зависимости от времени температуры по толщине деревоклееной балки сечением 140×150 мм [1], полученные с помощью термопар, установленных на обогреваемой поверхности (1) и вдоль горизонтальной и вертикальной осей балки на расстоянии от обогреваемой поверхности 10 (2), 20 (3), 30 (4), 50 (5), 60 (6) и 70 мм (7); —●●●●● эксперимент; — расчет

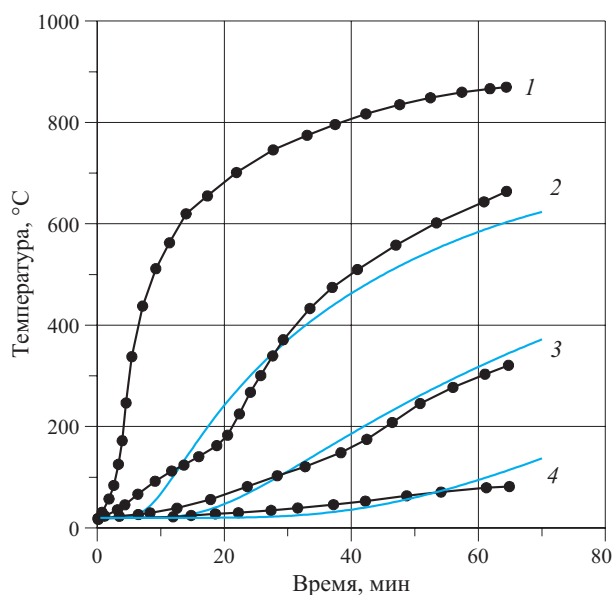


Рис. 9. Зависимости от времени температуры по толщине деревоклееной балки сечением 120×410 мм [1], полученные с помощью термопар, установленных на обогреваемой поверхности (1) и вдоль горизонтальной оси балки на расстоянии от поверхности 15 (2) 30 (3) и 45 мм (4); —●●●●● эксперимент; — расчет

лотехнических расчетов серии “ОГНЕЗАЩИТА”, в том числе и определение двумерных температурных полей в ДКК.

Проведена экспериментальная проверка методики теплотехнических расчетов ДКК со вспучивающимися покрытиями ПРОТЕРМ ВУД и ФЕНИКС ДП. В процессе этих расчетов использовались перечисленные выше характеристики исследуемых покрытий и древесины. О хорошем соответствии результатов расчетов и термопарных измерений при трех огневых испытаниях ДКК свидетельствуют рис. 5–7. При расчетах учитывались реальные температурные режимы, реализованные в каждом огневом испытании. Получено также хорошее качественное и удовлетворительное количественное соответствие результатов расчетов толщины вспученного слоя экспериментальным данным (см. рис. 4), полученным в ходе анализа перемещений плиты перекрытия огневой камеры по мере изменения толщины покрытий при испытаниях. Удовлетворительное соответствие расчет – эксперимент (см. рис. 4–7) подтверждает возможность и эффективность применения данной методики расчетов на практике.

Анализ полученных экспериментальных и теоретических данных показал, что методики серии “ОГНЕЗАЩИТА” можно использовать не только при расчетах пределов огнестойкости ДКК с различными средствами огнезащиты [4]. Их применение возможно также при определении толщин огне-

защиты, обеспечивающих требуемый класс пожарной опасности ДКК.

Нормативные документы пока не предусматривают расчетное определение толщин огнезащиты, дополняющее испытания по определению класса пожарной опасности ДКК по ГОСТ 30403. Однако необходимость в таких расчетах очевидна, учитывая высокую стоимость испытаний и продолжительность их проведения. Полученные авторами результаты свидетельствуют о принципиальной возможности математического моделирования прогрева образцов ДКК с различными средствами огнезащиты и проведения на их основе расчетных оценок толщин огнезащиты, позволяющих снизить до необходимого уровня класс пожарной опасности конструкций из древесины. При таких оценках должно проверяться условие соответствия фактического класса пожарной опасности K_{ϕ} конструкций требуемому K_{mp} :

$$K_{\phi} \geq K_{mp}. \quad (2)$$

При определении толщин огнезащиты данное условие необходимо учитывать наряду с известным условием соответствия фактического предела огнестойкости P_{ϕ} деревоклееных конструкций требуемому P_{mp} :

$$P_{\phi} \geq P_{mp}. \quad (3)$$

Если определение толщин огнезащиты по условию (3) проводится при совместных теплотехни-

Таблица 2. Результаты оценочных расчетов толщин огнезащиты, обеспечивающих требуемый класс пожарной опасности ДКК

Огнезащитный материал	Толщина огнезащиты, мм, обеспечивающая класс пожарной опасности ДКК	
	K0(30)	K0(45)
ФЕНИКС ДП	0,6	1,5
ПРОТЕРМ ВУД	0,7	1,8
ОГРАКС-В-СК	0,8	1,5
ОСП-1	2,3	3,2
СОТЕРМ-1М	13	17
ПВТН	16	21
Promatect-H	17	23
ПНТБ	18	25
CONLIT-150	19	27

ческих и статических расчетах, то толщины огнезащиты, соответствующие условию (2), могут определяться теплотехническим расчетом. Выбираться должно большее из значений, получаемых по условиям (2) и (3).

Расчеты по условию (2) предлагается проводить по упомянутым методикам серии “ОГНЕЗАЩИТА” при нескольких толщинах огнезащиты. Требуемая толщина должна быть такой, чтобы температура на глубине 2 мм от поверхности конструкции в контрольном сечении образца в пределах тепловой камеры не превысила 300°C в течение заданного времени теплового воздействия в огневой камере по стандартному температурному режиму. В соответствии с ГОСТ 30403 для показателя K0 контрольное сечение расположено на расстоянии 50 мм от плиты, разделяющей огневую и тепловую камеры установки, для показателя K1 — на расстоянии 400 мм.

Поскольку неизвестен конкретный температурный режим в данных зонах тепловой камеры, можно в первом приближении проводить расчеты при стандартном температурном режиме, реализуемом в огневой камере. Это с гарантированным запасом позволяет определить толщину огнезащиты (оценка выше). Для сечения на относительно небольшом расстоянии от огневой камеры (50 мм от плиты) такое допущение представляется правомерным. Для других сечений, расположенных в зоне тепловой камеры на расстоянии 400 мм и более от плиты, расчеты могут осуществляться при температурном

режиме, реализуемом в тепловой камере по зависимости:

$$T_f = T_0 + 200 \cdot \log(8t + 1), \quad (4)$$

где T_f — температура газовой среды при пожаре, °C;
 T_0 — начальная температура, °C;
 t — время от начала испытания, мин.

Если расчеты для сечений, расположенных в зоне тепловой камеры на расстоянии 400 мм и более от плиты, проводить при стандартном температурном режиме, то это приведет к завышению толщины огнезащиты (определению толщины с запасом).

В дальнейшем целесообразно обеспечить проведение замеров температуры газовой среды, а также образца в контрольных зонах тепловой камеры. Это будет способствовать качественному анализу результатов испытаний и повышению точности основанных на них расчетов.

Анализ результатов математического моделирования температурных полей в ДКК с различными средствами огнезащиты и данных по времени до начала обугливания древесины и скорости ее обугливания [3] позволил сделать прогноз толщин огнезащиты, обеспечивающих получение для ДКК показателей K0(30) и K0(45). Эти результаты представлены в табл. 2 и дают предварительную, но полезную информацию, учитывая отсутствие соответствующих огневых испытаний ДКК.

Следует отметить, что результаты расчетов толщин огнезащиты не противоречат данным недавно проведенных огневых испытаний по ГОСТ 30403 ДКК с покрытием ПЕНОКС на основе минеральных вяжущих. Испытания показали, что получен класс пожарной опасности K0(45) при толщине этого покрытия 18 мм. Для материала подобного вида, например СОТЕРМ-1М, прогнозируемое значение толщины для обеспечения такого показателя составило 17 мм. Приведенные результаты свидетельствуют о возможности получения показателя K0(45) при использовании лака ФЕНИКС ДП, который представляется в настоящее время наиболее приемлемым для защиты ДКК.

Приведенные в статье данные свидетельствуют о перспективности теплотехнических расчетов для определения толщин огнезащиты, обеспечивающих требуемые показатели пожарной опасности ДКК. Методики таких расчетов могут совершенствоваться по мере появления новых результатов огневых испытаний ДКК с различными средствами огнезащиты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гераськов, Г. В. Расчет пределов огнестойкости деревянных конструкций с учетом фазовых превращений: дис. ... канд. техн. наук / Г. В. Гераськов. — М., 1991. — 239 с.

2. **Гаращенко, Н. А.** Результаты огневых испытаний клеенодеревянных панелей со вспучивающимися покрытиями / *Н. А. Гаращенко* // Пожаровзрывобезопасность. — 2006. — Т. 15, № 2. — С. 12–16.
3. **Устрехов, А. И.** Показатели конструктивной пожарной опасности и перспективы использования деревоклееных конструкций, защищенных вспучивающимися покрытиями / *А. И. Устрехов, Н. А. Гаращенко* // Монтажные и специальные работы в строительстве. — 2006. — № 6. — С. 12–16.
4. **Гаращенко, Н. А.** Теплотехнические расчеты огнестойкости деревоклееных конструкций с огнезащитой / *Н. А. Гаращенко, А. Н. Гаращенко, В. П. Рудзинский* // Монтажные и специальные работы в строительстве. — 2006. — № 10. — С. 14–18.
5. **Корольченко, А. Я.** Особенности огнезащиты конструкций из древесины вспучивающимися покрытиями / *А. Я. Корольченко, Н. А. Гаращенко* // Пожаровзрывобезопасность. — 2005. — Т. 14, № 1. — С. 38–41.
6. **Страхов, В. Л.** Программные комплексы для расчетов тепломассопереноса в строительных конструкциях с огнезащитой с учетом термического разложения, вспучивания – усадки и испарения – конденсации / *В. Л. Страхов, А. Н. Гаращенко, В. П. Рудзинский* // Пожаровзрывобезопасность. — 2001. — Т. 10, № 4. — С. 9–11.
7. **Гаращенко, А. Н.** Апробирование методики расчетов вспучивающейся огнезащиты строительных конструкций на примере покрытия Хенсотерм 4КС / *А. Н. Гаращенко, В. Л. Страхов, В. П. Рудзинский* [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. — 1999. — Т. 8, № 5. — С. 16–25.
8. **Гаращенко, А. Н.** Экспериментальные и теоретические исследования особенностей тепломассопереноса во вспучивающейся огнезащите на примере покрытия ПРОТЕРМ СТИЛ / *А. Н. Гаращенко, В. Л. Страхов, В. П. Рудзинский* [и др.] // Труды 3-й Российской национальной конференции по теплообмену. — Т. 6. — М.: Изд-во МЭИ, 2002. — С. 254–257.
9. **Страхов, В. Л.** Математическое моделирование работы и определение комплекса характеристик вспучивающейся огнезащиты / *В. Л. Страхов, А. Н. Гаращенко, В. П. Рудзинский* // Пожаровзрывобезопасность. — 1997. — Т. 6, № 3. — С. 21–30.
10. **Башкирцев, М. П.** Основы пожарной теплофизики / *М. П. Башкирцев, Н. Ф. Бубырь, Н. А. Минаев* [и др.]. — М.: Стройиздат, 1978. — 201 с.

Поступила в редакцию 15.05.08.



Адъюнкт ФГОУ ВПО «Восточно-Сибирский институт МВД России» (ВСИ МВД РФ)

К. А. Кузнецов



Д-р техн. наук, профессор, заместитель начальника ФГОУ ВПО ВСИ МВД РФ по учебной работе

В. П. Удилов

Д-р хим. наук, ведущий специалист Иркутского института химии им. А. Е. Фаворского СО РАН

С. Ф. Малышева

Канд. хим. наук, старший преподаватель ФГОУ ВПО ВСИ МВД РФ

Г. В. Плотникова

Начальник испытательной пожарной лаборатории

В. Ю. Селезнев

УДК 614.841

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА СНИЖЕНИЯ ГОРЮЧЕСТИ ПОЛИВИНИЛХЛОРИДНЫХ ПЛАСТИЗОЛЕЙ ПРИ ВВЕДЕНИИ ФОСФОРСОДЕРЖАЩИХ АНТИПИРЕНОВ

Изучен механизм действия новых фосфорсодержащих антипиренов при горении поливинилхлоридных пластизолов. По результатам проведенных исследований сделан вывод о том, что фосфор, входящий в состав композиций, действует в поверхностном слое, концентрируется на поверхности и образует защитную пленку.

Одно из ведущих мест среди полимерных продуктов в промышленности занимает поливинилхлорид (ПВХ). В мире его производится более 25 млн т/год. ПВХ применяется как в жестком, так и в пластифицированном виде. Из этого полимера получают более 3000 видов материалов и изделий.

В настоящее время изделия из пластифицированного ПВХ оцениваются как горючие. Наиболее распространенным способом снижения горючести ПВХ является введение в полимер антипиренов, т.е. веществ, изменяющих кинетику химических реакций при горении в конденсированной и газовой фазах [1]. Использование антипиренов позволяет снижать и другие пожароопасные свойства полимеров.

Характерным недостатком широко применяемых антипиренов является их высокая стоимость. Этого недостатка лишены новые фосфорсодержащие соединения, синтезированные по реакции Трофимова – Гусаровой.

Проведенные ранее авторами статьи исследования [2, 3] показали, что новые фосфорорганические соединения, в частности аллилпропилфосфиноксид (КВ-5), трис(1-нафтилметил)фосфиноксид (К-1), трис(4-винилбензил)фосфиноксид (Vh-57nb), сополимер красного фосфора с трис(2-винилбензил)фосфиноксидом (z-20p), аддукт стирилфосфоновой кислоты и триазола (АСФК) являются антипиренами. Их применение в составе ПВХ пластизолов позволило уменьшить значения таких показателей, как горючесть, дымообразующая способность, температуры вспышки и воспла-

менения. В то же время механизм снижения горючести ПВХ пластизолов новыми фосфорсодержащими антипиренами не был изучен. Целью данной работы является исследование механизма снижения горючести ПВХ пластизолов новыми фосфорсодержащими антипиренами.

Как уже отмечалось, несмотря на многочисленные преимущества фосфорсодержащих антипиренов, их выбор для огнезащиты затруднен. Требования, предъявляемые к антипиренам, весьма избирательны и многочисленны, а именно:

- используемые антипирены должны быть устойчивы к гидролизу;
- полимер в присутствии антипирена не должен обладать большим по сравнению с исходным материалом дымообразованием;
- антипирены не должны повышать стоимость изделий;
- антипирены не должны ухудшать физико-механические и другие свойства и т.д.

Известны две основные концепции механизма снижения горючести при введении фосфорсодержащих соединений. По одной из них предполагается, что проявление эффективности соединений фосфора в твердой фазе возможно через реакцию разветвления в процессе пиролиза, приводящую к уменьшению содержания либо торможению образования горючих газов, что часто сопровождается увеличением выхода продукта карбонизации ароматических остатков кокса в зоне пиролиза. При этом устанавливается инертный барьер, препятст-

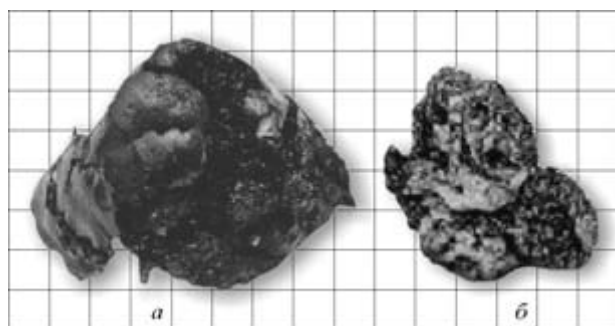


Рис. 1. Образец сгоревшего полимера, содержащего 0,4 м.ч. АСФК на 100 м.ч. ПВХ (а) и без добавок антипиренов (б)

вующий диффузии оставшихся органических продуктов разложения к фронту пламени и приводящий, таким образом, к изоляции зоны пиролиза. По другой концепции фосфорсодержащие соединения действуют в газовой фазе аналогично галогенсодержащим через вовлечение фрагментов P° , PO° , HPO° , служащих основой антипирена, в реакции, уменьшающие подвижность водородных радикалов [4–7].

Для исследования механизма снижения горючести при введении новых фосфорсодержащих антипиренов были приготовлены образцы ПВХ пластизолой, содержащие следующие вещества:

- промышленный ПВХ Е6250-Ж (ГОСТ 14039–78) — 100 м.ч.;
- пластификатор — диоктилфталат (ДОФ) — 65 м.ч.;
- стабилизатор — стеарат бария и кадмия — 2 м.ч.

В качестве антипиренов были использованы следующие фосфорорганические соединения: KB-5, К-1, Vh-57nb, z-20p, АСФК; содержание исследуемых добавок в композиции варьировалось от 0,2 до 1 м.ч. на 100 м.ч. ПВХ. Для сравнения были приготовлены образцы, не содержащие добавок антипиренов.

Механизм снижения горючести при введении новых фосфорсодержащих антипиренов изучали в ходе огневых испытаний [8]. Как показало визуальное обследование (рис. 1, а), поверхность образца, содержащего 0,4 м.ч. АСФК, покрылась блестящей пленкой, потеря массы составила 18,54%. Образец без добавок (рис. 1, б) при проведении эксперимента потерял 95% массы и был практически разрушен.

С целью определения содержания фосфора в обгоревших образцах ПВХ пластизолой была проведена рентгеновская флуоресцентная спектроскопия. Результаты показали, что пики излучения, относящиеся к фосфору, на спектрах, полученных при анализе карбонизированных остатков полимерных материалов (рис. 2, б), значительно выше

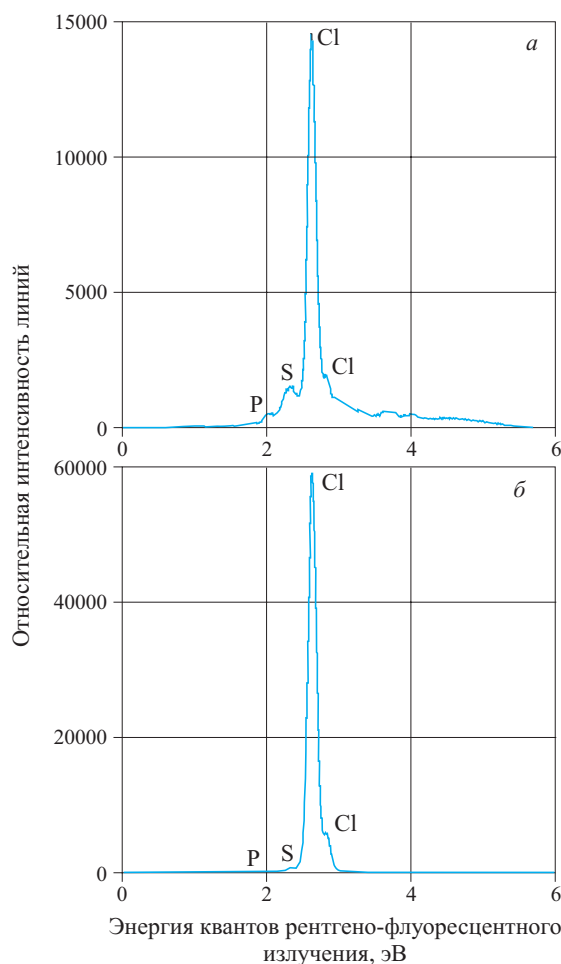


Рис. 2. Рентгено-флуоресцентный спектр ПВХ с добавлением 0,4 м.ч. АСФК до (а) и после (б) сжигания (легкие элементы)

аналогичных пиков, полученных при анализе исходных образцов (рис. 2, а).

Для количественного определения содержания фосфора в обгоревших образцах полимера был осуществлен химический микроанализ. Он проводился в лаборатории органического анализа Иркутского института химии им. А. Е. Фаворского. Результаты исследований представлены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты химического микроанализа

Исследуемый образец полимера	Содержание химических элементов в обгоревших образцах, %			
	хлор	углерод	водород	фосфор
ПВХ + 0,4 м.ч. АСФК	2,29	88,49	7,19	5,92
ПВХ + 0,4 м.ч. KB-5	2,38	86,26	5,62	2,58
ПВХ + 0,4 м.ч. К-1	2,51	83,24	4,37	4,20
ПВХ + 0,4 м.ч. z-20p	2,33	87,53	5,77	2,63
ПВХ + 0,4 м.ч. Vh-57nb	2,46	84,44	4,34	5,28

Таблица 2. Содержание фосфора в полимерных образцах

Исследуемый образец полимера	Содержание фосфора в образцах, %		$P_{n.c.} / P_{d.c.}$
	до сжигания ($P_{d.c.}$)	после сжигания ($P_{n.c.}$)	
ПВХ + 0,4 м.ч. АСФК	0,003	5,92	1973
ПВХ + 0,4 м.ч. КВ-5	0,0005	2,58	5160
ПВХ + 0,4 м.ч. К-1	0,02	4,20	210
ПВХ + 0,4 м.ч. z-20p	0,002	2,63	1315
ПВХ + 0,4 м.ч. Vh-57nb	0,0008	5,28	6600

Содержание фосфора в образцах до их сжигания ($P_{d.c.}$) было определено расчетом, в обгоревших образцах ($P_{n.c.}$) — в результате химического микро-

анализа. Результаты исследований приведены в табл. 2.

Как видно из табл. 2, содержание фосфора в карбонизированных остатках полимерных материалов по отношению к нативным образцам резко возрастает.

Таким образом, результаты огневых испытаний, визуальное обследование, а также исследования образцов полимеров до и после их горения методами рентгеновской флуоресцентной спектроскопии и химического микроанализа показали, что механизм снижения горючести ПВХ при введении новых фосфорсодержащих антипиренов заключается в том, что фосфор, входящий в состав композиций, действует в поверхностном слое, концентрируется на поверхности и образует защитную пленку.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Колодов, В. И.** Замедлители горения полимерных материалов / В. И. Колодов. — М.: Химия, 1980. — 274 с.
2. **Кузнецов, К. Л.** Снижение горючести поливинилхлоридных пластизолов новыми фосфорсодержащими антипиренами / К. Л. Кузнецов, Удилов В. П., Б. В. Тимохин [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. — 2007. — Т. 16, № 1. — С. 26–28.
3. **Кузнецов, К. Л.** Снижение дымообразующей способности поливинилхлоридных пластизолов новыми фосфорсодержащими антипиренами / К. Л. Кузнецов, Г. В. Плотникова // Материалы 16-й научно-технической конференции “Системы безопасности–2007”. — М., 2007. — С. 192–195.
4. **Einsele, U.** Über die Flammfest anrustung von Textilien / U. Einsele // Text. Praxis. — 1972. — Bd. 27, № 3. — S. 172–175.
5. **Selly, E.** / E. Selly, W. Vaccarella // Plast. Eng. — 1979. — Vol. 35, № 2. — P. 43–47.
6. **Troev, K.** / K. Troev, A. T. Crozeva, G. Borisov // European Polymer J. — 1979. — Vol. 15. — P. 1143–1147.
7. **Basch, A.** // J. Polym. Sci., Polym. Chem. Ed. — 1979. — Vol. 17. — P. 39–47.
8. **ГОСТ 12.1.044–89***. Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.

Поступила в редакцию 15.04.08.



Д-р техн. наук, профессор,
начальник кафедры специальной
химии Академии ГПС МЧС РФ
С. С. Воевода



Канд. техн. наук,
доцент кафедры пожарной
безопасности МГСУ
Д. А. Корольченко



Канд. техн. наук,
старший научный сотрудник
Академии ГПС МЧС РФ
С. А. Макаров

УДК 614.84.664

ОБЗОР ЗАРУБЕЖНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ ПО МОДЕЛИРОВАНИЮ ПРОЦЕССА ТУШЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ ПЕНАМИ

Дано представление о последних работах в области моделирования процессов пожаротушения пенными составами. Представлено понимание процесса пенного пожаротушения, приобретенное в ходе данного исследования, и направления, следуя которым разработчики смогут достичь более эффективных решений в составлении пенных рецептур. Описаны конструкция и принцип действия установки для измерения потерь пены под воздействием теплового потока в лабораторных условиях.

Введение

Возрастающая озабоченность воздействием пенных огнетушащих составов на окружающую среду стала причиной поисков более безвредных химических веществ. Возможен выбор самых разнообразных химических составов, производство которых основывается как на ныне существующей технологии, использующей поверхностно-активные вещества (ПАВ), так и на других, новых технологиях, которые, с большой вероятностью, будут разработаны в ближайшем будущем. Оценка противопожарной эффективности пенных составов путем исследований модельного очага пожара лабораторного масштаба представляется приблизительно. Затраты же времени и средств, которых требуют крупномасштабные полигонные испытания, могут быть непомерно высоки.

Недостаточность модельных испытаний для определения эффективности сопровождается неполным пониманием механизма тушения огня пенными составами. Параметры, влияющие на потери пены вследствие ее синерезиса и испарения под действием высоких температур факела пламени, были оценены лишь в конце прошлого века. Комплексные механизмы распределения пены по поверхности горючей жидкости прояснены еще в меньшей степени. В настоящее время завершенной, надежной и действенной модели процесса пеноотушения не существует.

В настоящей статье будет дано представление о последних работах в области моделирования процессов пожаротушения пенными составами, а также о том, как модельные испытания могут быть использованы в разработке рецептур пенных композиций. Здесь будет также представлено понимание процесса пенного пожаротушения, приобретенное в ходе этого исследования, и направления, следуя которым разработчики смогут достичь более эффективных решений в составлении пенных рецептур.

Применение фторсодержащих пенообразователей объясняется их высокой огнетушащей эффективностью. Почти все пенные составы, используемые в тушении пожаров класса В (жидкости), в той или иной мере содержат поверхностно-активные вещества. Помимо них в состав пенообразователей включаются углеводородные ПАВ, растворители и различные вспомогательные добавки. Однако фторсодержащие ПАВ являются ключевым компонентом в создании пен, способных к пленкообразованию (пленкообразующих огнетушащих пен на водной основе (AFFF)). К сожалению, фторсодержащие части молекул ПАВ, используемых в настоящее время, не обладают способностью к биологическому разложению в окружающей среде. Этот факт вызвал беспокойство по поводу применения подобных молекул в составе противопожарных пен и заинтересованность в поиске альтернативных

формул, в которых использование фторсодержащих ПАВ было бы ограничено либо совершенно исключено [1].

В дополнение к вышеназванным проблемам существующие ныне составы огнетушащих пен могут оказывать и другие нежелательные воздействия на окружающую среду [2]. Эти воздействия также вызвали тревогу по поводу установки пенных противопожарных систем и в ряде случаев стали причиной ограничения использования огнетушащих пен. Кроме того, фторсодержащие ПАВ являются наиболее дорогостоящим компонентом в составе огнетушащей пены, и эта дороговизна негативно сказалась на применении пен в некоторых областях.

Проблема биологического разложения фторсодержащих ПАВ побуждает к действиям, направленным на создание новых рецептур пенных концентратов. При создании этих новых составов должны учитываться и другие стоящие перед нами вопросы, связанные с охраной окружающей среды, стоимостью и эффективностью состава. Задача заключается не в “улучшении” существующих концентратов, а, скорее, в тотальной перестройке всей гаммы пенных продуктов.

Моделирование процесса пенотушения

Цель работы заключается в разработке математической модели процесса тушения пожара пенным раствором. В ней должны участвовать модельные уравнения, описывающие важнейшие протекающие при этом физические процессы, в том числе механизмы потерь пены на ее синерезис и испарение, а также распределение пены по поверхности горючей жидкости.

Работа заключается в формулировании уравнений, описывающих исходные предпосылки и включающих в себя необходимые эмпирические параметры. Эмпирические параметры могут быть получены из испытаний и экспериментов с учетом того, что физическая сторона процессов пока не вполне выяснена либо слишком сложна для того, чтобы быть легко моделируемой.

Одной из целей моделирования может быть получение намного более ясного представления о физических процессах, протекающих при пожаротушении. Открытыми остаются вопросы: как велико влияние механизмов потерь пены на скорость ее распространения по поверхности горючей жидкости и полноту покрытия этой поверхности? Понимание физической стороны подавления огня могло бы значительно прояснить цели, к которым нужно стремиться при разработке новых составов.

Еще одной задачей моделирования является разработка аппаратуры для модельных (по возможности, лабораторных) испытаний, которую можно

было бы использовать для оценки новых пенных составов. Полноценная проверка рецептуры требует выполнения среднемасштабных пожарных испытаний (на площади от 2 до 5 м²). Проведение таких испытаний дорого и, кроме того, может быть затруднено ограничениями, связанными с охраной окружающей среды. Все это сужает возможности исследовательских работ по разработке новых рецептур. Оборудование для лабораторных испытаний позволило бы разработчикам без промедления получать существенные данные о поведении новой композиции на практике, причем при меньших финансовых затратах.

Конечная же цель моделирования состоит в том, чтобы разобраться, есть ли выход из создавшейся ситуации. Существующие проблемы:

- действие AFFF заключается в пленкообразовании;
- для пленкообразования необходимы фторсодержащие ПАВ;
- фторсодержащие ПАВ весьма устойчивы к разложению.

Дополнительно фторсодержащие ПАВ обеспечивают устойчивость пены к загрязнению горючими жидкостями, а в некоторых пенных составах поддерживают пенообразующую способность концентрата.

Исследователями были определены два выхода из выше обозначенной ситуации: один заключается в разработке фторсодержащих ПАВ, которые не были бы столь устойчивы к разложению, второй — в том, чтобы попытаться достичь пленкообразования с участием не содержащих фтора ПАВ. Оба эти способа признаны весьма сложными, дорогостоящими и требующими времени, а может быть, и невыполнимыми. Разработка модели и достижение понимания физики пожаротушения могут показать еще один выход — возможность заставить AFFF выполнять свои противопожарные функции без образования пленки. Этот путь также может оказаться трудным и долгим, но он предлагает потенциальные дополнительные выгоды, состоящие в лучшем понимании процессов и создании аппаратуры для испытаний пенных составов в лабораторных условиях.

Один из положительных и важных аспектов AFFF, который может быть утрачен в случае отсутствия образования пленки, — фактор безопасности в ситуации, когда пламени уже нет или еще нет, и образовавшаяся пленка препятствует появлению воспламеняемых паров. Этот фактор может иметь важное значение, если пенный слой нарушается, например движениями пожарного, в то время как пленка поддерживала бы пожарную безопасность.

Процесс тушения пожара пеной

Огнетушащая пена ликвидирует горение жидкости, создавая физическую преграду для выделения паров с поверхности этой жидкости. Данная преграда прекращает подпитку пламени парами горючей жидкости, тем самым прекращая его. Участки поверхности жидкости, не покрытые пеной, продолжают выделять горючие пары и подпитывать факел пламени (рис. 1). Слой пены, состоящий, в основном, из воздуха и водного раствора пенообразователя, создает препятствие для диффузии паров горючей жидкости [3]. Даже такой тонкий слой, как пленка, образуемая водным раствором пенообразователя AFFF, способен понизить испарение горючей жидкости настолько, чтобы ликвидировать горение.

При тушении пожара пена подается с заданной интенсивностью $\dot{m}_{foam,add}$, обеспечивающей образование пенного слоя за определенный период времени. В условиях горения потери пены могут происходить двумя путями: через испарение под тепловым воздействием пламени \dot{m}_{evap} и через разрушение структуры пены путем ее синерезиса в слой горючей жидкости \dot{m}_{drain} . Соответственно, для достижения прогресса в тушении огня подача пены должна превышать величину ее потерь.

В зависимости от условий пожаротушения пена при ее нанесении на поверхность горючей жидкости может обладать значительной кинетической энергией, способствующей ее растеканию, например при нанесении пены ручными стволами на небольшое количество разлившейся горючей жидкости. В иной ситуации может потребоваться, чтобы пена растекалась самостоятельно, под действием только силы тяжести, например при ее подаче через верхнюю часть стенки резервуара. Во втором слу-

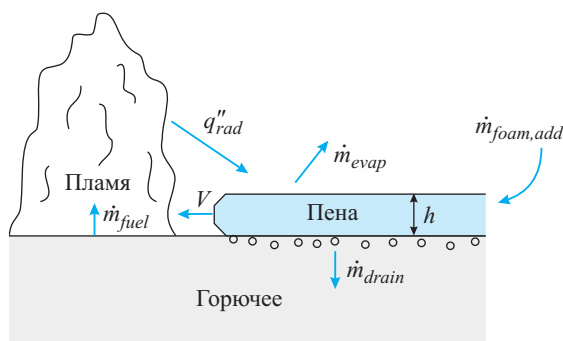


Рис. 1. Схема процесса тушения огня пеной: q_{rad}'' — тепловой поток факела пламени, Дж/(м²·с); V — скорость движения пены, м/с; h — толщина пенного слоя, м; \dot{m}_{fuel} — масса нефтепродуктов в пене, кг; $\dot{m}_{foam,add}$ — масса подаваемой пены, кг; \dot{m}_{evap} — масса разрушенной пены от факела пламени, кг; \dot{m}_{drain} — масса разрушенной пены от контактного взаимодействия с горючей жидкостью, кг

чае способность самостоятельно растекаться необходима пене, как и в первом случае, — самостоятельно и быстро растекающаяся пена служила бы повышению эффективности тушения пожара.

Процесс пенного тушения — это своего рода материальный баланс: количество подаваемой пены против механизмов разрушения и синерезиса пены. Создание модели процесса накопления пены позволит предсказать, будет ли ликвидирован пожар, или же величина потерь пены сравняется с величиной ее подачи, при этом растекание пены остановится и горение будет продолжаться.

Данный процесс исключительно сложен. Распределение пены зависит от ее реологических свойств, изменяющихся по мере разрушения пены, свойств горючей жидкости и кинетического импульса подачи пены. Скорость синерезиса пены изменяется по мере ее растекания и разрушения. Скорость испарения также меняется при распределении пены и увеличении ее площади, подверженной воздействию тепла, а также изменении этого воздействия в ходе тушения пожара.

При математическом моделировании сложных физических явлений необходимы принятие упрощающих допущений и введение эмпирических параметров (получаемых, скорее, экспериментальным, нежели теоретическим путем). Широко обсуждаемая тема моделирования представлена в статье [4]. Подробную информацию о работе по моделированию пенного тушения, проделанной Перссоном (Persson), можно найти в публикации [5]. В работе [4] величина потерь пены на испарение на единицу площади m'' , кг/м², выражена следующим уравнением:

$$m'' = q_{rad} k_e,$$

где q_{rad} — тепловой поток, Дж/(м²·с);

k_e — эмпирически получаемый параметр.

Величина потерь пены на ее синерезис на единицу площади m''_{drain} в публикации [4] принята как эмпирически получаемый параметр.

Оба указанных параметра имеют важное значение в пенной модели процесса тушения. Для их измерения была разработана экспериментальная установка [6].

Установка для измерения потерь пены

Прибор для проведения лабораторных испытаний, разработанный в ходе настоящего исследования, показан на рис. 2. Установка состояла из испытательной чаши, электромагнитного клапана, контейнера для сбора дренажа, двух весов (датчиков нагрузки), микротермодатчиков, прибора для измерения полного удельного теплового потока, нагревателя и источника огня.

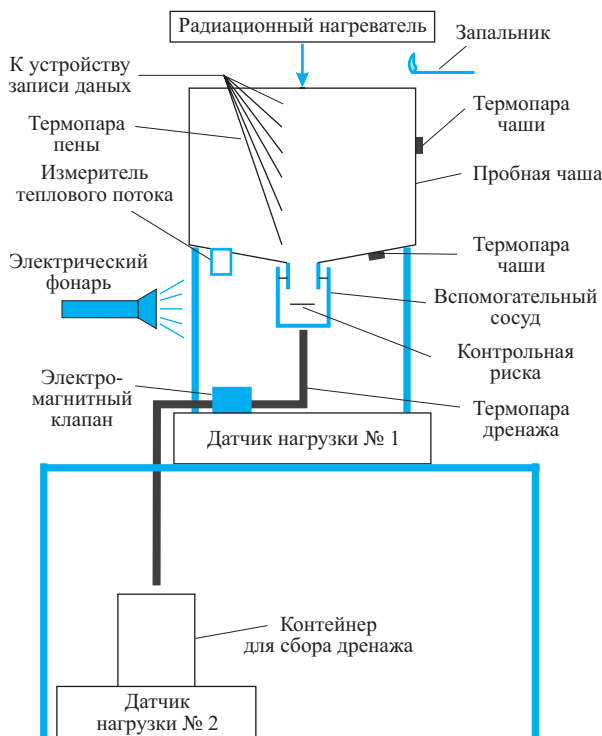


Рис. 2. Установка для измерения потерь пены под воздействием теплового потока в лабораторных условиях (масштаб не выдержан)

Испытательная чаша цилиндрической формы имела 230 мм в диаметре и высоту 150 мм и была выполнена из нержавеющей стали толщиной 1 мм. Как показано на детальной схеме испытательной чаши (рис. 3), ее днище имело небольшую конусность для направления дренируемого раствора к центральной части днища. В днище были установлены два патрубка. Патрубок, осевая линия которого проходила приблизительно в 50 мм от стенки чаши, использовался для присоединения к чаше измерителя удельного теплового потока. Патрубок был устроен так, чтобы измеритель теплового потока располагался чуть выше бортика на внутренней стороне чаши, чтобы минимизировать скопления раствора на поверхности измерителя. Второй патрубок, расположенный по центру днища, служил для слива раствора из чаши. Внутренний диаметр дренажного патрубка составлял 53 мм. На внутренней поверхности патрубка были выполнены пазы для уплотнительных колец. Вспомогательный сосуд — цилиндрической формы, из фторопласта, высотой 95 мм и внутренним диаметром 60 мм, был надет на дренажный патрубок снаружи. Для плотной посадки баллона на дренажный патрубок в пазы патрубка были вложены уплотнительные кольца из химически устойчивого оргстекла (внутренний диаметр 53 мм, диаметр сечения 1,5 мм). Это позволяло лаборанту наблюдать за положением

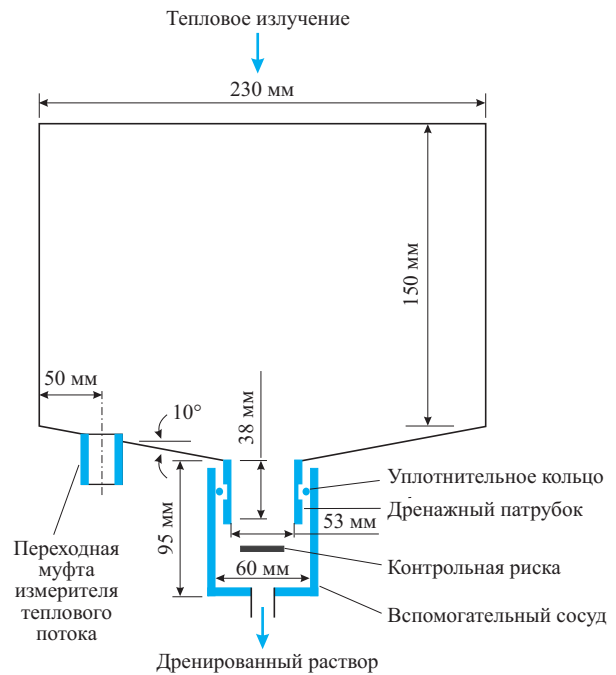


Рис. 3. Схема испытательной чаши

разделительной поверхности между дренированным раствором и пеной или дренированным раствором и горючей жидкостью, что имело особо важное значение при точном определении утечки (дренажа). Свет электрического фонаря помогал лучше различать местоположение разделительной поверхности.

Горловина баллона была закрыта колпачком, в который был вставлен дренажный патрубок для отвода дренированного раствора. Медной трубкой диаметром 6,4 мм дренажный патрубок был соединен с электромагнитным клапаном, снабженным электронным приводом. Электромагнитный клапан служил для контроля дренажа раствора из испытательной чаши. От электромагнитного клапана раствор по медной трубке поступал в контейнер для сбора дренажа. Контейнер-сборник, применявшийся в опытах, представлял собой лабораторный стакан емкостью 1000 мл из жаростойкого стекла.

Во ходе эксперимента пена нагревалась при помощи панельного инфракрасного обогревателя площадью 0,30 м², способного обеспечивать тепловой поток интенсивностью до 90 кВт/м². Тепловой поток определялся значениями температуры, отмечаемыми кварцевой панелью обогревателя, и расстоянием от него. Обогреватель был установлен в 0,013 м над верхним краем испытательной чаши. Уровень теплового облучения пены определялся по температурным настройкам обогревателя. Температурные показания кварцевой панели регистрировались микротермодатчиком. При помощи сигнала, поступающего от микротермодатчика, контроллер

поддерживал кварцевую панель при относительно постоянной температуре ($\pm 8^\circ\text{C}$). Обогреватель был смонтирован на движущейся тележке, что позволяло в начале опыта разместить его над чашей, а в конце — откатить в сторону. Для фиксации обогревателя в положении над чашей использовался выступ на гусенице тележки.

В состав установки входили два датчика веса для регистрации дренированной и испарившейся массы. Датчик веса № 1 (с диапазоном измерений 0–15 кг и точностью измерений до 0,1 г) использовался для регистрации массы пены, остающейся в чаше. С целью снижения погрешностей вследствие вибрации все приборы и принадлежности, соединенные с чашей, были размещены на датчике веса. Масса этих предметов вычиталась из показаний веса перед началом каждого опыта. Датчик веса № 2 (диапазон измерений 0–22 кг, погрешность 0,1 г) применялся для взвешивания раствора, стекающего из пены. Оба датчика были защищены от теплового потока обогревателя панелями. При замерах после каждого из проведенных в рамках данного исследования опытов отклонение ни разу не превысило 6 г.

Температура пены измерялась при помощи шести микротермодатчиков. Они были укреплены на внешней стороне чаши и входили в пену через верхнюю горловину чаши. Микротермодатчики были равномерно размещены по высоте чаши с интервалом 2,5 см. В опыте с нагревом эти микротермодатчики оказались достаточно чувствительными, чтобы регистрировать изменение высоты уровня пены по времени. Температура дренируемого раствора фиксировалась микротермодатчиком, установленным сразу за дренажным портом. Температура чаши в течение эксперимента измерялась двумя микротермодатчиками, укрепленными на днище испытательной чаши и на расстоянии 7,5 см вверх по боковой стенке чаши.

Поступающее в слой пены тепло фиксировалось прибором для измерения полного удельного теплового потока с диапазоном 0–50 кВт/м². Прибор охлаждался водой комнатной температуры.

Сбор данных производился при помощи персонального компьютера. Показания всех приборов, кроме весов (датчиков нагрузки), поступали на компьютер через две платы сбора данных. Отбор данных производился каждую секунду в течение всего опыта.

Описание эксперимента

Экспериментальная работа с установкой измерения потерь пены характеризовалась следующими известными параметрами:

- кратность пены — 3, 6 и 9;

- исходная глубина слоя пены — 25, 50 и 75 мм;
- уровни интенсивности излучения — 0, 20, 35 и 50 кВт/м²;
- топливо — авиационный керосин;
- температура топлива — 20 или 100°C.

Некоторые параметры не устанавливались, но могут быть изучены в последующих экспериментах. Для образования всей пены использовался 6%-ный концентрат пенообразователя “Универсальный” с дистиллированной водой. Применение других концентратов и морской воды показало бы иные результаты.

Образование пены производилось стандартно для каждой кратности пены, давая в результате одинаковое время синерезиса пены для каждой кратности. Для пен кратностью 3, 6 и 9 использовался размельчитель емкостью 1000 мл, показавший периоды 25% синерезиса продолжительностью (52 ± 7), (205 ± 18) и (214 ± 12) с соответственно.

Ни в одном из опытов пена не подавалась в слой жидкости. Скорее, она осторожно выливалась на поверхность горючей жидкости. Погружение пены в горючую жидкость приводит к контактному и сорбционному разрушению пены. Различные концентраты пенообразователей в большей или меньшей степени подвержены данному явлению, это повлияло бы на результат эксперимента, в особенности — на время воспламенения.

На рис. 4 показан график испытания с использованием 5-см слоя пены кратностью 6, без топлива, с интенсивностью теплового потока 35 кВт/м². В этом эксперименте количество рабочего раствора по времени примерно в три раза выше, чем испарившееся количество пенного слоя. Через 300 с ушла почти вся масса пены, осталось лишь 10%, причем 20% массы испарилось и 70% — оказалось в дренажной емкости.

На рис. 5 представлена временная зависимость температуры на различных глубинах в слое пены, находящейся в чаше, при проведении эксперимента, аналогичного представленному на рис. 4. Температура быстро нарастает и остается высокой на уровнях 100 и 125 мм. Эти уровни располагаются выше поверхности пены в течение всего опыта. Температура на уровне 75 мм над поверхностью пены сначала нарастает, затем (примерно через 20 с) падает до 100°C. Это происходит потому, что пузырьки на поверхности пены нагреваются и расширяются, вызывая подъем уровня пены до микротермодатчика на 75-мм отметке. В присутствии пены температура не может превысить 100°C — точки кипения воды. После полного испарения этой сильно расширившейся поверхностной пены, примерно на отметке 50 с, температура на уровне 75 мм снова начинает расти. Температура на отметке 50 мм — уровень поверхности пены — быстро воз-

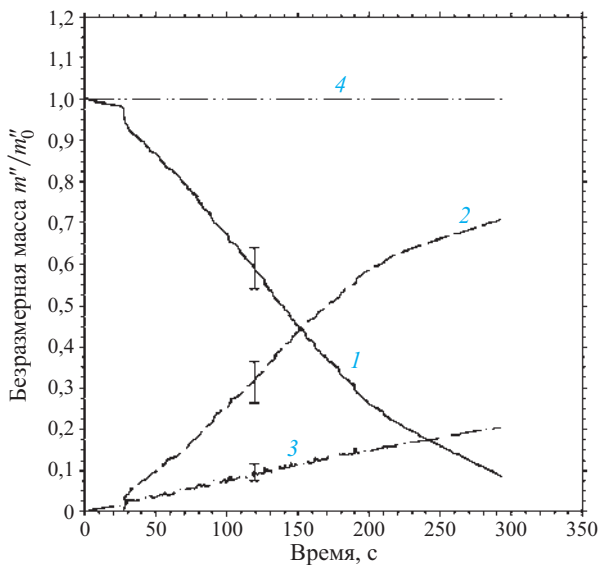


Рис. 4. Образцы данных, полученных на экспериментальной установке, показывающие изменение по времени: массы в чаше (пена) (1), массы дренированного раствора (2), массы испаренной пены (3) и баланса масс (4)

растает до 100°C и выравнивается. Примерно около отметки 160 с эта температура снова начинает расти, так как пенный покров к этому времени исчезает.

Можно заметить, что теплота проникает в пену на значительную глубину. На отметке 50 с, когда слой пены расширился до высоты более 75 мм, температура на уровне 25 мм начинает возрастать. На отметке 100 с начинает увеличиваться температура на нижней границе слоя пены — на уровне поверхности топлива, если бы оно использовалось в данном опыте. Исходя из рис. 4, на отметке 100 с остается в наличии более 60% исходной массы пены. Несмотря на присутствие значительного пенного покрова и при сравнительно низком проникновении теплового излучения, топливо начало бы нагреваться.

Рис. 6 отображает интенсивность испарения пены при различных уровнях интенсивности теплового потока. При 20 кВт/м^2 интенсивность испарения весьма близка к постоянству около 250 с, когда пенный покров уже в достаточной степени истаял. При 35 и, тем более, 50 кВт/м^2 интенсивность испарения по времени несколько снижается. Предположительно, это может быть вызвано все большим удалением поверхности пены от радиационной панели, что снижает действительные значения проникновения тепла и, соответственно, уровень интенсивности испарения. Дальнейший сбор данных в настоящей работе, а также результаты, полученные Перссоном [5], показывают постоянство интенсивности испарения пены при данном уровне излучения. Из указанных данных также видно, что

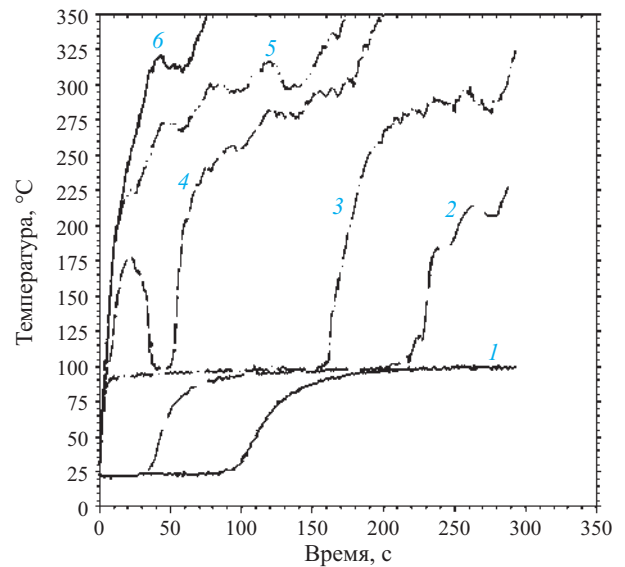


Рис. 5. Образцы данных, полученных на экспериментальной установке, показывающие изменение по времени температуры в испытательной чаше, в которой находится пена. Расстояния от уровня дна чаши, мм: 1 — 0; 2 — 25; 3 — 50; 4 — 75; 5 — 100; 6 — 125

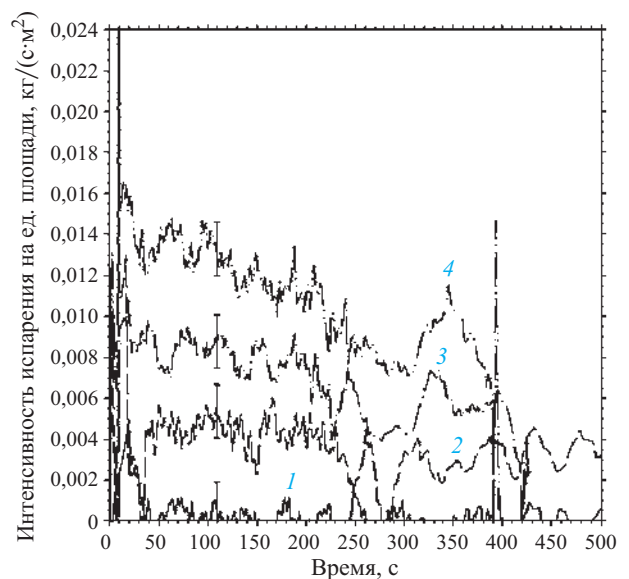


Рис. 6. Интенсивность испарения пены на единицу площади при уровнях теплового потока, кВт/м^2 : 1 — 0; 2 — 20; 3 — 35; 4 — 50. Начальная масса пены в эксперименте $m_0'' = (14,4 \pm 0,95) \text{ кг/м}^2$; глубина слоя пены $h_0 = 75 \text{ мм}$; кратность пены $K = 5,7 \pm 0,3$; топливо — авиационный керосин при 20°C

интенсивность испарения находится в линейной зависимости от уровня теплового потока.

На рис. 7 представлены показатели интенсивности утечки/впитывания пены при интенсивности теплового потока от 0 до 50 кВт/м^2 . Все испытания начинались со значений около 15 кг/м^2 , с интенсивностью синерезиса пены около $0,04 \text{ кг/(с} \cdot \text{м}^2)$

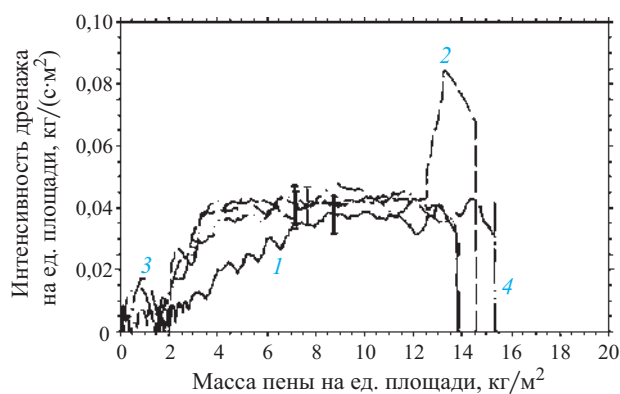


Рис. 7. Зависимость интенсивности синерезиса пены на единицу площади от времени при уровнях теплового потока, кВт/м²: 1 — 0; 2 — 20; 3 — 35; 4 — 50; $m_0'' = (14,4 \pm 0,95)$ кг/м²; $h_0 = 75$ мм; $K = 5,7 \pm 0,3$; топливо — авиационный керосин при 20°C

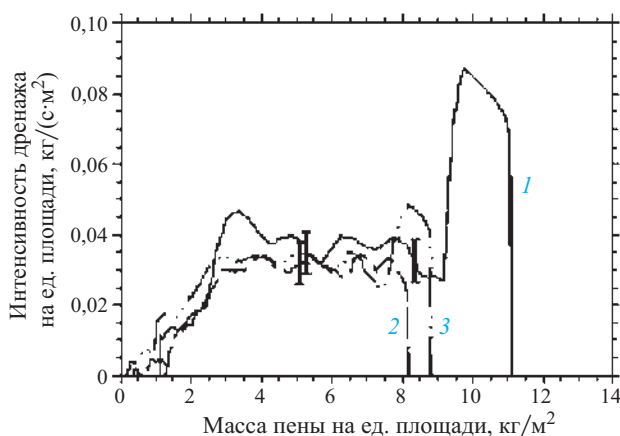


Рис. 8. Сравнительные данные интенсивности синерезиса пены на единицу площади с использованием: 1 — только пены; 2 — пены на горючем при 20°C; 3 — пены на горючем при 100°C; $m_0'' = (9,3 \pm 1,8)$ кг/м²; $h_0 = 50$ мм; $K = 5,7 \pm 0,4$; интенсивность теплового излучения $q'' = 20$ кВт/м²

и ниже, примерно до 8 кг/м². Скачок кривых при 20 кВт/м² был вызван неисправностью электромагнитного дренажного клапана в начале эксперимента. Интенсивность дренажа при испытаниях без нагрева снижалась после 8 кг/м², тогда как все испытания с нагревом показывали одинаковое поведение. По-видимому, все использованные уровни теплового излучения влияют на пену сходным образом, в то время как сама пена без нагрева ведет себя по-разному. Одно из возможных объяснений такого явления состоит в том, что пенный раствор при всех уровнях теплового излучения нагревается до 100°C и пониженная вследствие этого вязкость раствора поддерживает высокую интенсивность дренажа.

На рис. 8 изображены результаты трех испытаний: без горючей жидкости, с горючей жидкостью

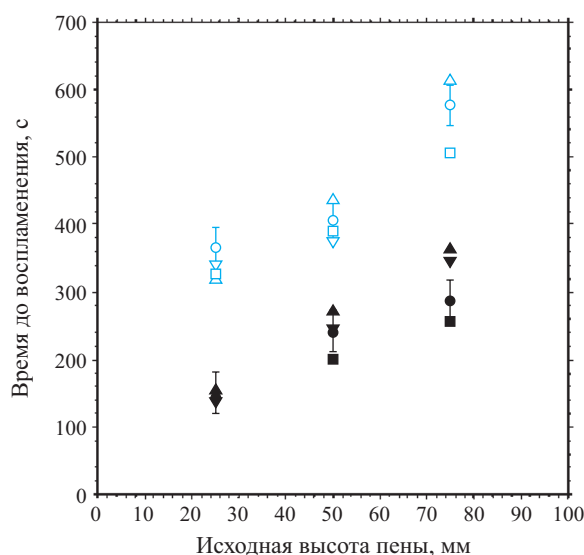


Рис. 9. Время до воспламенения топлива — авиационно-го керосина. Разомкнутые отрезки соответствуют опытам при 20 кВт/м², замкнутые — при 50 кВт/м²: ○ — $K = 3,3$ с JP-5 при 20°C; □ — $K = 9,7$ с авиационным керосином при 20°C; △ — $K = 6,0$ с авиационным керосином при 20°C; ▽ — $K = 6,0$ с авиационным керосином при 100°C

при 20°C и с горючей жидкостью при 100°C. После первоначальной стабилизации данных в начале испытаний интенсивность синерезиса пены становится постоянной во всех трех опытах примерно при 0,04 кг/(с·м²). По-видимому, горючая жидкость не оказывает сколько-нибудь ощутимого влияния на интенсивность синерезиса и разрушения пены, по крайней мере, при данных экспериментальных условиях.

На рис. 9 представлены данные о времени, требуемом для устойчивого воспламенения горючей жидкости. Это можно было бы рассматривать как еще один опыт по измерению стойкости к повторному возгоранию, но при весьма отличных условиях нагрева от используемых в стандартных испытаниях пенных растворов. По этим данным можно сделать несколько наблюдений. При 50 кВт/м² время до воспламенения с 25-мм слоем пены кратностью 3,3 (150 с) значительно меньше, чем время до воспламенения для 75-мм слоя пены кратностью 9,7 (260 с), хотя для получения обоих слоев потребовалось одинаковое количество пенного раствора.

Приведенные данные не показывают большой зависимости от исходной температуры топлива возможно потому, что даже топливо с исходной температурой 20°C нагревается через пенный покров до 100°C прежде, чем вспыхнуть, и/или потому, что топливо с температурой 100°C могло охладиться при первом нанесении пены.

Воспламенение топлива в основном происходило при остаточной массе пены около $0,8 \text{ кг/м}^2$, когда слой пены был еще различим, во всех условиях испытаний. Опыты показали, что пена плотно прилипала краями к стенкам чаши, и воспламеняющееся топливо должно было проникнуть через слой пены.

Выводы

Из анализа полученных данных видно, что k_e составлял около $0,0002 \text{ кг/(кВт}\cdot\text{с)}$ при значениях теплового потока в диапазоне от 20 до 50 кВт/м^2 . Эта величина не зависела от кратности пены, толщины ее слоя, а также от присутствия горючей жидкости. Если мы сможем оценить уровень теплового потока на поверхности и в слое пены, то можно будет вычислить потери на испарение.

Для использованной в эксперименте пены выявлена зависимость величины синерезиса пены и ее кратности, но не от уровня теплового потока или присутствия горючей жидкости, имеющей темпера-

туру окружающей среды или подвергнутой нагреву. В то же время интенсивность синерезиса пены без теплового облучения была ниже, чем при уровнях облучения 20 кВт/ч^2 или выше.

Выявлена способность быстрого и значительного проникновения тепла через пенный слой. Оно способно оказать разрушающее воздействие на структуру пены, а также на начало процесса нагревания горючей жидкости. Это может быть особенно серьезно в случае, если точка кипения топлива ниже точки кипения воды — тогда топливо может закипеть даже под слоем пены. Отмечено также, что топливо переходило к устойчивому воспламенению при остаточной массе пены около $0,8 \text{ кг/м}^2$.

Установка, разработанная в ходе настоящего исследования, оказалась способной предоставлять поддающиеся количественному учету данные об огнетушащей эффективности пены. Эти данные позволяют лучше понять механизмы огнетушащего действия пены и вносят свой вклад в моделирование процессов пенного пожаротушения.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Dominiak, Mary F.** EPA Activities / Issues on Fluorosurfactants (Исследования и публикации Управления по охране окружающей среды в связи с поверхностно-активными веществами) / *William H. Ruppert* // U. S. Environmental Protection Agency, DoD Fire & Emergency Services Workgroup, January 23–24, 2001.
2. **Ruppert, William H.** The Environmental Impacts of AFFF (Воздействие AFFF на окружающую среду) / *William H. Ruppert, Daniel P. Verdonik* // AETWC 2001, AFFF and the Environment Technical Working Conference, Technical Program and Presentation Abstracts, Panama City, Florida, October 16–18, 2001.
3. **Hanauska, C. P.** The Suppression of Vapors from Flammable Liquids with Stabilized Foam (Сдерживание выделения паров горючей жидкостью при помощи стабилизированной пены) / *C. P. Hanauska* // A Thesis Submitted to the Faculty of the Worcester Polytechnic Institute, Massachusetts, December 1988 and Fall Meeting of the American Petroleum Institute Committee on Safety and Fire Protection, Seattle, WA, September 18–21, 1989.
4. **Hanauska, C. P.** Improved Formulations of Firefighting Agents for Hydrocarbon Fuel Fires (Усовершенствованные рецептуры огнетушащих составов для пожаротушения углеводородных топлив) / *C. P. Hanauska, J. L. Scheffey, R. J. Roby* [et al.] // SBIR Phase I Report, December 1993.
5. **Persson, B.** FOAMSPEX — Large Scale Foam Application-Modelling of Foam Spread and Extinguishment (FOAMSPEX — Модельные исследования способности пены к распространению и огнетушащей способности в крупномасштабном пожарном испытании) / *B. Persson, A. Lonnermark, H. Persson* [et al.] // SP Report 2001:13, Fire Technology, Boras 2001.
6. **Lattimer, B. Y.** Behavior of Aqueous Film Forming Foams (AFFF) Exposed to Radiant Heating (Поведение пленкообразующих огнетушащих пен при их нагреве источником тепловой радиации) / *B. Y. Lattimer, Ch. P. Hanauska, J. L. Scheffey* [et al.] // NRL Report Ser. 6180, November 15, 1999.

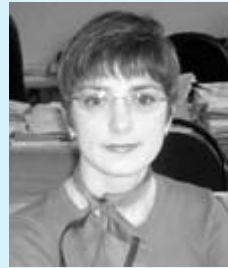
Поступила в редакцию 20.05.08.



Д-р техн. наук, профессор ОрелГТУ
Ю. Х. Поландов



Аспирант ОрелГТУ
М. А. Барг



Канд. техн. наук, доцент ОрелГТУ
С. А. Власенко

001.891.573:536.436

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕСТА УСТАНОВКИ ВЗРЫВНОГО КЛАПАНА НА ДАВЛЕНИЕ ВЗРЫВА В ГАЗОВЫХ ТОПКАХ

Вопрос влияния места установки взрывного клапана на давление взрыва в защищаемом объеме до сих пор не ставился. Однако, как показано в статье, такое влияние для топков, работающих на газовом топливе, оказывается существенным, хотя и неоднозначным. Его характер во многом зависит, в частности, от диаметра проходного сечения клапана.

При проведении экспериментов использовалась установка “Сержант-1” (рис. 1), представляющая собой модель однопроходной цилиндрической топки (длина рабочей полости — 1500 мм, диаметр — 200 мм) с тремя расположенными вдоль главной оси фланцами для моделирования различных положений взрывного клапана. Установка комплектуется набором крышек к фланцам для моделирования взрывных клапанов с различными диаметрами проходного отверстия. Для заполнения установки воздухом, топливом, а также для сброса

продуктов сгорания она оборудована запорными кранами. Вентиляционный контур служит для перемешивания топливно-воздушной смеси внутри установки с помощью бесколлекторных (безискровых) вентиляторов. Контур отсекается от рабочей полости при помощи запорных кранов.

В качестве топлива использовалась смесь пропан-бутана с воздухом. В роли дозатора горючего выступал тонкий резиновый шар, способный к расширению под воздействием заполняющего его газа. Объем подаваемого газа оценивался по диаметру шара. Воспламенение топливно-воздушной смеси производилось при помощи искрового устройства зажигания, расположенного в центре одного из оснований цилиндра.

Для получения и обработки экспериментальных данных была создана информационно-измерительная система (ИИС) на базе персонального компьютера. В экспериментах измерение давления внутри рабочей полости установки производилось в двух точках в разных концах цилиндра. Для этого использовались преобразователи давления КРТ-СТ производства ЗАО “ОРЛЭКС” (г. Орел), основанные на тензометрическом методе измерения. Для преобразования аналогового сигнала, получаемого с выхода преобразователей, в цифровой код применялась аналогово-цифровая плата ЛА-2USB-14 производства ЗАО “Руднев – Шиляев” (г. Москва).

Влияние места установки клапана исследовалось при различных диаметрах его проходного отверстия: 20, 30, 40 и 70 мм. На рис. 2 и 3 представлены характерные кривые динамики давления при

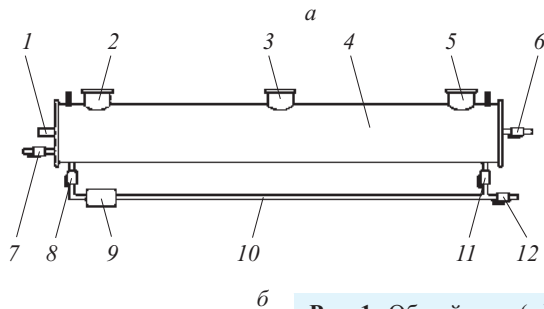


Рис. 1. Общий вид (а) и схема конструкции установки “Сержант-1” (б): 1 — устройство зажигания; 2 — фланец 1; 3 — фланец 2; 4 — рабочая полость; 5 — фланец 3; 6, 7, 8, 11, 12 — запорный кран; 9 — вентиляционный блок; 10 — циркуляционный контур; P_1, P_2 — преобразователи давления

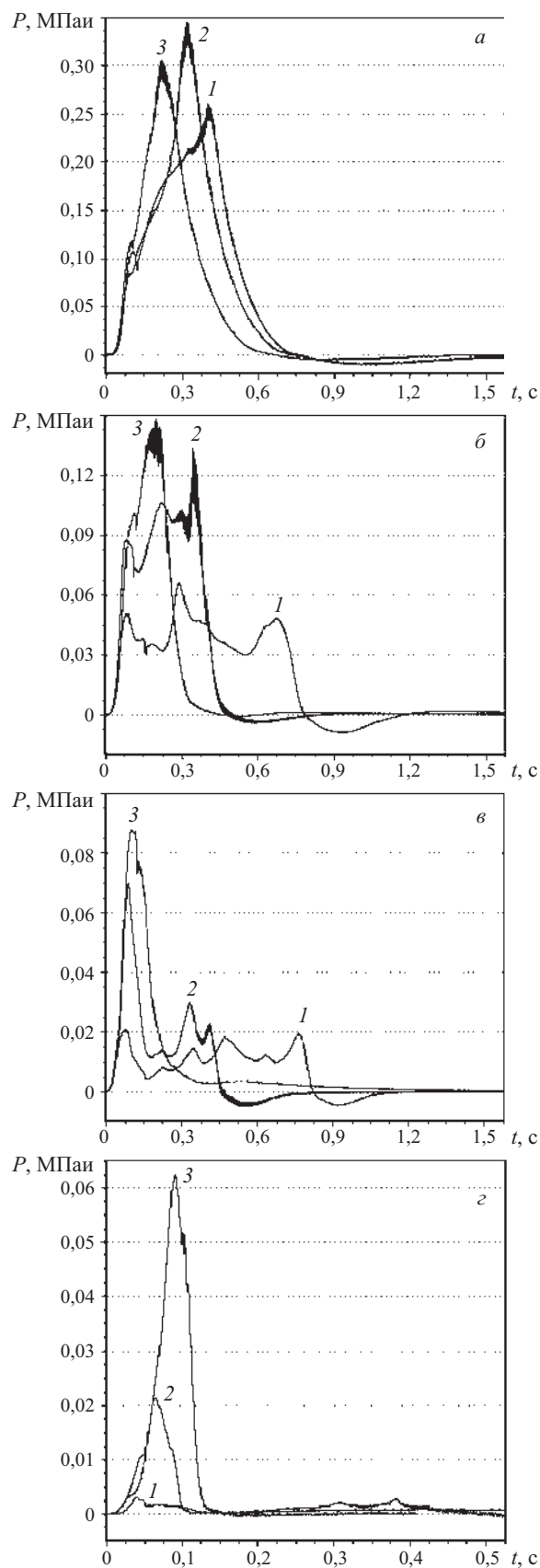


Рис. 2. Динамика давления в рабочей полости установки при изменении места установки клапана при диаметре его проходного отверстия, равном 20 (а), 30 (б), 40 (в) и 70 мм (г): 1 — фланец 1; 2 — фланец 2; 3 — фланец 3

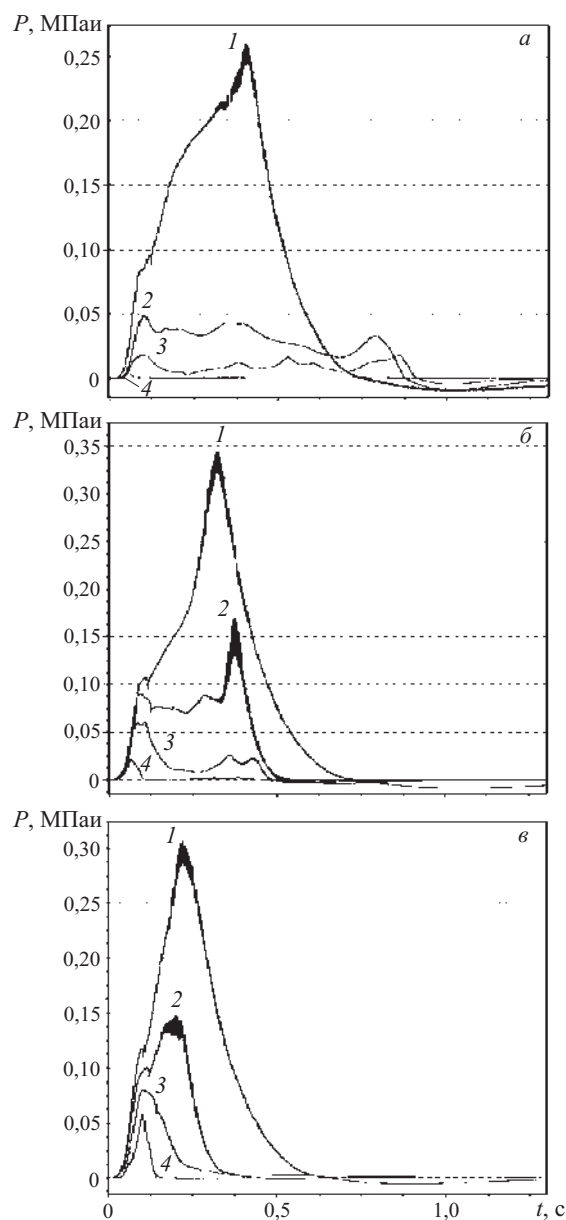


Рис. 3. Динамика давления в рабочей полости установки при диаметре клапана, равном 20 (1), 30 (2), 40 (3) и 70 мм (4): а — фланец 1; б — фланец 2; в — фланец 3

различных диаметрах и положениях взрывного клапана. По ним можно отметить, что процессы, происходящие при воспламенении смеси, имеют достаточно сложный характер.

С точки зрения безопасности наибольший интерес во время взрыва представляли значения максимально достигнутого давления внутри рабочей полости установки. С учетом этого по экспериментальным данным для каждого диаметра проходного отверстия клапана было записано уравнение линейной среднеквадратичной регрессии:

$$P_{\max}(\tilde{l}) = k\tilde{l} + b, \quad (1)$$

где P_{\max} — максимальное значение давления, зарегистрированное во время опыта, Па;

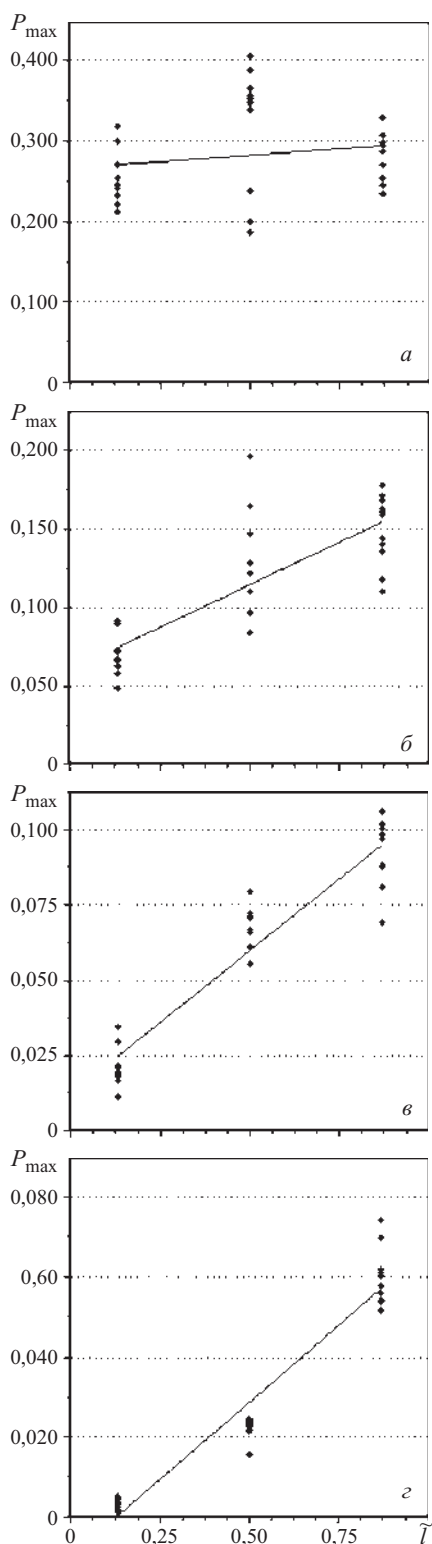


Рис. 4. Максимальные значения давления в зависимости от места установки клапана при диаметре его проходного отверстия, равном 20 (а), 30 (б), 40 (в) и 70 мм (г) (точки — эксперимент, линия — регрессия)

$\tilde{l} = l/L$ — относительное удаление клапана от источника воспламенения;
 l — расстояние от центра клапана до источника воспламенения, м;

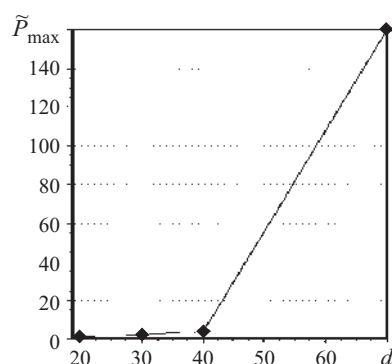


Рис. 5. Относительный прирост максимального давления в зависимости от диаметра клапана

L — длина рабочей полости установки, м;
 k, b — коэффициенты уравнения линейной регрессии.

Значения \tilde{l} принимались равными 0,133, 0,5 и 0,867 для фланцев 1, 2 и 3 соответственно. Результаты регрессионного анализа представлены на рис. 4, где хорошо виден рост максимального давления при удалении клапана от источника зажигания. В то же время можно заметить, что величина изменения давления при перемещении клапана из положения $\tilde{l} = 0$ в положение $\tilde{l} = 1$ зависит от диаметра клапана. Для оценки этой зависимости предлагается удобным использовать величину относительного прироста давления (2), которая показывает, во сколько раз изменилось давление при перемещении клапана с фланца 1 на фланец 3:

$$\tilde{P}_{\max} = [P_{\max}(0,133)]/[P_{\max}(0,867)]. \quad (2)$$

На рис. 5 приведены значения \tilde{P}_{\max} , полученные для исследованных диаметров клапана (точки соединены линиями для наглядности). Основываясь на этих данных, можно утверждать, что влияние места расположения клапана на давление взрыва возрастает с увеличением диаметра проходного отверстия.

Приняв во внимание допустимое давление при воспламенении смеси, равное 0,1 МПа, можно получить, что согласно приложению ГОСТ 12.1.004–91 “Пожарная безопасность. Общие требования” диаметр взрывного клапана для установки “Сержант-1” должен быть не менее 0,061 м. Поэтому полученные в ходе экспериментов выводы для диаметра 0,07 м прямо относятся к клапанам, рекомендованным стандартом.

Вывод. Для клапанов, имеющих размеры в соответствии с ГОСТ 12.1.004–91, место установки на ограждении топки является существенным фактором, влияющим на давление взрыва: с удалением от места возможного воспламенения смеси эффективность взрывного клапана снижается.

Поступила в редакцию 16.04.08.



Канд. техн. наук, начальник научно-исследовательской лаборатории «Пожарная безопасность» Тольяттинского военного технического института
Н. Н. Старков



Начальник учебной лаборатории кафедры «Пожарно-профилактических дисциплин» Тольяттинского военного технического института
А. А. Костин



Младший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории «Пожарная безопасность» Тольяттинского военного технического института
С. В. Иванин

УДК 614.844.1

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОПРОСОВ ПРИМЕНЕНИЯ ТВЕРДОЙ ДВУОКИСИ УГЛЕРОДА В КАЧЕСТВЕ ОГНЕТУШАЩЕГО ВЕЩЕСТВА ДЛЯ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

Проведены теоретические расчеты по определению огнетушащей концентрации твердой двуокиси углерода, а также исследования огнетушащих свойств твердой двуокиси углерода на лабораторных установках.

В настоящее время в области пожаротушения разрабатываются все новые образцы огнетушащих веществ, методы и технические средства их доставки в очаг пожара. Все больший интерес проявляется к составам на основе инертных газов — азота, аргона, а также двуокиси углерода и других добавок.

Двуокись углерода в газообразном состоянии — это углекислый газ, по масштабам применения в пожаротушении стоящий на третьем месте после воды и пены. Он обладает рядом положительных свойств, делающих его незаменимым для защиты таких объектов, как вычислительные центры, архивы, музеи и другие помещения с дорогостоящим и ценным оборудованием. При этом одним из недостатков систем газового тушения, использующих углекислый газ, является необходимость создания высоких огнетушащих и флегматизирующих концентраций и вызванная этим потребность в большом количестве баллонов для применения и хранения газа. Газовые установки не могут использоваться для защиты резервуаров с нефтепродуктами, тушения газонефтяных фонтанов и других открытых пожаров. Данные недостатки отсутствуют при применении двуокиси углерода в твердом виде.

Основные положительные свойства твердой двуокиси углерода:

- является экологически чистым веществом, не обладающим озоноразрушающим эффектом;

- может обеспечить тушение пожаров без отключения электроэнергии;
- применение твердой двуокиси углерода безвредно к объекту тушения, не наносит повреждений имуществу, оборудованию и зданиям в процессе тушения;
- пригодна для защиты дорогостоящего электрооборудования под напряжением;
- не оказывает коррозионного действия на элементы радиоэлектронной аппаратуры;
- по сравнению с традиционными огнетушащими составами твердая двуокись углерода не вносит дополнительных высокотоксичных вредных примесей в газовый состав помещений;
- не является дефицитным веществом, может производиться в непосредственной близости от работающей системы пожаротушения.

Целью научных исследований является изучение применения твердой двуокиси углерода как одного из наиболее перспективного огнетушащего вещества для тушения пожаров и обеспечения пожарной безопасности.

Расчет огнетушащей концентрации твердой двуокиси углерода

Исходя из теории прекращения горения, для тушения пламени достаточно снизить его температуру в зоне горения до 1000°C [1], что равносильно

поглощению 20% тепла, выделяющегося при горении в единицу времени. Тушение с помощью твердой двуокиси углерода целиком базируется на этой теории, хотя решение задачи снижения температуры пламени и уменьшения скорости тепловыделения в единичном объеме достигается различными способами в зависимости от химического строения и физических свойств молекул вещества.

Снижение температуры в зоне горения может быть достигнуто следующим:

- уменьшением концентрации горючего и кислорода в объеме за счет разбавления смеси нейтральным газом;
- передачей части теплоты от компонентов горючей смеси теплоемким молекулам огнетушащего вещества;
- передачей части теплоты на изменение агрегатного состояния огнетушащего вещества.

Независимо от механизма действия огнетушащего вещества тушение очага горения происходит при понижении температуры горючей смеси до температуры тушения $T_{туш}$, которая составляет 1280–1300 К [2].

В качестве математической модели для расчета концентрации твердой двуокиси углерода использовался математический аппарат, описанный в работах [1–3]:

$$\varphi_F = 100 \frac{Q_n / (1 + 4,76\beta) - C^o T^*}{Q_n / (1 + 4,76\beta) + (C - C^o) T^*}, \quad (1)$$

где φ_F — флегматизирующая концентрация огнетушащего вещества, %;

Q_n — низшая теплота сгорания горючего вещества (количество тепла, которое выделяется при полном сгорании вещества и при условии, что влага, содержащаяся в продуктах горения, находится в парообразном состоянии), кДж/моль;

β — коэффициент, стоящий перед окислителем в уравнении химической реакции горения;

C — мольная теплоемкость горючего, кДж/(моль·К);

C^o — мольная теплоемкость стехиометрической смеси, подлежащей тушению, кДж/(моль·К);

T^* — температура зоны реакции горения, К.

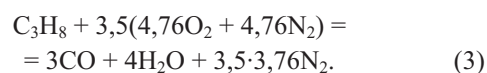
Формула (1) применяется для расчета минимальной флегматизирующей концентрации огнетушащего вещества (наименьшей концентрации огнетушащего вещества в смеси с горючим и окислителем, при которой смесь становится не способной к распространению пламени при любом соотношении горючего и окислителя). Но формула (1) применима только для газообразных огнетушащих веществ и не может быть использована для расчета концентрации твердых огнетушащих веществ.

Для расчета концентрации твердой двуокиси углерода в знаменатель формулы (1) добавили величину Q_F — количество теплоты, необходимое для сублимации твердой двуокиси углерода и нагрева испарившегося газа. Тогда формула (1) примет вид:

$$\varphi_F = 100 \frac{Q_n / (1 + 4,76\beta) - C^o T^*}{Q_n / (1 + 4,76\beta) + (C - C^o) T^* + Q_F}. \quad (2)$$

Если флегматизатор термически устойчив и не распадается в интервале температур до 1280 К, то величина Q_F в формуле (2) будет равна нулю, такой флегматизатор относится к категории нейтральных газов (НГ). Важно отметить, что при пожаре процесс окисления горючего завершается образованием продукта неполного окисления — оксида углерода, а не двуокиси.

Рассчитаем концентрацию углекислого газа при горении пропано-воздушной газовой смеси. В этом случае $Q_F = 0$. Учитывая, что горение идет с выходом СО и Н₂О, а не СО₂, запишем уравнение химической реакции горения:



Низшую теплоту сгорания горючего вещества Q_n необходимо рассчитывать по закону Гесса, при этом теплота образования СО составит 110 кДж/моль, Н₂О — 242 кДж/моль, С₃Н₈ — 103,9 кДж/моль [2]:

$$Q_n = \frac{\sum_{i=1}^k (\Delta H_{f_{n.e. i}} m_i) - \Delta H_{f_2} n_2}{n_2}, \quad (4)$$

где $\Delta H_{f_{n.e. i}}$, ΔH_{f_2} — стандартная теплота образования i -го продукта горения и горючего соответственно, кДж/моль;

n_2 и m_i — стехиометрические коэффициенты в уравнении реакции горения.

Низшая теплота сгорания горючего вещества С₃Н₈ составить:

$$\begin{aligned} Q_n = \frac{(110 \cdot 3 + 242 \cdot 4) - 103,9}{1} = \\ = 1194 \text{ кДж/моль}. \end{aligned} \quad (5)$$

Температура зоны реакции горения равна 1200 К. Мольная теплоемкость двуокиси углерода составит $C = 48$ Дж/(моль·К), стехиометрической смеси $C^o = 36,5$ Дж/(моль·К); $\beta = 3,5$. Тогда по форму-

ле (1) концентрация двуокиси углерода будет определяться следующим образом:

$$\varphi_F = 100 [1194/(1 + 4,76 \cdot 3,5) - 36,5 \cdot 10^{-3} \times \\ \times 1,2 \cdot 10^3] / [1194/(1 + 4,76 \cdot 3,5) + \\ + (48 - 36,5) \cdot 10^{-3} \times 1,2 \cdot 10^3] = 29 \% \text{ об.} \quad (6)$$

Согласно данным справочника [4] концентрация двуокиси углерода $\varphi_{\text{CO}_2} = 25\text{--}30\%$. Расчет дает хорошее совпадение со справочными значениями величины огнетушащей концентрации нейтрального газа (углекислоты).

Проведем расчет концентрации при применении для тушения пламени смеси *пропан – воздух* твердой двуокиси углерода. В этом случае $Q_F \neq 0$, поэтому для вычислений воспользуемся формулой (2).

$Q_F = Q_{F1} + Q_{F2}$ соответствует количеству теплоты, поглотившейся в зоне реакции горения при сублимации твердой двуокиси углерода, а также при нагреве этого газа до температуры окружающей среды или горения. Расчет будем вести при условии, что твердая двуокись углерода нагреется до температуры окружающей среды.

Теплота сублимации твердой двуокиси углерода равна 570,8 кДж/кг. Для того, чтобы получить разность кДж/моль, проведем преобразования:

$$\nu = \frac{m}{M} = \frac{1 \text{ кг}}{0,044 \text{ кг/моль}} = 22,72 \text{ моль.} \quad (7)$$

Тогда количество теплоты, поглотившейся в зоне реакции горения при сублимации твердой двуокиси углерода, составит:

$$Q_{F1} = \frac{570,8 \text{ кДж}}{22,72 \text{ моль}} = 25,12 \text{ кДж/моль.} \quad (8)$$

Количество тепла, необходимого для нагрева газа, можно определить по формуле [2]:

$$Q = V_g \rho_g c_{pg} \Delta T, \quad (9)$$

где V_g — объем подаваемого в зону горения газа, м³;
 ρ_g — плотность газа, кг/м³;
 c_{pg} — удельная теплоемкость газа, Дж/(кг·К);
 ΔT — разность температур подаваемого газа и зоны горения, К.

Тогда

$$Q_{F2} = [0,36 \text{ м}^3 \cdot 2,78 \text{ кг/м}^3 \cdot 48 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)} \times \\ \times 331,5 \text{ К}] / 22,72 \text{ моль} = 0,7 \text{ кДж/моль.} \quad (10)$$

Подставив полученное значение в формулу расчета огнетушащей концентрации (2), имеем:

$$\varphi_F = 100 \times \\ \times \frac{(1194/17,66) - 36,5 \cdot 10^{-3} \times 1,2 \cdot 10^3}{67,6 + (48 - 36,5) \cdot 10^{-3} \times 1,2 \cdot 10^3 + (25,12 + 0,7)} = \\ = 22,2 \% \text{ об.} \quad (11)$$

При сравнении концентрации двуокиси углерода и твердой двуокиси углерода видно, что согласно проведенным теоретическим исследованиям концентрация снижается на 6,8%. Это достигается благодаря передаче теплоты из зоны реакции горения на сублимацию твердой двуокиси углерода и нагрев образовавшегося газа. Результаты теоретических исследований показывают, что твердую двуокись углерода можно применять в контейнерах для тушения пожаров с помощью установки пожаротушения стволового типа.

Экспериментальные исследования

Проведенные исследования были направлены на получение экспериментальной зависимости между интенсивностью подачи твердой двуокиси углерода и временем тушения модельного очага. Полученные данные свидетельствуют о возможности выявления эффективности применения данного вещества при тушении пожаров, определения промежутка времени, через который можно будет создать концентрацию газа, делающую невозможным воспламенение, и количества твердой двуокиси углерода, необходимого для этой цели.

Исследования включали в себя два эксперимента.

Эксперимент № 1

В макете помещения 1 (огневая камера), выполненном из асбестовых плит и имеющем внутренние размеры 0,9×0,97×0,75 м, расположена емкость 8 с горючей жидкостью, пламя которой моделирует пожар (рис. 1). Емкость установлена равноудаленно от всех стен макета. По фасаду макет оборудован закрывающимся дверным проемом. Две стенки, расположенные напротив друг друга, имеют застекленные смотровые окна, предназначенные для наблюдения за процессом тушения.

Температура среды в объеме помещения контролируется с помощью двенадцати хромель-алюмелевых термопар 6, сигналы которых регистрируются мультиметром 7 (DT-838). Термопары расположены на различных уровнях по высоте и на разных расстояниях по ширине помещения, что позволяет получать более объективные данные изменения температуры в объеме помещения.

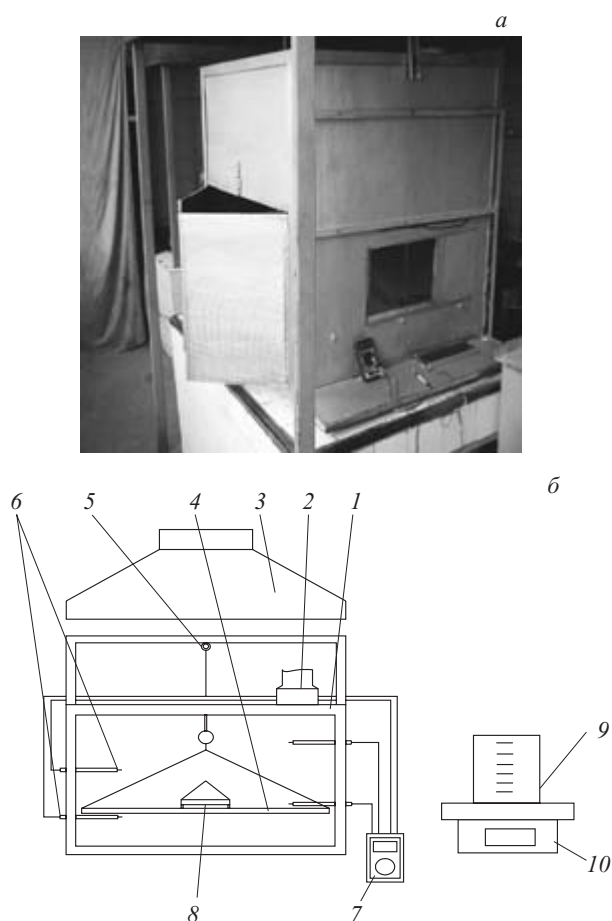


Рис. 1. Общий вид (а) и схема установки (б), используемой в эксперименте № 1: 1 — макет помещения; 2 — перекрывающийся вентиляционный канал; 3 — вытяжной зонд; 4 — подвесная платформа; 5 — динамометр; 6 — термопара; 7 — мультиметр (DT-838); 8 — емкость с горючей жидкостью; 9 — тарная емкость; 10 — электронные весы

Через перекрывающийся вентиляционный канал 2 модель помещения сообщается с принудительной вытяжной вентиляцией (вытяжной зонд 3). Установка также оборудована подвесной платформой 4, крепящейся к динамометру 5. Данное устройство позволяет, в случае необходимости, регистрировать массу твердой двуокиси углерода, поданной в процессе тушения. Для подачи твердой двуокиси углерода использовалась тарная емкость 9. Количество подаваемой углекислоты определялось с помощью электронных весов 10 (класс точности 0,0001 кг). Время потухания пламени модельного очага пожара фиксировалось секундомером.

Методика проведения испытания включает следующие процедуры.

В емкость площадью $10 \cdot 10^{-3}$, $15 \cdot 10^{-3}$ и $25 \cdot 10^{-3}$ м³ поочередно заливаются 0,002 м³ горючей жидкости — керосина ($\rho = 800$ кг/м³, $\lambda = 2,1$ кДж/(кг·К)). Открывается заслонка вытяжной системы вентиляции; воспламеняется керосин в емкости. Двери ог-

Таблица 1. Результаты эксперимента № 1

№ опыта	Масса твердой двуокиси углерода, г	$T_n, ^\circ\text{C}$	$T_{туш}, ^\circ\text{C}$	$t_{туш}, \text{с}$
<i>Площадь модельного пожара $10 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$</i>				
1	50	49,6	31,5	5
2	45	49,8	30,8	7
3	40	49,1	30,1	8
4	35	49,8	31,2	13
5	30	48,9	31,3	17
6	25	49,8	32,5	24
7	20	50,1	31,1	23
8	15	49,2	31,5	25
9	10	49,7	31,7	34
10	5	48,2	31,9	Отказ
<i>Площадь модельного пожара $15 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$</i>				
11	50	51,8	28,2	7
12	45	50,1	29,4	7
13	40	49,3	28,4	10
14	35	49,2	29,6	15
15	30	48,8	29,7	21
16	25	49,3	31,6	25
17	20	49,9	30,2	27
18	15	49,8	32,8	32
19	10	50,3	31,9	Отказ
20	5	50,2	32,2	Отказ
<i>Площадь модельного пожара $25 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$</i>				
21	50	47,9	29,2	8
22	45	49,2	29,4	9
23	40	49,2	29,6	11
24	35	50,3	29,2	16
25	30	51,8	29,7	20
26	25	50,2	30,4	27
27	20	48,2	30,6	35
28	15	49,1	29,6	Отказ
29	10	48,7	29,1	Отказ
30	5	49,9	30,4	Отказ

невой камеры закрыты. Для достижения установившегося режима горения и выхода кривой средней объемной температуры в камере на стационарный режим задается время свободного горения 3 мин. По прошествии этого времени с помощью термопар фиксируется температура в объеме макета — $T_n, ^\circ\text{C}$. Результаты эксперимента заносятся в табл. 1.

При проведении эксперимента в стеклянную оттарированную емкость засыпалось устанавливаемое количество твердой двуокиси углерода, масса

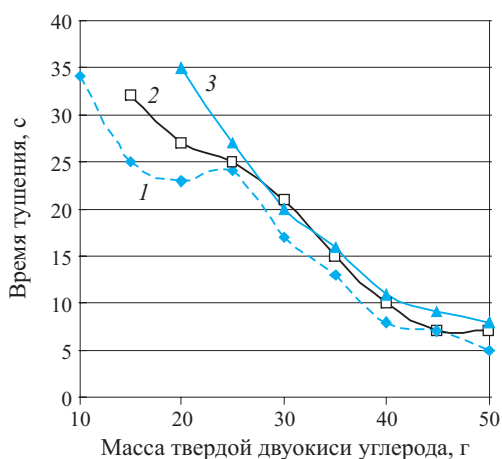


Рис. 2. Зависимость времени тушения модельного очага пожара от массы подаваемой твердой двуокиси углерода (по результатам серии экспериментов № 1) для емкостей площадью, м²: 1 — 0,0010; 2 — 0,0015; 3 — 0,0025

фиксирувалась с помощью электронных весов, первоначальная масса составляла 50 г, последующая масса уменьшалась на 5 г. Быстро открывалась дверь огневой камеры и в горящую емкость вбрасывалась твердая двуокись углерода, дверь закрывалась. Фиксировалось время тушения модельного очага пожара $t_{\text{туши}}$, с. С помощью прибора DT-838 регистрировались показания температуры внутри камеры на каждой из 12 термопар — $T_{\text{туши}}$, °С.

По результатам исследования получены экспериментальные кривые зависимости времени тушения от подаваемой массы твердой двуокиси углерода (рис. 2).

Эксперимент № 2

В модель цилиндрического стального резервуара 1 (рис. 3) заливается нефтепродукт 2, горение которого моделирует пожар. Диаметр резервуара составляет 0,48 м, высота — 0,42 м. В качестве горючего используются дизельное топливо и бензины марок А-76 и АИ-92. Высота сухого борта резервуара — не менее 5 см. Резервуар оборудован сливным краном 6, через который возможен слив нефтепродукта. После выхода горения на стационарный режим (время свободного горения составляет ~ 2–3 мин) для тушения очага подается твердая двуокись углерода.

По верхнему поясу резервуара располагается кольцо орошения 3, позволяющее охлаждать наиболее раскаленные участки борта во время проведения экспериментов. Вода на охлаждение подается из водопроводной сети. Экспериментальная установка располагается под воздухозаборником принудительной вытяжной вентиляции (на схеме не указано).

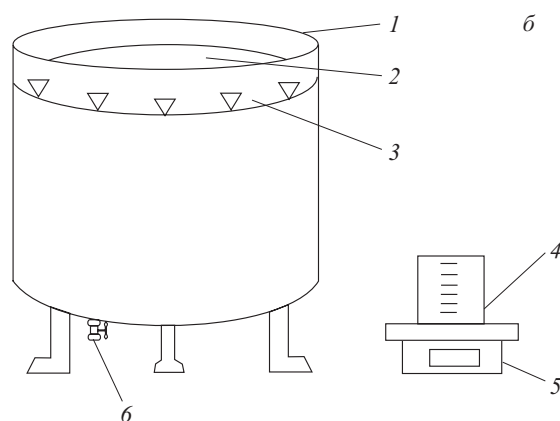


Рис. 3. Общий вид (а) и схема установки (б), используемой в эксперименте № 2: 1 — резервуар; 2 — нефтепродукт; 3 — кольцо орошения; 4 — тарная емкость; 5 — электронные весы; 6 — сливной кран

Для подачи твердой двуокиси углерода используется тарная емкость 4. Количество подаваемого огнетушащего вещества определяется с помощью электронных весов 5. Время потухания пламени модельного очага пожара фиксируется.

Необходимо отметить, что такие нефтепродукты, как бензин и дизельное топливо, являются многофракционными составами. При их горении в первую очередь происходит выгорание легких, низкокипящих фракций. Таким образом происходят фракционная “разгонка” жидкости и изменение ее фракционного состава. С течением времени массовая скорость выгорания такой жидкости уменьшается. Следовательно, снижается и критическая интенсивность подачи огнетушащего вещества на ее тушение. Поэтому для того, чтобы обеспечить воспроизводимость экспериментов, необходимо через каждые два тушения обновлять нефтепродукт.

Методика проведения испытания включает следующие процедуры.

В модель резервуара поочередно заливается дизельное топливо, бензины А-76 и АИ-92, нефтепродукт воспламеняют. Для достижения установивше-

Таблица 2. Результаты эксперимента № 2 (площадь модельного пожара — 0,18 м²)

Масса твердой двуокиси углерода, г	Дизельное топливо		Бензин А-76		Бензин АИ-92	
	№ опыта	$t_{туш}$, с	№ опыта	$t_{туш}$, с	№ опыта	$t_{туш}$, с
70	1	6	15	3	29	4
65	2	8	16	7	30	6
60	3	13	17	11	31	11
55	4	17	18	16	32	17
50	5	21	19	22	33	19
45	6	23	20	23	34	24
40	7	29	21	27	35	25
35	8	34	22	32	36	32
30	9	41	23	37	37	35
25	10	44	24	39	38	37
20	11	Отказ	25	Отказ	39	40
15	12	Отказ	26	Отказ	40	Отказ
10	13	Отказ	27	Отказ	41	Отказ
5	14	Отказ	28	Отказ	42	Отказ

гося режима горения задается время свободного горения 2 мин.

В стеклянную отгарированную емкость засыпается твердая двуокись углерода, масса фиксируется с помощью электронных весов, первоначально она составляет 70 г, в последующем масса уменьшается на 5 г. В модель резервуара с нефтепродуктом быстро вбрасывается твердая двуокись углерода, фиксируется время тушения $t_{туш}$, с. Результаты эксперимента № 2 занесены в табл. 2.

Как и после выполнения эксперимента № 1 построены графики изменения времени тушения в зависимости от массы твердой двуокиси углерода (рис. 4).

На основе результатов экспериментальных исследований определена наименьшая масса огнетушащего вещества, необходимая для прекращения горения условных пожаров. Из графика зависимо-

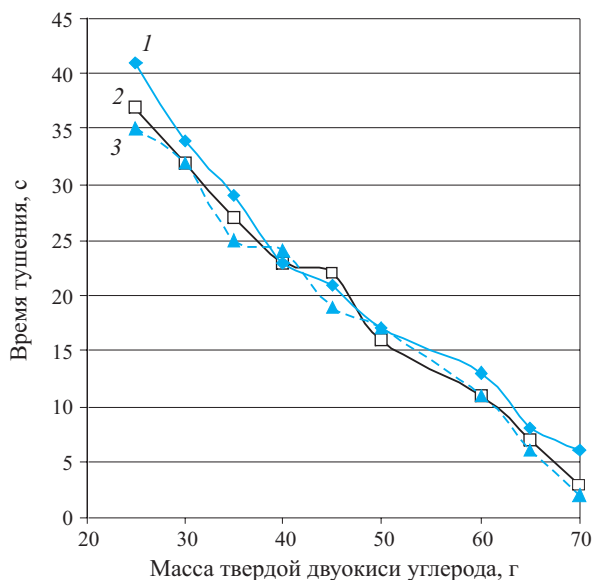


Рис. 4. Зависимость времени тушения модельного очага пожара от массы подаваемой твердой двуокиси углерода (по результатам серии экспериментов № 2): 1 — дизельное топливо; 2 — бензин А-76; 3 — бензин АИ-92

сти времени тушения модельного очага пожара от массы подаваемой твердой двуокиси углерода видно, что время тушения уменьшается с увеличением массы огнетушащего вещества.

Выводы

1. Теоретические расчеты огнетушащей концентрации твердой двуокиси углерода показывают ее применимость в качестве огнетушащего вещества для тушения пожаров в ограждениях.
2. Эксперименты подтверждают, что твердую двуокись углерода можно эффективно использовать в качестве огнетушащего вещества для ликвидации возгорания как в ограждениях, так и на открытых пространствах. Данное вещество может применяться для тушения всех классов пожаров, за исключением пожаров, связанных с горением металлов.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Абдурагимов, И. М.** Процессы горения / И. М. Абдурагимов. — М.: ВИПТШ, 1984. — 383 с.
2. **Абдурагимов, И. М.** Физико-химические основы развития и тушения пожаров / И. М. Абдурагимов, В. Ю. Говоров, В. Е. Макаров. — М.: ВИПТШ МВД СССР, 1980. — 255 с.
3. **ГОСТ 12.1.044–89***. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.
4. **Теребнёв, В. В.** Справочник руководителя тушения пожара. Тактические возможности пожарных подразделений / В. В. Теребнёв. — М.: ПожКнига, 2004. — 248 с.

Поступила в редакцию 16.04.08.



Д-р техн. наук, д-р воен. наук, профессор, заслуженный работник Высшей школы РФ, начальник Санкт-Петербургского университета (СПбУ) ГПС МЧС РФ

В. С. Артамонов



Канд. техн. наук, доцент Санкт-Петербургского университета (СПбУ) ГПС МЧС РФ

О. В. Груданова



Д-р техн. наук, профессор, профессор Санкт-Петербургского университета (СПбУ) ГПС МЧС РФ

А. А. Таранцев

УДК 614.84

УТОЧНЕННЫЙ ПОРЯДОК РАСЧЕТА ОДНОУРОВНЕВЫХ РАЗВЕТВЛЕННЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Изложен математически точный порядок гидравлического расчета разветвленных одноуровневых сетей автоматических установок пожаротушения с жидкими огнетушащими веществами.

Введение

Значительное место в системе обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений занимают автоматические установки пожаротушения (АУПТ) с жидкими огнетушащими веществами (ОТВ) — водой и растворами пенообразователя. АУПТ предназначены, с одной стороны, для тушения пожара на начальной стадии или задержки его развития до прибытия пожарных подразделений, с другой — не должны расходовать излишнего количества ОТВ, чтобы не увеличивать стоимость, а при пожаре — не наносить дополнительно ущерба другим (как правило, нижележащим) помещениям, которые могут находиться в собственности у третьих лиц.

В настоящее время в России гидравлический расчет АУПТ проводится в соответствии с методикой, изложенной в рекомендуемом Приложении 2* НПБ 88–2001* [1]. Ее основные положения применительно к дренчерным и спринклерным АУПТ разработаны еще в 30-х годах прошлого века профессором В. Г. Лобачевым и Н. А. Тарасовым-Агалаковым, а затем развиты в работах Е. Н. Иванова, Н. М. Антонова, В. Ф. Ходакова и др. Достаточная простота, доступность и апробированность методики позволили ей “дожить” и до наших дней, войдя в ныне действующие НПБ 88–2001*.

Тем не менее к началу XXI века все более заметными становятся недостатки методики [1]:

- значительная погрешность гидравлических расчетов — местные сопротивления учитываются

путем увеличения на 20% (!) потерь давления на линейных участках трубопровода;

- повышенный расход ОТВ из вскрывшихся оросителей за исключением диктующего;
- расчетная рабочая точка не всегда совпадает с напорно-расходной характеристикой (НРХ) насоса;
- расход ОТВ через ороситель, являющийся местным гидравлическим сопротивлением, учитывается через коэффициент производительности оросителя k , имеющий весьма странную физическую размерность $[л/(с \cdot м^{0,5})]$, не соответствующую системе СИ;
- потери напора на узле управления, также являющиеся местным гидравлическим сопротивлением, учитываются через коэффициент e с физической размерностью $[м \cdot с^2/л^2]$, не соответствующей системе СИ;
- потери напора на линейных участках трубопровода учитываются через некоторый коэффициент k_1 с размерностью $[л^2/с^2]$, значения которого приведены *только* для стальных сварных и водогазопроводных труб.

В то же время значительное развитие получают компьютерные методы гидравлического расчета АУПТ (например, SprinkCAD 3D). При всех достоинствах они также не лишены ряда недостатков:

- высокая стоимость лицензионной версии программы;
- необходимость прохождения обучения пользователей у производителя программного продукта;

- “непрозрачность” расчетов (для сравнения: результаты расчетов по методике [1] могут быть на любом этапе проверены специалистами контролирующих органов);
- сложность адаптации зарубежных программ к отечественным единицам измерения и необходимость создания собственных баз данных по оборудованию и материалам;
- отсутствие российской лицензии.

Таким образом, актуальным представляется предложение такого порядка гидравлического расчета одноуровневых разветвленных сетей АУПТ, который был бы более точным, чем методика [1], но сохранил бы ее достоинства.

1. Моделирование напорного течения жидкости в одноуровневом тупиковом трубопроводе

Одноуровневый тупиковый трубопровод (рис. 1, а) является основной частью гидравлической сети АУПТ, так как может относиться и к питающему, и к распределительному трубопроводу с оросителями. Для моделирования движения жидкости (ОТВ) в нем примем следующие допущения:

- жидкость несжимаемая с плотностью ρ ;
- потери давления Δp при течении жидкости подчинены квадратичному закону [2]:

$$\Delta p = A Q^2, \quad (1.1)$$

(Q — объемный расход, A — коэффициент сопротивления), имеющему место при турбулентном течении (больших числах Рейнольдса), что характерно для пожарной автоматики [3];

в) известна НРХ источника жидкости (насоса, магистрального трубопровода, сети водоснабжения) в виде зависимости $p_u(Q)$;

г) в дальнейшем будет рассматриваться гидравлическая схема, когда источник жидкости и трубопровод расположены на разных уровнях, различающихся на величину h , а сам трубопровод одноуровневый (по своей длине не имеет значимых перепадов высот), является тупиковым и имеет N отводов (рис. 1, а) — это питающий трубопровод АУПТ или распределительный трубопровод (рядок) с оросителями [1], либо тупиковая сеть [4], либо рукавная линия [5].

Коэффициент сопротивления A в выражении (1.1) учитывает линейные и местные гидравлические сопротивления на участке трубопровода между отводами или на самом отводе и может быть определен из выражения [6]:

$$A = 0,5\rho \sum_{u=1}^U \frac{(\zeta_{mu} + \zeta_{lu})}{F_u^2}, \quad (1.2)$$

где U — количество отрезков трубопровода, образующих рассматриваемый участок;

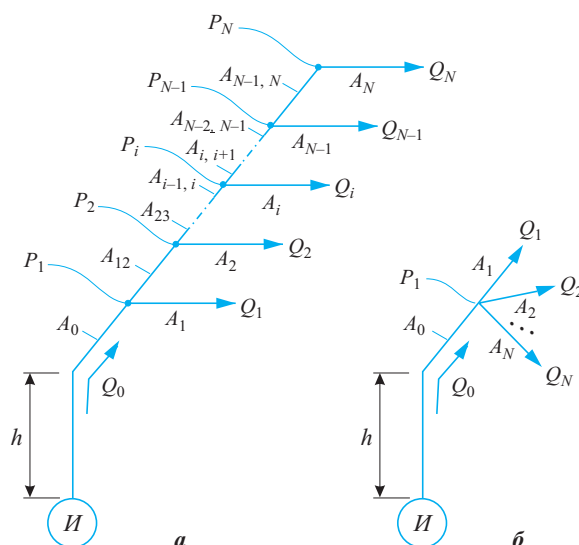


Рис. 1. Расчетная схема для тупикового трубопровода с N отводами (P_i — манометрическое давление в узлах, $И$ — источник ОТВ): а — общая схема; б — схема для веерной сети

ζ_{lu} — коэффициент линейного сопротивления на u -м отрезке;

ζ_{mu} — сумма коэффициентов местных сопротивлений [7] на u -м отрезке;

F_u — площадь проходного сечения трубопровода на u -м отрезке.

Величина ζ_{lu} для круглых труб находится по формуле [8]:

$$\zeta_{lu} = \frac{\lambda L}{d}, \quad (1.3)$$

где L, d — длина и диаметр трубы на u -м отрезке;

λ — коэффициент гидравлического трения, который при больших числах Рейнольдса зависит от отношения величины шероховатости δ внутренней стенки трубы к ее диаметру d и может быть определен по формуле Альтшуля [8]:

$$\lambda \approx 0,11 \left(\frac{\delta}{d} \right)^{0,25}. \quad (1.4)$$

Удобство использования коэффициента A в виде (1.2) в том, что он одновременно учитывает и плотность ОТВ, и местные сопротивления на участке, и различные виды труб (длина, диаметр, шероховатость внутренних стенок), образующих участок.

Нужно отметить, что гидравлические сопротивления оросителя, узла управления АУПТ и трубопровода заданы в методике [1] в неудобном для общепринятых гидравлических расчетов виде, что потребовало приведения их к стандартным местным [9] и линейным гидравлическим сопротивлениям.

С учетом выражения (1.1) для трубопровода, представленного на рис. 1, может быть записана система уравнений гидравлического баланса [6]:

$$p_u(Q_0) \pm \rho g \Delta h = A_3 Q_0^2; \quad (1.5)$$

$$A_i Q_i^2 - A_{i+1} Q_{i+1}^2 = A_{i,i+1} \left(\sum_{j=i+1}^N Q_j \right)^2, \quad i = 1, \dots, N-1, \quad (1.6)$$

где g — ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$; A_3 — эквивалентный коэффициент сопротивления трубопровода;

Q_i, A_i — объемный расход жидкости [$\text{м}^3/\text{с}$] в i -м отводе и его коэффициент сопротивления [$\text{кг}/\text{м}^7$]; $Q_0 = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_N$ — общий расход жидкости;

$A_{i,i+1}$ — коэффициент сопротивления участка между i -м и $i+1$ -м отводами.

Эквивалентный коэффициент сопротивления, как важнейшая обобщенная характеристика тупикового трубопровода, может быть определен из выражения [6]:

$$A_3 = A_0 + A_1 C^{-2}, \quad (1.7)$$

где A_0 — коэффициент сопротивления на участке между выходом из источника (насоса) и первым отводом;

C — коэффициент, зависящий от коэффициентов сопротивления отводов и участков между отводами.

Величина C находится по рекуррентному выражению:

$$C = \begin{cases} 1 \text{ при } N = 1 \\ 1 + \sum_{j=1}^N \prod_{i=1}^j \frac{R_i}{1 + R_{i+1}} \end{cases}, \quad (1.8)$$

где $R_i = \frac{1}{\sqrt{A_{i,i+1} + A_{i+1}(1 + R_{i+1})^{-2}}}$ при $i < N$;

$R_N = 0$.

В частном случае, когда сеть “веерная” (рис. 1, б), т.е. сопротивления участков отсутствуют ($A_{i,i+1} = 0$, $i = 1, \dots, N-1$) и все отводы выходят из одного узла, выражение (1.7) упрощается:

$$A_3 = A_0 + \left(\sum_{i=1}^N A_i^{-0,5} \right)^{-2}. \quad (1.9)$$

Приводя последовательно гидравлические сопротивления одноуровневых тупиковых трубопроводов с отводами к эквивалентным сопротивлениям, можно упростить и достаточно сложную гидравлическую сеть АУПТ, сведя ее к обобщенно-

му эквивалентному сопротивлению, что делает значительно легче решение задач *анализа* и *синтеза* гидравлической сети АУПТ.

Пример 1. На рис. 2 показано, как можно упростить типичную гидравлическую сеть АУПТ, содержащую питающий трубопровод с двусторонними рядками, включающими по два оросителя в левых ветвях и по три — в правых. Сначала левые и правые ветви, являющиеся тупиковыми трубопроводами с отводами (действующими оросителями), приводятся к парам веерных отводов (см. рис. 1, б при $N = 2$) на магистральном трубопроводе. Затем каждая пара приводится к одному отводу (см. рис. 2, б, в), в результате чего получается схема тупикового трубопровода, аналогичная представленной на рис. 1, а при $N = 5$. Такой трубопровод окончательно приводится к эквивалентному гидравлическому сопротивлению для источника жидкости (насоса).

Пример 2. Требуется привести левую ветвь 5-го ряда (см. рис. 2, а) с двумя ($N = 2$) действующими оросителями к эквивалентному гидравлическому сопротивлению $A_3 = A_{5Л}$.

Воспользуемся выражениями (1.7) и (1.8). Поскольку для данного случая $A_0 = A_{Л51}$, $A_1 = A_{5Л1}$, $A_{12} = A_{Л52}$, $A_2 = A_{5Л2}$, выражения (1.7) и (1.8) принимают соответственно вид:

$$A_{5Л} = A_{Л51} + A_{5Л1} C^{-2}; \quad (1.10)$$

$$C = 1 + \frac{R_1}{1 + R_2}. \quad (1.11)$$

В выражении (1.11) $R_2 = 0$, $R_1 = \sqrt{\frac{A_{5Л1}}{A_{Л52} + A_{5Л2}}}$.

Подобным образом можно найти коэффициенты сопротивления и других четырех левых ветвей.

Пример 3. Требуется привести правую ветвь 5-го ряда (см. рис. 2, а) с тремя ($N = 3$) действующими оросителями к эквивалентному гидравлическому сопротивлению $A_3 = A_{5П}$.

Воспользуемся выражениями (1.7) и (1.8). Поскольку для данного случая $A_0 = A_{П51}$, $A_1 = A_{5П1}$, $A_{12} = A_{П52}$, $A_2 = A_{5П2}$, $A_{23} = A_{П53}$, $A_3 = A_{5П3}$, выражения (1.7) и (1.8) принимают соответственно вид:

$$A_{5П} = A_{П51} + A_{5П1} C^{-2}; \quad (1.12)$$

$$C = 1 + \frac{R_1}{1 + R_2} + \frac{R_1 R_2}{(1 + R_2)(1 + R_3)}. \quad (1.13)$$

В выражении (1.13) $R_3 = 0$, $R_2 = \sqrt{\frac{A_{5П1}}{A_{П52} + A_{5П2}}}$,

$R_1 = \sqrt{\frac{A_{5П1}}{A_{П52} + A_{5П2}(1 + R_2)^{-2}}}$. Подобным образом

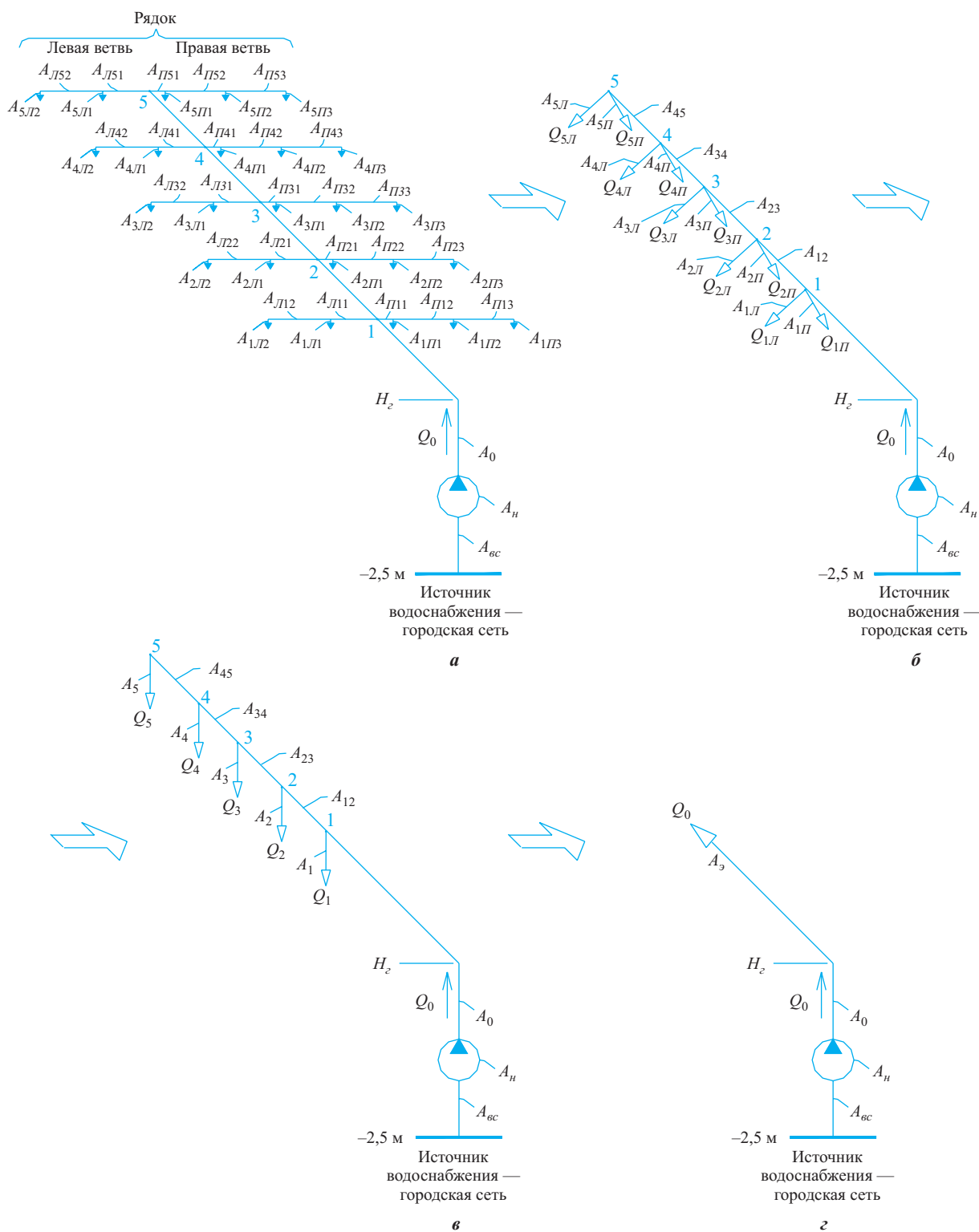


Рис. 2. Последовательность упрощения разветвленной оросительной сети АУПТ для приведения к эквивалентному гидравлическому сопротивлению (исходная (а), упрощенные (б, в) и эквивалентная (г) схемы)

можно найти коэффициенты сопротивления и других четырех правых ветвей.

Пример 4. Требуется привести правую и левую ветви 5-го рядка (см. рис. 2, б) к единому гидравлическому сопротивлению.

Поскольку эти ветви можно рассматривать как веерную схему (см. рис. 1, б) с двумя ($N = 2$) ветвями, выходящими из одного узла “5”, воспользуемся выражением (1.9), положив $A_3 = A_5$, $A_1 = A_{5П}$, $A_2 = A_{5Л}$:

$$A_5 = \left(\frac{1}{\sqrt{A_{5II}}} + \frac{1}{\sqrt{A_{5JI}}} \right)^{-2} = \frac{A_{5II}A_{5JI}}{(\sqrt{A_{5II}} + \sqrt{A_{5JI}})^2}. \quad (1.14)$$

Подобным образом можно найти коэффициенты сопротивления и других четырех рядков 1–4, приведя гидравлическую схему к виду, показанному на рис. 2, в или 1, а.

Пример 5. Требуется привести гидравлическую схему АУПТ (см. рис. 2) с пятью ($N = 5$) рядками с действующими оросителями к эквивалентному гидравлическому сопротивлению A_3 .

Воспользуемся выражениями (1.7) и (1.8), которые принимают соответственно вид:

$$A_3 = A_0 + \frac{A_1}{C^2}; \quad (1.15)$$

$$C = 1 + \frac{R_1}{1 + R_2} + \frac{R_1R_2}{(1 + R_2)(1 + R_3)} + \frac{R_1R_2R_3}{(1 + R_2)(1 + R_3)(1 + R_4)} + \frac{R_1R_2R_3R_4}{(1 + R_2)(1 + R_3)(1 + R_4)(1 + R_5)}. \quad (1.16)$$

В выражении (1.16) $R_5 = 0$, $R_4 = \sqrt{\frac{A_4}{A_{45} + A_5}}$,
 $R_3 = \sqrt{\frac{A_3}{A_{34} + A_4(1 + R_4)^{-2}}}$, $R_2 = \sqrt{\frac{A_2}{A_{23} + A_3(1 + R_3)^{-2}}}$,
 $R_1 = \sqrt{\frac{A_1}{A_{12} + A_2(1 + R_2)^{-2}}}$.

Таким образом, в примерах 2–5 показано, как можно свести достаточно сложную разветвленную гидравлическую сеть АУПТ (см. рис. 2, а) к одному эквивалентному гидравлическому сопротивлению (см. рис. 2, в). Знание величины A_3 позволяет из выражения (1.5) найти общий расход ОТВ Q_0 .

Пример 6. Требуется найти общий расход воды Q_0 при работе АУПТ, если известна НРХ источника — центробежного насоса, запитанного от городской сети противопожарного водоснабжения:

$$p_u(Q_0) = p_n + p_c - \rho gh_{bc} - (A_n + A_{bc})Q_0^2, \quad (1.17)$$

где p_n , A_n — характеристики насоса;
 p_c — давление в сети водоснабжения;
 h_{bc} — разница уровней между насосом и сетью водоснабжения;
 A_{bc} — коэффициент сопротивления всасывающей магистрали (величина h_{bc} и A_{bc} подобраны так, чтобы исключить кавитационный режим).

Решая совместно уравнения (1.5) и (1.17) с учетом того, что сеть АУПТ находится выше насоса (см. рис. 2), получаем:

$$Q_0 = \sqrt{\frac{p_n + p_c - \rho g(h + h_{bc})}{A_n + A_{bc} + A_3}}. \quad (1.18)$$

2. Задача анализа

Общая задача анализа гидравлической сети АУПТ состоит в нахождении расходов Q из вскрытых оросителей, если задана конфигурация (см., например, рис. 2, а), коэффициенты сопротивлений A и общий расход Q_0 . Частные задачи анализа могут сводиться к анализу тупиковых трубопроводов с отводами (см. рис. 1, а и 2, в), образующих общую гидравлическую сеть.

Применительно к тупиковым трубопроводам с N отводами для определения расходов $Q_1 - Q_N$ выведено выражение [6, 10]:

$$Q_i = \frac{Q_0 \Pi}{C}, \quad i = 1, \dots, N, \quad (2.1)$$

где $\Pi = \begin{cases} 1 & \text{при } i = 1 \\ \prod_{j=1}^{i-1} R_j(1 + R_{j+1})^{-1} & \text{при } i = 2, \dots, N \end{cases}$.

Для веерной схемы (см. рис. 1, б) выражение (2.1) значительно упрощается:

$$Q_i = Q_0 A_i^{-0,5} (A_1^{-0,5} + A_2^{-0,5} + \dots + A_N^{-0,5})^{-1}, \quad i = 1, \dots, N. \quad (2.2)$$

Пример 7. Для тупикового трубопровода с пятью ($N = 5$) отводами (см. рис. 2, в) известны коэффициенты сопротивления $A_0 = A_{12} = A_{23} = A_{34} = A_{45} = 0,9 \cdot 10^{10}$ кг/м⁷, $A_1 = 40 \cdot 10^{10}$ кг/м⁷, $A_2 = 25,6 \cdot 10^{10}$ кг/м⁷, $A_3 = 17,5 \cdot 10^{10}$ кг/м⁷, $A_4 = 13,9 \cdot 10^{10}$ кг/м⁷, $A_5 = 13,0 \cdot 10^{10}$ кг/м⁷ и подобран источник ОТВ, обеспечивающий общий расход $Q_0 = 5 \cdot 10^{-3}$ м³/с. Требуется найти расходы ОТВ из каждого отвода — Q_1, Q_2, Q_3, Q_4 и Q_5 .

Воспользуемся выражением (2.1), для чего сначала по формулам (1.8) и (1.16) найдем величину C , вычислив предварительно значения R :

$$R_5 = 0; \\ R_4 = [13,9 \cdot 10^{10} / (0,9 \cdot 10^{10} + 13,0 \cdot 10^{10})]^{0,5} = 1,0; \\ R_3 = [17,5 \cdot 10^{10} / (0,9 \cdot 10^{10} + 13,9 \cdot 10^{10}(1 + 1)^{-2})]^{0,5} = 2,0; \\ R_2 = [25,6 \cdot 10^{10} / (0,9 \cdot 10^{10} + 17,5 \cdot 10^{10}(1 + 2)^{-2})]^{0,5} = 3,0; \\ R_1 = [40 \cdot 10^{10} / (0,9 \cdot 10^{10} + 25,6 \cdot 10^{10}(1 + 3)^{-2})]^{0,5} = 4,0.$$

Тогда $C = 1 + 4(1 + 3)^{-1} + 4 \cdot 3[(1 + 3)(1 + 2)]^{-1} + 4 \cdot 3 \cdot 2[(1 + 3)(1 + 2)(1 + 1)]^{-1} + 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1[(1 + 3)(1 + 2)(1 + 1)(1 + 0)]^{-1} = 5,0$.

Затем вычислим величины Π :

$$\begin{aligned} \Pi_1 &= 1; \\ \Pi_2 &= 4/(1+3) = 1,0; \\ \Pi_3 &= 4 \cdot 3 / [(1+2)(1+3)]^{-1} = 1,0; \\ \Pi_4 &= 4 \cdot 3 \cdot 2 / [(1+1)(1+2)(1+3)]^{-1} = 1,0; \\ \Pi_5 &= 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1 / [(1+0)(1+1)(1+2)(1+3)]^{-1} = 1,0. \end{aligned}$$

Тогда:

$$\begin{aligned} Q_1 &= Q_0 \Pi_1 / C = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 1 / 5 = 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}; \\ Q_2 &= Q_0 \Pi_2 / C = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 1 / 5 = 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}; \\ Q_3 &= Q_0 \Pi_3 / C = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 1 / 5 = 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}; \\ Q_4 &= Q_0 \Pi_4 / C = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 1 / 5 = 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}; \\ Q_5 &= Q_0 \Pi_5 / C = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 1 / 5 = 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}. \end{aligned}$$

3. Задача синтеза

Задача синтеза гидравлической сети АУПТ может иметь несколько постановок. Рассмотрим следующую: пусть для тупикового трубопровода с отводами (см. рис. 1, а и 2, в) заданы требуемые расходы Q_1, \dots, Q_N , имеется источник ОТВ, обеспечивающий общий расход Q_0 , заданы коэффициенты сопротивлений между узлами $A_i, i+1$ и величины $A_0, p_n, p_c, \rho g(h+h_{вс}), A_n$ и $A_{вс}$. Нужно найти требуемые коэффициенты сопротивлений отводов A_1, \dots, A_N .

Величину A_1 определяем, исходя из равенства давления жидкости p_1 в первом узле:

$$\begin{aligned} p_1 &= A_0 Q_1^2 = p_u(Q_0) - A_0 Q_0^2 = \\ &= p_n + p_c - \rho g h_{вс} - (A_n + A_{вс} + A_0) Q_0^2. \end{aligned} \quad (3.1)$$

Из выражения (3.1) получаем:

$$A_1 = \frac{p_n + p_c - \rho g(h_{вс} - h) - (A_n + A_{вс} + A_0) Q_0^2}{Q_1^2}. \quad (3.2)$$

Остальные коэффициенты A_2, \dots, A_N вычисляются по выражениям:

$$A_i = \frac{A_{i-1} Q_{i-1}^2 - A_{i-1,i} \sum_{j=i}^N Q_j^2}{Q_i^2}, \quad i = 2, \dots, N. \quad (3.3)$$

Пример 8. Для тупикового трубопровода с пятью ($N = 5$) отводами (см. рис. 2, в) известны коэффициенты сопротивления $A_0 = A_{12} = A_{23} = A_{34} = A_{45} = 0,9 \cdot 10^{10} \text{ кг/м}^7$, заданы расходы из отводов (расходы рядков с действующими оросителями) $Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_4 = Q_5 = 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$, подобран источник ОТВ, обеспечивающий расход $Q_0 = 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$, и известны величины: $p_n + p_c - \rho g(h_{вс} + h) = 0,8 \cdot 10^6 \text{ Па}$, $A_n + A_{вс} = 0,7 \cdot 10^{10} \text{ кг/м}^7$.

Требуется найти коэффициенты сопротивления отводов (рядков) A_1, A_2, A_3, A_4 и A_5 . Для коэффициента A_1 непосредственно используется выражение (3.2), а для A_2, A_3, A_4 и A_5 выражения (3.3) преобразуются к виду:

$$\begin{cases} A_2 = A_1 Q_1^2 - A_{12} (Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5)^2 / Q_2^2 \\ A_3 = A_2 Q_2^2 - A_{23} (Q_3 + Q_4 + Q_5)^2 / Q_3^2 \\ A_4 = A_3 Q_3^2 - A_{34} (Q_4 + Q_5)^2 / Q_4^2 \\ A_5 = A_4 Q_4^2 - A_{45} Q_5^2 / Q_5^2 \end{cases} \quad (3.4)$$

Подставляя численные значения, из выражений (3.2) и (3.4) получаем:

$$\begin{aligned} A_1 &= [0,8 \cdot 10^6 - (0,7 \cdot 10^{10} + 0,9 \cdot 10^{10}) 10^{-6}] / 10^{-6} = \\ &= 40,0 \cdot 10^{10} \text{ кг/м}^7; \\ A_2 &= [40 \cdot 10^{10} \cdot 10^{-6} - 0,9 \cdot 10^{10} (10^{-3} + 10^{-3} + 10^{-3} + \\ &+ 10^{-3})^2] / 10^{-6} = 25,6 \cdot 10^{10} \text{ кг/м}^7; \\ A_3 &= [25,6 \cdot 10^{10} \cdot 10^{-6} - 0,9 \cdot 10^{10} (10^{-3} + 10^{-3} + \\ &+ 10^{-3})^2] / 10^{-6} = 17,5 \cdot 10^{10} \text{ кг/м}^7; \\ A_4 &= [17,5 \cdot 10^{10} \cdot 10^{-6} - 0,9 \cdot 10^{10} (10^{-3} + 10^{-3})^2] / 10^{-6} = \\ &= 13,9 \cdot 10^{10} \text{ кг/м}^7; \\ A_5 &= (13,9 \cdot 10^{10} \cdot 10^{-6} - 0,9 \cdot 10^{10} \cdot 10^{-6}) / 10^{-6} = \\ &= 13,0 \cdot 10^{10} \text{ кг/м}^7. \end{aligned}$$

Выводы

Таким образом, на основе изложенного материала становится возможной подготовка новой редакции некоторых разделов рекомендуемого Приложения 2* НПБ 88–2001* [1]. Приведенный порядок гидравлического расчета применим не только к сетям АУПТ, но и к наружным или внутренним сетям противопожарного водоснабжения, и к рукавным линиям, прокладываемым при тушении пожаров.

В дальнейшем представляется целесообразным рассмотреть вопросы, связанные с моделированием движения ОТВ по трубопроводам с перепадами высот и по закольцованным трубопроводам, а также с моделированием обобщенных НРХ при параллельном или последовательном включении насосов различной производительности.

Вопросы, касающиеся расчетов по Приложению 2* НПБ 88–2001* [1], обсуждались на Международной научно-практической конференции “Проблемы защиты населения и территорий от пожаров и катастроф”, проведенной 21 июня 2006 г. в Санкт-Петербургском университете ГПС МЧС России, и нашли соответствующий отклик.

ЛИТЕРАТУРА

1. **НПБ 88–2001***. Установки пожаротушения и сигнализации. Нормы и правила проектирования. Приложение 2* (рекомендуемое) “Методика расчета установок пожаротушения водой, пеной низкой и средней кратности”.

2. **Чугаев, Р. Р.** Гидравлика (техническая механика жидкости). Изд. 4-е, перераб. и доп. / Р. Р. Чугаев. — Л.: Энергоиздат, 1982.
3. **Бубырь, Н. Ф.** Пожарная автоматика. Изд. 3-е, перераб. и доп. / Н. Ф. Бубырь, В. П. Бабуров, В. И. Мангасаров. — М.: Стройиздат, 1984.
4. **Качалов, А. А.** Противопожарное водоснабжение / А. А. Качалов, А. Е. Кузнецова, Н. В. Богданова. — М.: Стройиздат, 1975.
5. **Иванников, В. И.** Справочник руководителя тушения пожара / В. И. Иванников, П. П. Ключ. — М.: Стройиздат, 1987.
6. **Груданова, О. В.** О задачах напорного движения жидкости по горизонтальному трубопроводу с отводами / О. В. Груданова, А. А. Таранцев, В. В. Яркин // Вестник СПбИ ГПС МЧС России. — 2005. — № 2(9).
7. **Идельчик, И. Е.** Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И. Е. Идельчик. — М.: Энергия, 1975.
8. **Калицун, В. И.** Основы гидравлики и аэродинамики / В. И. Калицун, Е. В. Дроздов, А. С. Комаров [и др.]. — М.: Стройиздат, 2002.
9. **Таранцев, А. А.** Порядок приведения коэффициента производительности оросителя АУПТ к местному гидравлическому сопротивлению / А. А. Таранцев // Материалы Международной НПК “Проблемы защиты населения и территорий от пожаров и катастроф”. — СПбУ ГПС МЧС России, 21 июня 2006 г.
10. **Груданова, О. В.** Методика анализа и синтеза гидравлической сети АУПТ / О. В. Груданова, А. А. Таранцев // Материалы Международной НПК “Проблемы защиты населения и территорий от пожаров и катастроф”. — СПбУ ГПС МЧС России, 21 июня 2006 г.

Поступила в редакцию 04.04.08.



Интерактивное учебное пособие “ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ОБЪЕКТОВ”

Представляет курс, построенный на основе методических материалов, разработанных ведущими специалистами кафедры пожарной безопасности Московского государственного строительного университета, и включает 16 уроков (лекции и тестовые вопросы), объединенные в электронный учебник.

Учебно-методическое пособие содержит сборник нормативных актов по организации и обеспечению пожарной безопасности объектов.

Поурочная структура курса позволяет изучать материал в удобное время и в удобном темпе. Данное интерактивное учебное пособие рекомендуется для проведения дистанционного обучения.

Заявку на приобретение компакт-диска присылать по адресу:

107023, г. Москва, пл. Журавлева, д. 2, стр. 2

E-mail: firepress@gmail.com; info@firepress.ru

Тел./факс: (495) 228-09-03



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.

Журнальное приложение “Пожарная безопасность в строительстве”

Издается с декабря 2004 года. Периодичность — 6 номеров в год. 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. Терехин, 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. Терехин, Н. С. Артемьев, В. А. Грачёв, А. В. Подгрушный</i> Промышленные здания и сооружения: Учебное пособие. — М.: Пожнаука, 2006. — 370 с.	20	320	304	272	256
<i>В. В. Терехин, Н. С. Артемьев, А. В. Подгрушный</i> Здания повышенной этажности: Учебное пособие. — М.: Пожнаука, 2006. — 240 с.	20	300	285	255	240
<i>В. В. Терехин, Н. С. Артемьев, А. В. Подгрушный</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. Терехин, 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. Терехин, 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. Терехин</i> Автоматические установки порошкового пожаротушения: 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 ми- нимума: 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 2008 г.
на специализированный научно-технический журнал “Пожаровзрывобезопасность”
с приложением “Пожарная безопасность в строительстве”.*

Стоимость подписки на год — 2520 руб.

Подписка осуществляется через следующие агентства:

Название организации	Телефон/факс	Адрес	Индекс в каталоге
Агентство подписки и розницы “АПР”	(495) 974-11-11	г. Москва, пр-т Маршала Жукова, д. 4	83647
Агентство “РОСПЕЧАТЬ”	(495) 921-25-50	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	—
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. Урал ИнфоСервис	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, Боготьяновский 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 в двух экземплярах, ясно изложена, тщательно отредактирована и подписана автором. Корректурa авторам не высылаеtся. Редакция будет признательна авторам за предоставление текста статьи и графического материала в электронном виде.

2. Размер статей, как правило, не должен превышать 20 стр. машинописного текста, включая иллюстрации, таблицы и библиографию.

3. Текст статьи должен быть напечатан через 2 интервала без помарок и вставок на одной стороне стандартного листа формата А4 с левым полем 3 см.

4. Материал статьи излагается в такой последовательности:

- номер УДК (универсальная десятичная классификация);
- название статьи;
- имена, отчества и фамилии авторов (полностью), должности, степени, звания, название организации, фотография, контактный телефон;
- реферат (на русском и английском языках);
- текст статьи;
- цитируемая литература;
- подписи к рисункам;
- рисунки.

5. К статье необходимо приложить расширенную аннотацию на английском языке (объем не ограничивается) для наилучшего представления Вашей работы за рубежом.

6. Сокращения и условные обозначения физических величин должны соответствовать действующим международным стандартам (см. Политехнический словарь, 1989, с.647–649). 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. Буквенные обозначения, входящие в формулы, должны быть расшифрованы с указанием единиц измерения.

7. Иллюстрации 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). Все иллюстрации должны иметь сквозную нумерацию. Номера проставляются простым карандашом на каждом рисунке, а также в рукописи на левом поле страницы против соответствующего места в тексте. На обороте каждого рисунка ставится название статьи и фамилия автора. Чертежи в качестве иллюстраций не приемлемы. Желательно прилагать электронные версии иллюстраций.

8. 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.

9. 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 “Издателство “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 02.06.08.
Формат 60×84 1/8. Тираж 10000 экз.
Бумага офсетная №1. Печать офсетная.
Отпечатано в типографии “ГранПри”, г. Рыбинск



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-Ф и Шторм-М

Пленкообразующие синтетические фторсодержащие пенообразователи целевого и специального назначения для получения пены низкой и средней кратности. Служат для тушения пожаров классов А и В. Основная область применения: химическая и нефтехимическая промышленность, аэродромы.

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)

Углеводородный пенообразователь на основе синтетических ПАВ с широким спектром применения.

ISSN 0869-7493



9 770869 749006