

ПОЖАРОВЗРЫВО БЕЗОПАСНОСТЬ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ 11'2010

Расчет пожарных рисков объектов топливно-энергетического комплекса

Разработка стволов подачи температурно-активированной воды для тушения пожаров с нулевой отдачей и полным раскрытием струи

Условия возникновения и развития горения тепловой изоляции промышленных трубопроводов



Научно-технические предпосылки к созданию огнетушащих порошков, обладающих повышенной огнетушащей и теплоизолирующей способностью

Влияние огнезащитной обработки древесины на ее электрофизические параметры

Исследование работы струеобразующего устройства

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ

ТОМ 19 ♦ № 11 ♦ 2010

FIRE & EXPLOSION SAFETY

Научно-технический журнал
ООО "Издательство "Пожнаука"

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

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

НОВОСТИ, КОНФЕРЕНЦИИ, ВЫСТАВКИ	NEWS, CONFERENCES, EXHIBITIONS
Информационное письмо о VI Международной конференции "Полимерные материалы пониженной горючести", 14–18 марта 2011 г., ВоГТУ, г. Вологда, Россия	2 Information Letter about VI International Conference "Low Combustibility Polymeric Materials", 14–18 March 2011, VoSTU, Vologda, Russia
ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ	GENERAL QUESTIONS OF FIRE SAFETY
Жуков В. В. Опять двойка	4 Zhukov V. V. "Bad" Mark Again
ПРОЦЕССЫ ГОРЕНИЯ	COMBUSTION PROCESSES
Кузнецов Г. В., Захаревич А. В., Максимов В. И. О влиянии структуры "горячих" частиц на условия зажигания жидких топлив	9 Kuznetsov G. V., Zakharevich A. V., Maksimov V. I. On the Influence of the Structure "Hot" Particles on Ignition Conditions for Liquid Propellants
ОГНЕЗАЩИТА	FIRE RETARDANCE
Филиппович Г. А., Кудряшов А. Н., Яцукович А. Г., Денисевич А. П. Влияние огнезащитной обработки древесины на ее электрофизические параметры	12 Filippovich G. A., Kudryashov A. N., Yatsukovich A. G., Denisevich A. P. The Influence of Fire Protection Coating on Electrophysical Characteristics for Wood
ОГНЕСТОЙКОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ	FIRE-RESISTANCE OF BUILDING CONSTRUCTIONS
Фахрисламов Р. З., Белых А. Ф., Корольченко А. Я., Кузнецов С. Ю. Условия возникновения и развития горения тепловой изоляции промышленных трубопроводов	17 Fahrislamov R. Z., Belykh A. F., Korolchenko A. Ya., Kuznetsov S. Yu. Terms of Origin and Development of Burning Heat Insulation of Industrial Pipelines
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЖАРОВ	FIRE MODELING
Катаева Л. Ю., Белоцерковская И. Е., Масленников Д. А., Куркин А. А. Сравнение аналитического и численного решения математической модели низового пожара с учетом влияния угла наклона подстилающей поверхности	24 Kataeva L. Yu., Belotserkovskaya I. E., Maslennikov D. A., Kurkin A. A. The Numerical and Analytical Decision Mathematical Model for Ground Fire Including Slope Angle Influence
ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ, ОБЪЕКТОВ	FIRE SAFETY OF BUILDINGS, STRUCTURES, OBJECTS
Хафизов Ф. Ш., Бакиров И. К. Расчет пожарных рисков объектов топливно-энергетического комплекса	31 Hafizov F. Sh., Bakirov I. K. Calculation of Fire Risks Objects of Fuel and Energy Complex
Поландов Ю. Х., Бабанков В. А. О выгорании газоз-воздушной смеси в замкнутом объеме	36 Polandov Yu. Kh., Babankov V. A. About Burning Out of the Gas-Air Mix in the Closed Volume
ПОЖАРНАЯ ТЕХНИКА	FIRE ENGINEERING
Брушлинский Н. Н., Шимко В. Ю., Карпов В. Л., Усманов М. Х., Семенов В. П., Джураев С. М. Исследование работы струеобразующего устройства	40 Brushlinskiy N. N., Shimko V. Yu., Karpov V. L., Usmanov M. Kh., Semyonov V. P., Djurayev S. M. Research of Jet Forming Device Operation
Храмцов С. П., Пряничников А. В., Никишин П. В., Кармес А. П. Разработка стволов подачи температурно-активированной воды для тушения пожаров с нулевой отдачей и полным раскрытием струи при использовании автомобиля пожарного многоцелевого	44 Khramtsov S. P., Pryanichnikov A. V., Nikishin P. V., Karmes A. P. Working out Special Nozzles for Delivering Temperature-Activated Water to Extinguish Fires with Zero Nozzle Recoil and Complete Spray Opening When Using Multi-Purpose Fire Appliance
Фролов В. Н., Лазарев С. М., Павлова С. В. Водно-скоростной режим систем пожаротушения	49 Frolov V. N., Lazarev S. M., Pavlova S. V. Water-Velocity Conditions of Extinguishing Systems
ТУШЕНИЕ ПОЖАРОВ	FIRE EXTINGUISHING
Беловошин А. В., Смирнов С. А. Научно-технические предпосылки к созданию огнетушащих порошков, обладающих повышенной огнетушащей и теплоизолирующей способностью	56 Belovoshin A. V., Smirnov S. A. Scientific-Research Preconditions to Creation of Fire Extinguishing Powders Having the Heightened Extinguishing and Heat-Insulating Ability
ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ. СПРАВОЧНИК	FIRE-AND-EXPLOSION SAFETY. REFERENCE BOOK
62	

Журнал включен в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК России для публикации трудов соискателей ученых степеней, в Реферативный журнал и Базы данных ВИНИТИ РАН. Сведения о журнале ежегодно публикуются в Международной справочной системе по периодическим и продолжающимся изданиям "Ulrich's Periodicals Directory".

Перепечатка материалов только по согласованию с редакцией. Авторы несут ответственность за содержание представленных в редакцию материалов и публикацию их в открытой печати

Российская академия наук
 Министерство образования и науки
 Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны,
 чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий
 Правительство Вологодской области
 Отделение химии и наук о материалах РАН
 Институт химической физики им. Н. Н. Семенова РАН
 Академия Государственной противопожарной службы МЧС России
 Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России
 Московский государственный строительный университет
 Вологодский государственный технический университет

14–18 марта 2011 г. проводит VI Международную конференцию “ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПониЖЕННОЙ ГОРЮЧЕСТИ”

Место проведения: г. Вологда, ВоГТУ, ул. Ленина, д. 15

Программный комитет:

Председатель:

Берлин А. А. Академик РАН, директор ИХФ РАН

Сопредседатель:

Соколов Л. И. Профессор, ректор ВоГТУ

Заместители председателя:

Халтуринский Н. А. Профессор, ИХФ РАН

Алешков М. В. Заместитель начальника
Академии ГПС МЧС России
по научной работе

Организационный комитет:

Аскадский А. А. Профессор, ИНЭОС РАН

Богданова В. В. Профессор, НИИ ФХП БГУ,
Белоруссия

Гарашенко А. Н. Доцент, ЦНИИСМ

Дебердеев Р. Я. Профессор, КХТИ

Екимовский В. В. Начальник Главного управления
МЧС России по Вологодской обл.

Профессор, ИБХФ РАН

Заиков Г. Е. Профессор, МГСУ

Копылов Н. П. Начальник ВНИИПО МЧС России

Профессор, СПбГТУ

Машляковский Л. Н. Профессор, СПБГТУ

Нелюбин Б. В. Профессор, НПО “ЙодоБром”,
Украина

Новаков И. А. Чл.-кор. РАН, ректор Волг. ГТУ

Панова Л. Г. Профессор, Саратовский ГТУ

Серков Б. Б. Профессор, Академия ГПС МЧС
России

Сиротинкин Н. В. Профессор, СПбГТУ

Тужиков О. И. Профессор, Волг. ГТУ

Чалых А. Е. Зам. академика-секретаря ОХНМ
РАН, профессор

Ученые секретари:

Попова М. Н. ВоГТУ (г. Вологда)

Рудакова Т. А. ИСПМ РАН (г. Москва)

Сивенков А. Б. Академия ГПС МЧС России
(г. Москва)

Программная комиссия:

Председатель:

Халтуринский Н. А. Профессор, ИХФ РАН

Асеева Р. М. Профессор, Академия ГПС МЧС
России

Крупкин В. Г. Д-р физ.-мат. наук, ИХФ РАН

Плеханов А. А. Проректор по научной работе
и инновационному развитию
ВоГТУ

Хомко Е. В. Доцент СПбГТУ

Секретари:

Алымова С. А. НТИ ПЛС ВоГТУ (г. Вологда)

Суворова Г. Н. НТИ ПЛС ВоГТУ (г. Вологда)

Основные направления научной программы

- Термоокислительная деструкция и пиролиз полимеров
- Теория горения полимерных материалов
- Механизм действия и синтез новых высокоэффективных ингибиторов горения полимеров
- Разработка новых полимерных материалов и композиций пониженной горючести
- Экологическая и противопожарная безопасность материалов и конструкций
- Техника и методы оценки пожарной безопасности полимерных материалов
- Анализ чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера

Программа конференции включает серию лекций, докладов (пленарных, устных и стендовых), дискуссий и стендовых сессий, подведение итогов заявленного оргкомитетом конкурса на лучшую работу молодых ученых.

Желающим принять участие в работе конференции необходимо не позднее **15 сентября 2010 г.** направить заявку на участие в конференции на электронную почту оргкомитета conf@vstu.edu.ru.

Доклады и копии платежного поручения в адрес оргкомитета должны быть направлены не позднее **15 ноября 2010 г.**

Правила оформления материалов

- Материалы представляются по электронной почте.
- Текст должен быть набран в редакторе Word for Windows (версия 6.0, русская редакция) шрифтом "Times New Roman Cyr" с высотой шрифта 14, межстрочный интервал 1,5.
- Поля страницы: слева — 2,5 см, справа — 1,5 см, сверху и снизу — 2 см.
- Формулы набираются в MS Equation 2.0.
- Рисунки и схемы в тексте должны быть сгруппированы.

Порядок печати

Название статьи по центру без переноса жирным шрифтом строчными буквами, через интервал инициалы и фамилия автора строчными буквами, например: *А. А. Петров*, через интервал полное название учебного заведения (организации), далее через интервал текст, в конце статьи привести список литературы (не более 2–3 наименований).

За содержание докладов ответственность несут авторы. Программный комитет имеет право отклонить доклад. Все материалы публикуются в авторской редакции.

Оргвзнос за участие в конференции и публикацию одного доклада объемом от 3 до 5 стр. составляет 1200 руб. Для заочных участников, студентов и аспирантов — 450 руб. За каждую дополнительную страницу — 100 руб.

За участие без публикации доклада оргвзнос можно внести при регистрации.

Банковские реквизиты

ИНН 3525027110 КПП 352501001 УФК по Вологодской области (ВоГТУ л/с 03301А38060) р/с 40503810100001000206 ОКАТО 19401000000 ГРКЦ ГУ Банка России по Вологодской области г. Вологда БИК 041909001. Код дохода 07330201010010000130 п.р.1 с обязательным указанием "Образовательные услуги. Участие в конференции" и ф. и. о. участника.

Адрес проведения конференции

160035, г. Вологда, ул. Ленина, д. 15, Вологодский государственный технический университет, корпус 5, актовЫй зал.

Проживание участников конференции будет организовано в гостиницах г. Вологды (стоимость от

600 руб. в двух-, трехместных номерах) и в профилактории университета (стоимость 400 руб.).

Справки по телефонам

В г. Москве

8-495-939-72-95 — Крупкин Владимир Герцович, krupkin@chph.ras.ru

8-916-174-52-44 — Сивенков Андрей Борисович, sivenkov01@mail.ru

8-495-332-58-18 — Рудакова Татьяна Алексеевна

В г. Вологде

8-921-234-49-90 — Попова Марина Николаевна, popovavologda@yandex.ru

8-172-72-14-35 (доб. 341) — Алымова Светлана Александровна, Сорокина Галина Николаевна, conf@vstu.edu.ru

Предварительная программа конференции

14 марта — заезд участников, регистрация.

15 марта — пленарное заседание, работа по секциям, выставка, экскурсия по г. Вологде, ужин.

16 марта — продолжение работы секций, стендовые доклады, посещение Спасо-Прилуцкого монастыря, культурная программа.

17 марта — продолжение работы конференции, подведение итогов заявленных оргкомитетом конкурсов, программа МЧС г. Вологды.

18 марта — подведение итогов конференции, экскурсия в Ферапонтово и Кириллов, отъезд.

ЗАЯВКА НА УЧАСТИЕ В КОНФЕРЕНЦИИ

Ф. И. О. _____

Должность _____

Наименование организации _____

Почтовый адрес _____

Адрес для рассылки сборника _____

Телефон _____

Факс _____

E-mail _____

Наименование доклада _____

Необходимые технические средства для демонстрации доклада _____

Прошу забронировать место в гостинице (да, нет) _____

Заочное участие _____

Платежным поручением (или квитанция) № _____

от _____ 20__ г.

Перечислено _____ руб.



В. В. Жуков
независимый эксперт,
начальник отдела Московского
филиала страховой компании

УДК 614.841.315

ОПЯТЬ ДВОЙКА

В связи с изменением социально-экономического строя в России должны были измениться и методы работы органов Государственного пожарного надзора. Однако этого не произошло, поэтому за последние 20 лет положение с пожарами и пожарным надзором становилось все хуже. В последние годы министр С. К. Шойгу начал реформу системы обеспечения пожарной безопасности. Безусловно, это огромный шаг вперед. Но есть проблемы, без решения которых невозможно достичь ожидаемого эффекта. Например, эксперты, которые готовили изменения, не учли, что безопасность повысится, если законодательство будет регулировать процессы управления обеспечением пожарной безопасности “внутри” организации. Называются причины невыполнения предписаний органов Государственного пожарного надзора, которые реформой не устранены. Основной недостаток реформы состоит в том, что государство необоснованно много (почти тотально) и монополично участвует в системе обеспечения пожарной безопасности.

Ключевые слова: декларация; пожарная безопасность; органы Государственного пожарного надзора; прокуратура; экономическая эффективность; предписания; государственный инспектор; частный инспектор; методика; расчет пожарного риска; пожарно-профилактическая работа; управление; объект экономики и социальной сферы.

Исполнилось два года, как был принят Технический регламент о требованиях пожарной безопасности (Федеральный закон № 123-ФЗ), документ, в котором заложена философия проводимой МЧС РФ реформы системы обеспечения пожарной безопасности в стране. Как в момент принятия, так и весь прошедший период этот регламент критиковался и критикуется многими экспертами и практиками. И будет критиковаться, пока бизнес не смирился со своим поражением. Одним из аргументов, которые приводят эксперты: “Пожарная декларация не предупреждает пожар, а ждет пожар, чтобы стать частью обвинительного заключения и облегчить “посадить” или привлечь к ответственности предпринимателя”. А масштабы, по мнению МЧС, таковы: пожарному декларированию подлежат 4,5 млн предприятий и организаций. На 1 мая 2010 г. подано 400 тыс. деклараций.

В декабре исполняется год со дня трагедии в пермском ночном клубе “Хромая лошадь”, трагедии, повергшей в шок не столько простых граждан, сколько специалистов. Они считают, что в России этого в принципе быть не должно по той простой причине, что наши здания по огнестойкости такие же, как бетонное боевое подземное сооружение, как “долго-

временная огневая точка”. И поэтому в негорюемых зданиях люди сгорать не должны. А если это произошло, то это тупик в нашей теории и практике борьбы с огнем.

Сейчас МЧС предлагает законопроект “О страховании гражданской ответственности за причинение вреда в результате пожара”. И опять море недовольных. Почему именно противопожарные предложения МЧС и бизнесом, и региональными органами власти, и общественностью воспринимаются в штыки, как неправильные и несправедливые?

При социализме пожарная безопасность обеспечивалась двумя механизмами. Первый и основной — это организация пожарно-профилактической работы на предприятиях и в организациях. Она осуществлялась благодаря отраслевой системе управления народным хозяйством, через директивы министерств и ведомств. Второй механизм — это территориальный контроль за результатами пожарно-профилактической работы. Такой контроль осуществляли на местах органы Государственного пожарного надзора (далее — органы ГПН). С исчезновением социалистического отраслевого управления предприятия и организации прекратили заниматься пожарной безопасностью на местах, т. е. организо-

© Жуков В. В., 2010

вызвать пожарно-профилактическую работу. Тем не менее органы ГПН все последние 20 лет продолжали проверять то, чего уже нет, т. е. пустоту. И всю страну они приучили к ошибочной позиции, что для обеспечения пожарной безопасности достаточно предписания пожарного инспектора. Этим самым они сформировали ложное представление у предпринимателей, которые никаких дополнительных мер не принимают, кроме тех, которые написаны в предписании не кем-нибудь, а профессионалом — государственным инспектором.

В результате...

В результате противопожарное состояние страны ухудшается с каждым днем. Могут возразить, что по данным официальной статистики за последние годы в РФ сократилось число пожаров и количество жертв от них. Однако при этом не надо забывать, что речь должна идти о двух разных статистических выводах по пожарам — об абсолютном и относительном показателях. Когда МЧС заявляет о сокращении числа пожаров, министерство имеет в виду общее, абсолютное сокращение, т. е. такое сокращение, которое стало результатом не только пожарно-профилактических мер, но и иных процессов.

Стало ли сокращение результатом пожарно-профилактических мер (относительное сокращение)? Нет, не стало и не может стать, ведь последние 20 лет никакой пожарной профилактики в стране не проводилось. И только в 2010 г., с началом действия Технического регламента о требованиях пожарной безопасности, началась реальная реформа системы пожарной безопасности страны. И должностные лица МЧС (в частности, Ю. Дешевых) отмечают, что мы не переломили ситуацию с пожарами и число нарушений правил пожарной безопасности растет. И Ю. Дешевых продолжает (03.03.2010 г.): в США при численности населения 300 миллионов человек количество погибших при пожарах за прошлый год составило 3800, а у нас 14 000 человек.

А стало ли сокращение результатом иных процессов? Скорее всего, да. Например, сокращение может происходить из-за уменьшения числа действующих предприятий, на которых, во-первых, уменьшаются опасности в связи с сокращением объемов производства и, во-вторых, повышается общая дисциплина, а следовательно, автоматически улучшается (как часть общей) и противопожарная дисциплина в связи с приватизацией собственности. Сокращение числа пожаров и количества жертв от них еще может происходить из-за уменьшения численности той части населения (пьяницы, нищие и т. п.), которая склонна к не-

осторожному обращению с огнем и другим нарушениям требований пожарной безопасности (курение в постели и т. п.).

Значит, если заявленное МЧС сокращение числа пожаров и ущерба от них и есть, то оно не является результатом пожарной профилактики. А вот гражданское общество сомневается и в самом заявлении МЧС о сокращении. Приводим высказывания из профессионального форума практических работников — инспекторов органов ГПН, т. е. тех, кто видит реальную картину и формирует статистические отчеты для Москвы. Они говорят, что заявленное снижение связано с тем, что в новой системе статотчетности введена новая графа “загорания”. В нее вносят реальные пожары, которые, естественно, не фигурируют в официальных отчетах, предназначенных для Москвы. Это — снижение “по приказу”, которое будет продолжаться до тех пор, пока будут “бить” за рост пожаров и гибель людей, что приводит к сокрытию пожаров и от чего кривая статистики из года в год неуклонно ползет вниз (<http://0-1.ru/discuss/search.asp?text=сокращение%20пожаров>, <http://0-1.ru/discuss/search.asp?text=снижение%20количества%20пожаров>, <http://0-1.ru/discuss/search.asp?text=статистика%20пожаров>).

Итак, ситуация с пожарами и пожарным надзором становится все хуже и хуже. Впервые за долгую историю страны прокуратура вынуждена сама заниматься пожарной безопасностью в организациях. Прокуроры контролируют каждый шаг пожарных инспекторов. Органы ГПН отнесены к самым главным угнетателям бизнеса, их ограничили в правах и возможностях осуществлять надзор. Пожарных инспекторов привлекают к уголовной ответственности за халатность из-за пожаров с огромными человеческими жертвами. Органы ГПН из каждого громкоговорителя вещают: “Пожар легче предупредить, чем потушить” — и тут же составляют “черные списки” организаций, которые не выполняют пожарных требований. Тем самым они доказали, что предупредить пожар не так-то легко, а подчас и невозможно, да и невыгодно. А нас учат тому, чего сами не знают. И проблема, связанная с пожарами и пожарным надзором, из технической превращается в политическую. И вот уже в программе “Время” министр докладывает Президенту, сколько пожарные закрыли ночных клубов, сколько оштрафовали. А там движение “Наши” пикетирует фирмы, которые входят в “черные списки” МЧС. Но это еще не все! Эта проблема становится еще и экономической. Предприниматели протестуют не против самих проверок, а против содержания пожарных предписаний, которые, во-первых, невозможно выполнить из-за огромной (не по карману для россий-

ского бизнеса) стоимости. Стоимости, величину и экономическую эффективность которой государство, предписывая, должно обосновывать, но не обосновывает. Во-вторых, предписания эти технически неэффективны из-за их оторванности от истинных проблем пожарной безопасности. В-третьих, предписания в большинстве своем являются вмешательством чиновников в экономическую независимость предпринимателей. Дело в том, что уже 15 лет пожарные генералы только обещают, что отменят ненужную государственную юрисдикцию более чем для тысячи параметров пожарной безопасности, установленных им для частного бизнеса. А это в экономике и социальной сфере сотни миллиардов элементов, где должны соблюдаться требования пожарной безопасности и где миллиарды нарушений этих требований. И за этими миллиардами нарушений государство не может осуществлять ненужный ему контроль и не осуществляет его. И вернут бизнесменам право самим определять уровень и стоимость пожарной безопасности своего же имущества. И именно по этим причинам пожарные предписания бизнесом не выполняются. И именно по этим причинам стоимость пожарной безопасности в стране достигла сотен миллиардов долларов и является одной из самых высоких среди развитых стран. Но власть, не считая расходов бизнеса и граждан на пожарную безопасность, все наращивает и наращивает эти расходы, а эффект от наращивания все меньше и меньше. Сложилась экономически противоречивая ситуация, когда пожарный инспектор бесплатно подсказывает предпринимателям, что надо делать, чтобы не было пожара, а предприниматели (цитата из пожарного форума) “на инспектора смотрят как на изверга”, потому что “необходимость уплаты бизнесом “пожарной подати” тоже стала традиционной частью ведения бизнеса”. Начали выпускать для предпринимателей правозащитные книжки “Если к вам пришел пожарный инспектор”. Впервые в истории бороться с пожарами так, как предлагают предпринимателям пожарные чиновники, стало бессмысленно. Министр экономики требует ликвидировать органы ГПН. В ответ МЧС показывает статистические данные по количеству жертв и спасенных жизней, утраченных и сохраненных материальных ценностей. Открываешь газету, а там РСПП борется с пожарной бюрократией и “Опора России” впряглась в противостояние. Кто прав, кто не прав? Все ой как запутано. А многие считают, что проблема пожарной безопасности — это техническая (в смысле простоты решения) проблема. Ведь она же не касается сущностных принципов экономики, бизнеса, финансов, инноваций и других умных вещей.

Что делать?

В этой ситуации министр С. К. Шойгу предпринял меры для решения накопившихся проблем:

- предприниматели жаловались, что руководящих документов по пожарной безопасности тысячи, в них десятки тысяч требований, в которых они путаются. Сделали так, что (как утверждает власть) их стало гораздо меньше. МЧС обеспечило принятие ряда новых руководящих документов, в которые включены требования пожарной безопасности: Технического регламента о требованиях пожарной безопасности, сводов правил и др., уменьшив почти в 10 раз количество таких документов;
- предприниматели жаловались, что государственные пожарные инспектора приходят к ним и проверяют. Сделали так, что вместо государственного инспектора будет ходить частный инспектор, если по его рекомендациям предприниматель выбросит огромные деньги на ветер;
- предприниматели жаловались, что государственные инспектора пишут им предписания. Сделали так, что инспектора писать предписаний предпринимателям не будут, предприниматели теперь сами себе будут писать предписания. Для этого из нескольких тысяч обязательных к исполнению требований пожарной безопасности предприниматели выбирают те, которые относятся к ним. Перечень выбранных требований предприниматели подписывают и направляют его в органы ГПН, а сами приступают к их исполнению;
- предприниматели жаловались, что, сколько предписаний ни выполняй, все равно каждый раз инспектор находит все новые и новые нарушения. Сделали так, что чиновничий контроль над ненужными государству параметрами пожарной безопасности на объектах частного бизнеса не отменили, а наоборот — увеличили. Теперь, как пишут специалисты на пожарном форуме, нарушений требований безопасности нет только в скворечнике;
- предприниматели жаловались, что нет альтернативных государственным методик оценки состояния пожарной безопасности. Сделали так, что, после того как предприниматель не сумел выполнить всех обязательных государственных требований пожарной безопасности, он покупает дорогостоящий расчет пожарного риска по методике МЧС. И если расчеты покажут, что выполненных мер недостаточно, то пиши себе еще одно предписание. Получается, что и требования безопасности — государственные, и методика расчета — государственная. Где же тогда альтернатива?;

- предприниматели жаловались, что нет института независимых экспертов. Сделали так, что можно пригласить только аккредитованных при МЧС частных пожарных инспекторов, которые за деньги будут писать предпринимателю такое же предписание, какое не за деньги писал государственный инспектор. И эти частные инспектора будут информировать государственных инспекторов о том, что у предпринимателя “не идеальный порядок”. Тогда, предприниматель, жди внеплановую государственную проверку. Вот такая независимость, которую МЧС называет независимой оценкой риска;
- предприниматели (не учитывая того факта, что за пожары государственных инспекторов сажают) жаловались, что за пожары на них накладывают административные штрафы. Сделали, во-первых, так, что пожарных инспекторов сажать не будут — не за что. Но теперь будут сажать предпринимателей: не пожарный инспектор проверял предпринимателя, а предприниматель сам себя проверял; не пожарный инспектор писал предписание предпринимателю, а предприниматель сам себе его писал. И во-вторых, государство постоянно увеличивает размер штрафов, расширяет круг лиц, на которые эти штрафы накладываются, применяют административную приостановку работы организаций на период до 90 (смертельных для бизнеса) суток.

И что это даст?

1. МЧС предполагает, что положение с пожарной безопасностью в стране улучшат новые руководящие документы по пожарной безопасности. Более удобные документы выпустили, количество требований пожарной безопасности якобы уменьшили, но сущность требований не поменяли. Не исключили, в частности, из новых требований причины и условия, из-за которых предписания не выполняются. Таким образом, проведенная МЧС реконструкция руководящих документов не приведет к улучшению положения с пожарной безопасностью в стране.

2. МЧС предполагает, что положение с пожарной безопасностью в стране улучшит независимая оценка пожарного риска (НОР). Понятно, что независимую оценку могут давать независимые специалисты, действующие по независимой методике. А есть ли в нашем случае независимые специалисты и независимые методики? На самом деле никакой независимости нет. Ведь к НОР привлекаются только аккредитованные при МЧС, а значит зависимые, специалисты. Применяемая ими методика расчета пожарного риска установлена МЧС и поэтому не является независимой. А раз нет независи-

мости, то и эмчээсовская модель НОР не улучшит пожарной безопасности в стране.

3. МЧС предполагает, что положение с пожарной безопасностью в стране улучшат расчеты пожарного риска, которые должны быть в декларации пожарной безопасности. Результатом таких расчетов является число-вероятность. Одно из главных условий этих расчетов — это выполнение на расчетный момент противопожарными техническими системами своих функций. Зададимся вопросом: а разве для оценки пожарного риска не требуется знание состояния технических систем и круглосуточно, и круглогодично? Это, во-первых. Во-вторых, не технические системы обеспечивают пожарную безопасность, а люди, управляющие этими системами. Но человеческий фактор не учитывается при определении числа-вероятности. И главное. Поскольку расчеты пожарного риска в декларации играют роль оценки фактического состояния пожарной безопасности, то возникает вопрос: а можно ли вообще числом, например таким, как 0,999999, выразить состояние пожарной безопасности? Вот мнение из форума работников органов ГПН: “За этой цифрой не видна действительная пожарная опасность; такая система не дает уверенности, что безопасность обеспечена; невозможно доказать соответствие реального виртуальному”. И это не случайно, ведь наука определяет, что оценка риска должна быть не только количественной, но и качественной. Поэтому введенный МЧС РФ показатель состояния пожарной безопасности не отражает этого состояния и, соответственно, не улучшит положения с пожарной безопасностью в стране.

4. МЧС предполагает, что положение с пожарной безопасностью в стране улучшит факт подписания лично предпринимателем в пожарной декларации перечня требований и мер пожарной безопасности. Новым здесь является то, что эти перечни формируются самим предпринимателем и им собственноручно подписываются. И сам факт подписи этих перечней предпринимателем, по мнению МЧС, является укреплением безопасности. Директор Департамента надзорной деятельности МЧС РФ Ю. И. Дешевых на заседании коллегии министерства отметил (Пожарное дело, № 6, 2010), что те, кто подал декларацию, владеют информацией о требованиях пожарной безопасности, которые они должны выполнить. Подчеркиваем: “владеют информацией”. Это очень полезно, что предприниматели знают, какие требования им надо выполнять. Но достаточно ли этого для того, чтобы они их выполняли? Ведь предприниматели и до этого знали (владели информацией) о том, какие им выполнять требования безопасности. Эти требования указывались им в предписаниях пожарных инспекторов 2 раза в год под

роспись. И несмотря на то что предприниматели знали о требованиях, они их не выполняли. Поэтому факт подписи перечня лично предпринимателями полезен, повышает чувство ответственности, но кардинально ничего не меняет и, соответственно, не позволит улучшить ситуацию с пожарной безопасностью в стране.

5. МЧС предполагает, что увеличение размеров штрафов, расширение их применения и других репрессивных воздействий улучшат положение с пожарной безопасностью в стране. Однако ни к чему хорошему не могут привести штрафы, “продвигающие” предписания, в которых “пишут одно, а горит от другого”? Не будет положительных результатов, когда штрафуются рождающийся российский средний и малый бизнес, который не выполняет пожарных предписаний, поскольку их стоимость им не по карману. Правильно ли, когда пожарный инспектор беспощадно штрафует и закрывает бизнес, даже тогда, когда предприниматель предупреждает пожар законными средствами, но более дешевыми, чем предложил чиновник? Как называется политика, когда у предпринимателя сгорело имущество, а его бизнес к тому же еще и закрывают на три месяца? Как результатом произведения целого числа на ноль будет ноль, точно так же результатом усиления государственного контроля над пустотой будет пустота. Поэтому увеличение штрафов в целях продвижения пожарной политики МЧС не улучшит положения с пожарной безопасностью в стране.

Выводы

МЧС требует декларирования пожарной безопасности, т. е. проведения расчетов пожарного риска, формирования перечня выполняемых (обязательных либо дополнительных) мер пожарной безопасности и подписи их лично предпринимателями. Дело в том, что во всех этих расчетах, во всех этих мерах и перечнях есть второстепенное — государственный контроль за профилактикой пожаров, и нет главного — самой профилактики пожаров. Есть второстепенное — знание вероятности пожара, и нет главного — знания о фактической способности организации не допустить возникновения пожара. Есть второстепенное — улучшение управляемости чиновниками, и нет главного — улучшения управляемости безопасностью. Нет понимания того, что действия персонала по недопущению пожара являются управлением. Проблема в том, что органы ГПН никогда не интересовало, как осуществляется управление вопросами пожарной безопас-

ности в самих организациях. Тема управления пожарной безопасностью организации никогда не звучала и не звучит ни в стенах пожарного главка министерства, ни в стенах пожарных научных учреждений, ни в стенах пожарных учебных заведений, ни, соответственно, в пожарном законодательстве. И поэтому работники органов ГПН не имеют понятия о таком широко известном и полезном предмете, как управление. Не понимают, что плохо, когда пожарная безопасность не включена в систему оперативного и долгосрочного планирования организации, когда функции предупреждения пожаров не включены в положения о структурных подразделениях и должностные инструкции. И не понимают, что управление и без вмешательства пожарных чиновников может организовывать пожарно-профилактическую работу на предприятии. И не понимают, что важнейшим направлением пожарной политики должно быть формирование системы управления пожарной безопасностью в каждой организации, которая является подсистемой системы управления этой организации.

Так что же получается? В 90 % предприятий и организаций страны за последние 20 лет никто не занимался и не занимается пожарной безопасностью. Пустота. Вместо создания условий, чтобы каждый объект экономики и социальной сферы самостоятельно проводил пожарно-профилактическую работу, МЧС делает акцент в своей пожарной политике на другом — совершенствовании государственного пожарного контроля за пустотой. Так почему же именно противопожарные предложения МЧС и бизнесом, и региональными органами власти, и общественностью воспринимаются в штыки, как неправильные и несправедливые? Да потому что система пожарной безопасности всей страны со времен советской власти и до настоящего времени еще не разгосударствлена, т. е. государство “по-советски” необоснованно много (почти тотально) и монопольно участвует в этой системе. И все осуществляемые МЧС здесь изменения — это нанесение рыночных красок на давно прогнивший социалистический холст. В результате получается страшная картина — даже не махровая бюрократия, а просто глупость.

Если все предпринимаемые МЧС меры, по нашему мнению, не улучшают положения с пожарной безопасностью в стране, то почему тогда исключительно МЧС принадлежит право определять пожарную политику страны?

*Материал поступил в редакцию 16 августа 2010 г.
Электронный адрес автора: gvv51@rambler.ru.*

**Г. В. Кузнецов**

д-р физ.-мат. наук, декан ТЭФ,
профессор Национального исследова-
тельского Томского политехнического
университета, г. Томск, Россия

**А. В. Захаревич**

канд. физ.-мат. наук, ст. преподаватель
Национального исследовательского
Томского политехнического универси-
тета, г. Томск, Россия

**В. И. Максимов**

канд. техн. наук, доцент Националь-
ного исследовательского Томского
политехнического университета,
г. Томск, Россия

УДК 536.468

О ВЛИЯНИИ СТРУКТУРЫ “ГОРЯЧИХ” ЧАСТИЦ НА УСЛОВИЯ ЗАЖИГАНИЯ ЖИДКИХ ТОПЛИВ

Излагаются результаты экспериментального исследования закономерностей зажигания жидких топлив (керосин, дизельное топливо и мазут) одиночной, нагретой до высоких температур частицей, образующейся при сварке. Проведено сравнение времени задержки зажигания исследуемых пожароопасных веществ монолитными (сфера и диск) и пористой частицами. Установлено, что время задержки зажигания дистиллятных топлив частицами, образовавшимися при сварке металлов, существенно меньше, чем при зажигании этих же топлив монолитными частицами.

Ключевые слова: экспериментальные исследования; жидкое топливо; время задержки зажигания; температура частицы; пористая частица.

Введение

В реальной практике возгорание жидких топлив возможно, в первую очередь, при проведении сварочных работ [1]. Образующиеся при сварке металлов частицы, как правило, представляют собой неправильные многогранники или несимметричные тела вращения. Многообразие возможных форм этих частиц практически исключает возможность их системного экспериментального исследования. Однако представляет интерес оценка влияния структуры реальной частицы, образующейся при сварке, на численные значения времени задержки зажигания. Кроме того, при установлении зависимости численных значений времени задержки зажигания жидких топлив от температуры частицы особый интерес представляет сравнение такой зависимости для частиц, полученных при сварке, и монолитных частиц в виде сферы и диска. С этой целью были проведены специальные экспериментальные исследования.

Методика эксперимента

При проведении исследований использовалась экспериментальная установка [2, 3], основными эле-

ментами которой являются нагревательная печь и контрольно-измерительный блок. При планировании экспериментов выбиралось такое значение высоты падения частицы, при котором пары исследуемых жидких топлив не воспламенялись от нагревательной печи. При проведении опытов частицы погружались в жидкость не полностью. В экспериментах использовались образующиеся при проведении сварочных работ частицы, которые предварительно собирались, измерялись и классифицировались.

Следует отметить одну из особенностей образующихся при сварке частиц. Визуальный осмотр их показал, что для них характерна достаточно высокая открытая пористость, роль которой в процессе передачи энергии от источника нагрева к жидкому топливу может быть велика. В экспериментах использовались три типа частиц: монолитные стальные в форме сферы ($d = 6 \cdot 10^{-3}$ м) и диска ($d = 6 \cdot 10^{-3}$ м, $h = 3 \cdot 10^{-3}$ м), а также пористые частицы, образующиеся при сварке. Площадь поперечного сечения частицы после сварки была равна или близка по миделеву сечению соответствующей площади частицы в форме сферы. Моделировались условия разлива жидкого топлива по твердой поверхности.

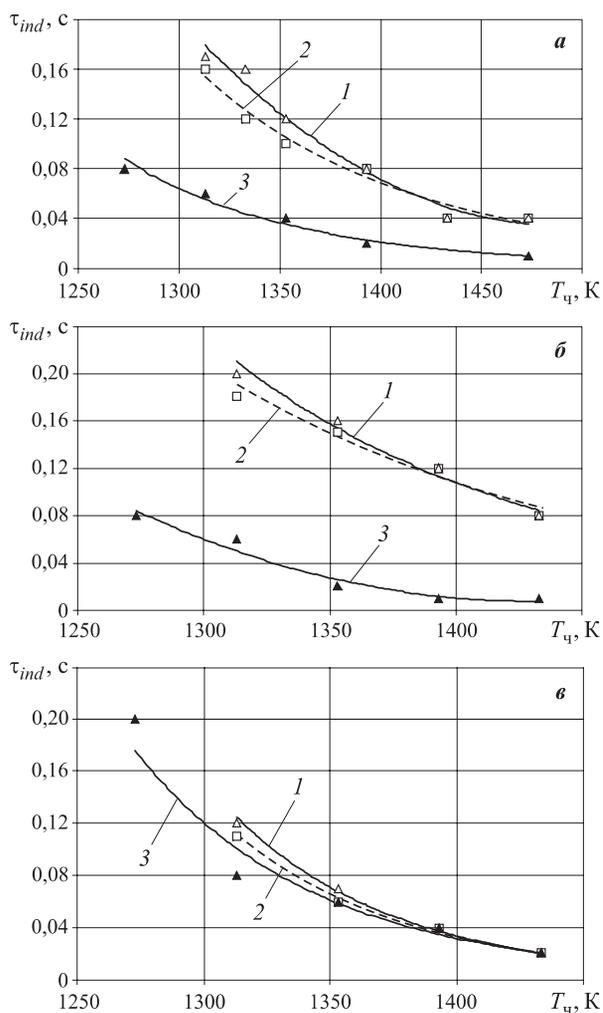
Металлическая частица падала в стеклянный вертикальный сосуд размером $h = 4 \cdot 10^{-2}$ м, $d = 5 \cdot 10^{-2}$ м. Толщина слоя топлива в сосуде была меньше размера частицы. Температура частицы существенно превышала начальную температуру жидкого топлива (300 К). Для обеспечения достоверности результатов измерений опыты проводились 4–6 раз подряд в одинаковых условиях. Моменты соприкосновения “горячей” стальной частицы с поверхностью жидкости и появления пламени фиксировались датчиками на базе электронного фотоэлемента. Время задержки зажигания определялось с момента контакта частицы с поверхностью топлива до появления пламени и регистрировалось на персональном компьютере (ПК).

Результаты экспериментальных исследований

На рисунке, *a–в* приведены результаты экспериментов по определению времени задержки зажигания исследуемых жидких топлив (дизельного топлива, керосина и мазута) одиночными нагретыми монолитными частицами и частицами, образующимися при сварке стали. Кривые построены в результате аппроксимации экспериментальных данных. Аппроксимационные кривые получены методом наименьших квадратов. Коэффициент вариации экспериментальных данных при постоянной температуре составлял не более 9 %. Из рисунка видно, что для пористых частиц, образующихся при сварке, начальная температура зажигания пожароопасного топлива существенно ниже, чем для монолитных частиц (правильной формы) идентичных размеров. Время задержки зажигания для пористой частицы неправильной формы также значительно меньше (при одинаковых температурах), чем для монолитных частиц в виде сферы и диска. Но это отличие характерно только для дистиллятных топлив — керосина и дизельного топлива.

Полученные результаты наглядно демонстрируют влияние наличия открытых пор у частицы на закономерности зажигания жидкостей. Механизм этого влияния, скорее всего, достаточно сложен и многогранен. Следует отметить, что пористые частицы при попадании в жидкое топливо нагревают его поверхность на большей площади по сравнению с монолитными частицами. Увеличение количества теплоты, передаваемое в зону испарения горючего с открытой поверхности частицы, приводит к росту величины теплового потока в эту зону.

Кроме этого, на процесс воспламенения исследуемых жидкостей, вероятно, влияет и находящийся в порах частиц воздух, так как в нагретой до высокой температуры частице газы в порах также имеют повышенную температуру. Эта температура,



Экспериментальная зависимость времени задержки зажигания дизельного топлива (*a*), керосина (*b*) и мазута (*v*) от температуры частицы: 1 — сфера $d = 6 \cdot 10^{-3}$ м; 2 — диск $d = 6 \cdot 10^{-3}$ м, $h = 3 \cdot 10^{-3}$ м; 3 — пористая частица

конечно, ниже температуры плавления стали, но существенно выше температуры жидкого топлива, поэтому в приповерхностной пористой структуре создаются условия для локального воспламенения горючего. Скорее всего, это происходит в сечении частицы на границе раздела жидкость – воздух, хотя воспламенение возможно и в порах затопленной поверхности частицы.

Следует также отметить, что плотность (реальная) пористых частиц заметно меньше плотности монолитных. Поэтому скорость осаждения пористой частицы в горючем намного ниже по сравнению с монолитной частицей и, соответственно, больше время контакта, а значит, и нагрева топлива частицей. В итоге совместное влияние этих факторов приводит к существенному снижению времени задержки воспламенения керосина и дизельного топлива пористыми частицами, образующимися при сварке, по сравнению со стальными частицами идентичных размеров.

На основании анализа можно сделать вывод о том, что полученные для монолитных стальных частиц численные значения времени задержки зажигания являются нижними оценками τ_{ind} для керосина и дизельного топлива. Зажигание этих жидкостей частицами, образующимися при сварке металлов, будет происходить с меньшим временем задержки.

Более сложен механизм зажигания пористыми частицами мазута. Полученные экспериментальные зависимости τ_{ind} от $T_{\text{ч}}$ показывают (см. рисунок, в), что для этого топлива характерен сдвиг предельных режимов зажигания в область менее высоких температур, как и для дистиллятных топлив. Однако при этом в диапазоне изменения $T_{\text{ч}}$, соответствующем условиям зажигания мазута стальными монолитными частицами, отклонения по параметру τ_{ind} нельзя назвать значительными. Вероятно, в этом проявляются специфические свойства мазута — высокая доля негазифицирующихся компонент, поэтому процесс воспламенения мазута происходит, когда из него испаряются те фракции, которые способны превращаться в пар. По мере ухода фракций со все более высокой температурой кипения возрастает температура остающейся части, и начинается термическое разложение остатка. Доля нелетучего остатка мазута весьма значительна и составляет 60–80 % начальной массы [4]. Поэтому именно го-

рением неиспаряющейся части мазута в основном определяются продолжительность и полнота сгорания этого топлива. Сдвиг предельных режимов зажигания в область меньших температур обусловлен, очевидно, ростом площади контакта поверхности частицы с мазутом и соответствующим увеличением теплового потока в зону испарения. С другой стороны, для этого топлива оценку величин τ_{ind} можно достаточно точно проводить по результатам экспериментов со стальными монолитными частицами правильной формы (диск, сфера).

Выводы

На основании результатов экспериментальных исследований можно сделать вывод о том, что время задержки зажигания типичных дистиллятных топлив — керосина и дизельного топлива “горячими” частицами, образующимися при сварке металлов, существенно меньше (в 2–4 раза), чем при зажигании этих же топлив монолитными стальными частицами адекватных размеров. Время задержки зажигания высоковязкого жидкого топлива — мазута не зависит от формы и пористости частиц.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 12.1.004–91*. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования. — Введ. 01.07.1992 г. — М. : ИПК “Изд-во стандартов”, 1996. — 35 с.
2. Кузнецов Г. В., Захаревич А. В., Максимов В. И. Зажигание жидкого пожароопасного вещества одиночной “горячей” металлической частицей // Изв. вузов. Физика. — 2007. — № 9/2. — С. 90–95.
3. Захаревич А. В., Кузнецов В. Т., Кузнецов Г. В., Максимов В. И. Зажигание модельных смесевых топливных композиций одиночной, нагретой до высоких температур частицей // Физика горения и взрыва. — 2008. — Т. 44, № 5. — С. 10–15.
4. Белосельский Б. С., Соляков В. К. Энергетическое топливо. — М. : Энергия, 1980. — 167 с.

*Материал поступил в редакцию 21 июня 2010 г.
Электронный адрес авторов: bet@tpu.ru.*



Г. А. Филиппович
канд. техн. наук, доцент,
профессор УО “Военная
академия Республики
Беларусь”, г. Минск,
Республика Беларусь



А. Н. Кудряшов
начальник Учреждения “Научно-
исследовательский институт по-
жарной безопасности и проблем
чрезвычайных ситуаций” МЧС РБ,
г. Минск, Республика Беларусь



А. Г. Яцукович
начальник отдела Учреждения
“Научно-исследовательский институт
пожарной безопасности и проблем
чрезвычайных ситуаций” МЧС РБ,
г. Минск, Республика Беларусь



А. П. Денисевич
гл. специалист Учреждения “Научно-
исследовательский институт пожар-
ной безопасности и проблем чрез-
вычайных ситуаций” МЧС РБ,
г. Минск, Республика Беларусь

УДК 614.841:620.197.6

ВЛИЯНИЕ ОГНЕЗАЩИТНОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ НА ЕЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ

Разработана методика исследования электрофизических параметров древесины, обработанной огнезащитными составами, которая базируется на измерении комплексной диэлектрической проницаемости необработанной и обработанной различными огнезащитными составами древесины. В качестве измеряемых параметров использовались емкость, проводимость и добротность образцов древесины, помещенных между обкладками конденсатора измерительного зонда. По результатам измерений оценивались относительная диэлектрическая проницаемость и тангенс угла потерь. Получены численные значения диэлектрических параметров древесины, обработанной основными огнезащитными составами, применяемыми в республике. Установлена возможность идентификации и контроля расхода защитных составов в процессе обработки на основе измерения диэлектрических параметров огнезащитной древесины.

Ключевые слова: огнезащитная обработка древесины; диэлектрические параметры древесины; оценка эффективности огнезащитных составов.

В последнее десятилетие достигнут существенный прогресс в разработке огнезащитных средств, которые позволяют повышать огнестойкость металлических конструкций до требуемого уровня, ограничивать распространение огня по несущим деревянным конструкциям, а также решать различные вопросы пожарной безопасности.

При разработке средств огнезащиты древесины наметилась тенденция к использованию пропиток, содержащих как органические, так и неорганические антипирены, что позволяет при их расходе до 300 г/м^2 перевести древесину в группу трудногоряемых материалов.

Огнезащитная эффективность производимого огнезащитного состава определяется по результатам испытаний [1], но конечное качество огнезащитной обработки зависит от качества проведения работ, а также от времени сохранения огнезащитных свойств. Несоблюдение норм расхода защитного материала, или требуемой толщины покрытия, или других требований нормативно-технической доку-

ментации при проведении огнезащитных работ влечет за собой снижение огнестойкости материалов и конструкций и, как следствие, их несоответствие проектной огнестойкости зданий (сооружений), ухудшение состояния объектов с точки зрения пожарной безопасности.

Как правило, производители устанавливают срок эксплуатации огнезащитного состава либо произвольно, либо по результатам испытаний на устойчивость к старению [2]. При этом гарантийные сроки варьируются от трех лет и выше. В настоящее время срок эксплуатации огнезащитных составов не регламентирован соответствующими нормативными документами в области пожарной безопасности. При этом по большинству составов нет подтвержденных временем данных о сохранении свойств в реальных условиях эксплуатации, а только результаты испытаний на устойчивость к старению.

В настоящее время можно определить две основные задачи исследований: получение объективных данных по качеству огнезащитной обработки на

объекте и контроль за соблюдением условий эксплуатации огнезащитной древесины. Поэтому и разработчики огнезащитных составов, и компании, применяющие эти составы, и надзорные органы нуждаются в разработке методов контроля качества на всех этапах производства, нанесения и эксплуатации огнезащитных составов.

Для оценки качества огнезащитной обработки используют экспресс-метод [3] и классификационный метод [1].

Если для определения качества производимых и применяемых огнезащитных средств проводят испытания на соответствие требованиям нормативных документов (классификационный метод [1]), то качество выполненной огнезащитной обработки определяется в основном только экспресс-методом [3]. Основным недостатком экспресс-метода является невозможность определения вида нанесенного огнезащитного средства (проблема идентификации) и группы огнезащитной эффективности.

Анализ литературы свидетельствует, что для идентификации огнезащитных средств и оценки качества их нанесения в настоящее время предлагаются различные методы: оптические, рентгеновские, термический анализ и др. Тем не менее ни один из указанных методов на данный момент не рекомендован как специальный действующими техническими нормативными правовыми актами. Большинство предлагаемых методов идентификации огнезащитных средств и определения качества огнезащиты объектов предполагают отбор соответствующих образцов древесины определенного размера путем их выпиливания, что, в свою очередь, невозможно реализовать без нарушения цельности конструкции. Особый интерес представляет инструментальный контроль с применением методов и средств неразрушающего контроля (проведение любого измерения, которое позволяет оценить признак, параметр или показатель качества без ухудшения присутствующих ему на момент контроля свойств) без отбора образца (т. е. без разрушения обработанной составом конструкции).

Научно-исследовательским институтом пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций МЧС Республики Беларусь совместно с Военной академией Республики Беларусь в качестве способа контроля качества огнезащитной обработки древесины предложены методы, основанные на измерении ее электрофизических свойств.

Процесс введения в поверхностный слой древесины огнезащитных составов или нанесение их на поверхность изменяет диэлектрические свойства поверхностного слоя древесины. Корреляционная зависимость между химическими и диэлектрическими свойствами древесины может быть положена в

основу разработки метода контроля качества огнезащиты и создания прибора для оперативного проведения подобного контроля.

С точки зрения диэлектрических свойств моделью древесины является реальный диэлектрик, обладающий определенными потерями энергии электромагнитной волны, обусловленными влажностью. Свойства такой среды в электромагнитном поле описываются комплексной постоянной распространения γ [4]:

$$\gamma = \alpha + j\beta,$$

где α — коэффициент затухания;

$$\alpha = \omega \sqrt{\frac{\epsilon_a \mu_a}{2} \sqrt{1 + \tan^2 \delta} - 1}; \quad (1)$$

ω — циклическая частота, рад;

ϵ_a, μ_a — абсолютные диэлектрическая и магнитная проницаемость;

$\tan \delta$ — тангенс угла потерь;

j — мнимая единица;

β — коэффициент фазы (волновое число);

$$\beta = \omega \sqrt{\frac{\epsilon_a \mu_a}{2} \sqrt{1 + \tan^2 \delta} + 1}. \quad (2)$$

Для реального диэлектрика $\tan \delta \ll 1$, поэтому выражения (1) и (2) примут вид:

$$\alpha = \frac{\omega}{2} \sqrt{\epsilon_a \mu_a} \tan \delta; \quad (3)$$

$$\beta = \omega \sqrt{\epsilon_a \mu_a}. \quad (4)$$

При сопоставлении выражений (3) и (4) видно, что коэффициент затухания и коэффициент фазы связаны между собой соотношением

$$\alpha = \frac{\beta}{2} \tan \delta. \quad (5)$$

Из соотношения (5) можно вынести следующую полезную для поставленной цели информацию. Коэффициент фазы характеризует свойства электромагнитного поля в идеальном диэлектрике, которым можно считать хорошо высушенную древесину. Проводящие свойства древесины, обусловленные ее влажностью, характеризуются коэффициентом затухания, и мерой этих потерь можно считать величину $\tan \delta$. Если полагать, что обработка древесины изменяет коэффициент фазы электромагнитного поля, то для учета влажности необходимо измерять тангенс угла потерь либо другую величину, однозначно его характеризующую. Таким образом, для однозначной оценки огнезащитности древесины необходимо измерять не менее двух параметров.

Коэффициенты фазы и потерь обычно не являются измеряемыми показателями. Измерению подвергаются диэлектрические параметры среды. Ди-

электрические свойства древесины однозначно характеризуются комплексной диэлектрической проницаемостью $\tilde{\epsilon}_a$, которая, в свою очередь, определяется двумя независимыми параметрами:

$$\tilde{\epsilon}_a = \epsilon_a - j\epsilon'_a, \quad (6)$$

где ϵ_a — абсолютная диэлектрическая проницаемость в идеальном диэлектрике;

ϵ'_a — реактивная составляющая диэлектрической проницаемости, характеризующая потери энергии электромагнитной волны в веществе (коэффициент диэлектрических потерь).

Выражение (6) также имеет другую форму записи, отражающую связь между диэлектрической проницаемостью и тангенсом угла потерь:

$$\tilde{\epsilon}_a = \epsilon_a (1 - j \tan \delta). \quad (7)$$

Таким образом, измеряемыми параметрами для оценки огнезащитности древесины могут быть относительная диэлектрическая проницаемость ϵ , связанная с ϵ_a соотношением $\epsilon_a = \epsilon_0 \epsilon$ (ϵ_0 — диэлектрическая проницаемость вакуума), и тангенс угла потерь.

В случае твердых диэлектриков, к числу которых относится древесина, измерение диэлектрических параметров часто сводится к измерению емкости плоского конденсатора, между пластинами которого помещен исследуемый диэлектрик. Емкость такого конденсатора C определяется известной формулой

$$C = S/(d\epsilon), \quad (8)$$

где S — площадь боковой грани конденсатора;

d — толщина диэлектрического образца.

Измерения диэлектрических параметров древесины резонансным методом проводятся на основе резонанса токов в параллельном резонансном контуре или резонанса напряжений в последовательном резонансном контуре.

Военной академией Республики Беларусь была разработана экспериментальная установка, позволяющая исследовать диэлектрические свойства древесины, обработанной огнезащитными составами. Установка включает два измерительных стенда (с измерителем добротности в комплекте с набором высокодобротных образцовых индуктивностей, обеспечивающих проведение измерений в диапазоне частот 30...300 МГц, и с цифровым измерителем индуктивности, емкости и сопротивления на фиксированной частоте 1 МГц). Изготовлены также две конструкции измерительных зондов — для объемной и поверхностной оценки диэлектрических свойств древесины.

В прикладных задачах электродинамики диэлектрические параметры являются частотно-зависимыми и измеряются в широком диапазоне частот (от 0

до 10^{13} Гц). Различают низкочастотную и высокочастотную области, в которых составляющие комплексной диэлектрической проницаемости (6) относительно постоянны [5]. Между этими областями существует область аномальной дисперсии, в которой обе составляющие быстро меняются с изменением частоты. Принимая во внимание эти обстоятельства, предпочтение следует отдать низкочастотному диапазону, поскольку в нем активная составляющая (6) значительно больше, чем в высокочастотном диапазоне.

Для того чтобы иметь возможность оценить изменение электрофизических параметров древесины в результате обработки ее огнезащитными составами, необходимо знать эти параметры для необработанной древесины. Тогда изменение электрофизических параметров после огнезащитной обработки может служить, с одной стороны, косвенным показателем качества защитного состава, а с другой — мерой защитных свойств строительных конструкций из дерева.

Существующие в литературе [5] сведения относятся главным образом к относительной диэлектрической проницаемости, которая для различных пород дерева колеблется в пределах от 2 до 4. Сведения по параметрам, характеризующим потери энергии электромагнитной волны, в литературе не приводятся, поскольку зависят от влажности древесины. Вместе с тем, как уже отмечалось, знание такого параметра является принципиально необходимым для оценки огнезащитной эффективности, поэтому тангенс угла потерь использовался в качестве одного из основных измеряемых параметров.

Предварительно были проведены исследования электрофизических параметров необработанной древесины. Измеряемые параметры — емкость конденсатора зонда C , проводимость контрольного образца древесины G и тангенс угла потерь $\tan \delta$. При использовании этих данных следует иметь в виду, что сравнение измеряемых параметров различных пород древесины возможно только для образцов одинаковой толщины. По результатам измеряемых параметров были рассчитаны относительная диэлектрическая проницаемость ϵ_0 и тангенс угла потерь $\tan \delta$.

Исследование частотных свойств диэлектрических параметров проводилось на измерительном стенде в диапазоне частот 30...160 МГц. Результаты измерений представлены на рис. 1 в виде частотных зависимостей добротности резонансного контура. Добротность является величиной, обратной тангенсу угла потерь [3], и определяется отношением действительной составляющей выражения (6) к мнимой. На графике хорошо видна область аномальной дисперсии, характерной для промежуточ-

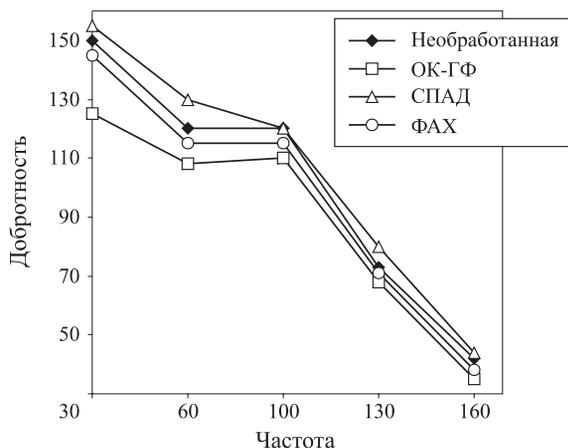


Рис. 1. Зависимость добротности от частоты

ной зоны, где добротность (параметр ϵ_0) убывает с ростом частоты.

Из приведенной зависимости (см. рис. 1) видно, что процесс обработки древесины оказывает заметное влияние на диэлектрические свойства древесины. Пропиточные составы глубокого проникновения (ОК-ГФ, ФАХ) снижают добротность резонатора, в то время как поверхностная обработка (состав СПАД) приводит к ее увеличению. Чувствительность измерений возрастает с уменьшением частоты настройки резонатора.

Последующие измерения проводились на частоте 1 МГц, что соответствует области нормальной (низкочастотной) дисперсии. Для измерений использовались образцы, обработанные огнезащитными составами (СПАД, ФАХ, ОК-ГФ), огнебиозащитными (Бокемит, Доктор 1+), огнезащитным лаком (ЛДО). Для сравнения с огнезащитными составами серия образцов была обработана пенообразователем для тушения пожаров (Барьер).

В результате исследований было выяснено, что добротность резонатора и проводимость образца древесины являются параметрами, наиболее чувствительными к воздействию огнезащитных составов (рис. 2 и 3). Фактически для всех составов различие в добротности весьма ощутимо, что может быть использовано для их идентификации.

В диаграмму проводимости не включено значение для ОК-ГФ, так как оно больше приведенных в диаграмме более чем в 10 раз.

Последующая серия измерений проводилась с целью исследовать возможность оценки расхода защитного состава на основе измерения диэлектрических параметров. Для этого контрольные образцы древесины подвергались однократной и двукратной обработке. Результаты измерений представлены на рис. 4 и 5. Как видно из диаграмм, повторная обработка приводит к значительному увеличению проводимости и уменьшению добротности.

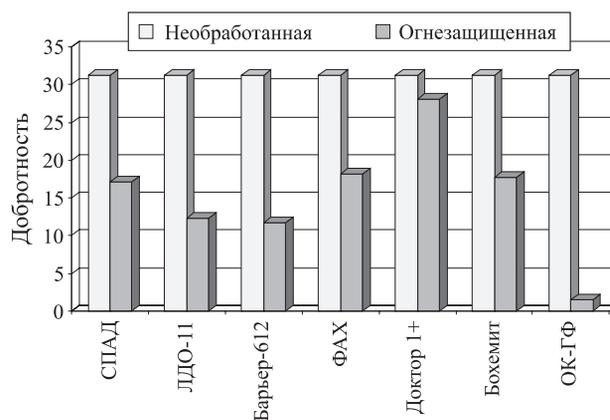


Рис. 2. Добротность обработанной древесины при исследовании на частоте 1 МГц

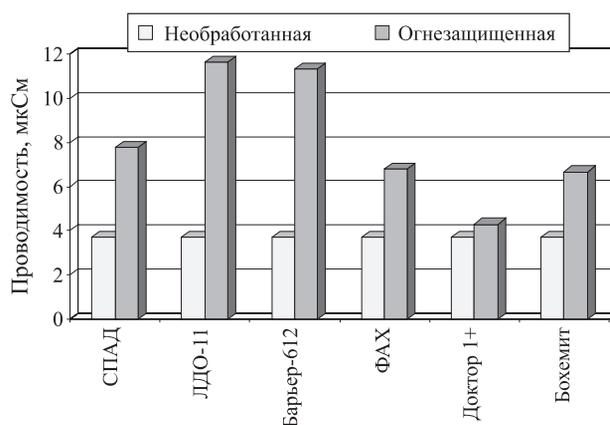


Рис. 3. Проводимость обработанной древесины при исследовании на частоте 1 МГц

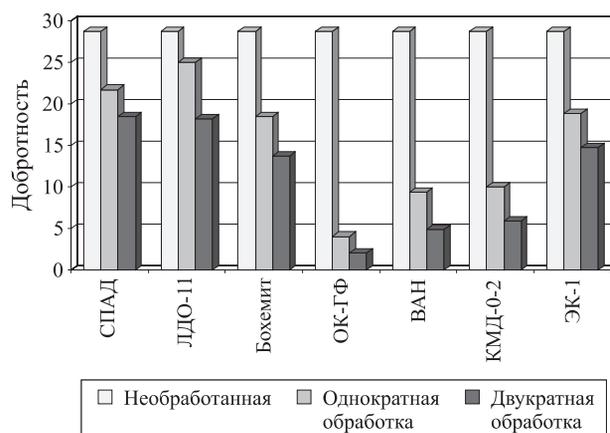


Рис. 4. Добротность обработанной древесины при изучении возможности оценки расхода защитного состава измерением диэлектрических параметров

Полученные результаты подтверждают возможность контролировать расход защитного состава в процессе обработки (соответственно, качества огнезащитной обработки) посредством измерения диэлектрических параметров.

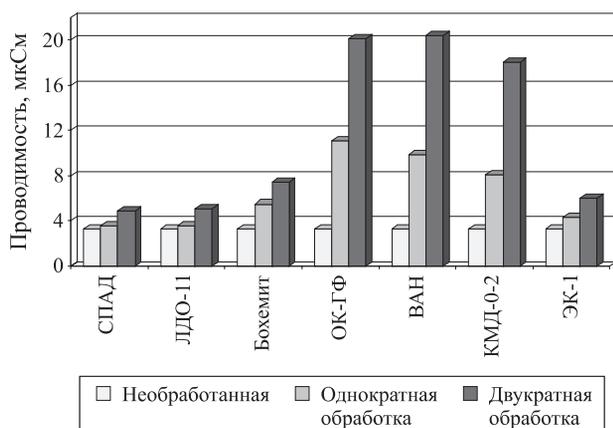


Рис. 5. Проводимость обработанной древесины при изучении возможности оценки расхода защитного состава измерением диэлектрических параметров

Основные результаты проделанной работы сводятся к следующему:

- добротность резонатора, диэлектрическая проницаемость и проводимость являются параметрами, наиболее чувствительными к воздействию огнезащитных составов;

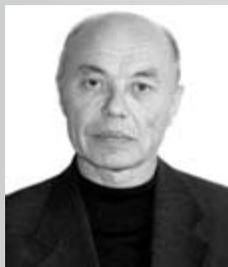
- достоверная оценка эффективности огнезащитных составов возможна только в условиях сравнения диэлектрических параметров одинаковых образцов;
- измерение диэлектрических параметров целесообразно проводить в частотном диапазоне, соответствующем низкочастотной нормальной дисперсии;
- результаты измерений диэлектрических параметров обработанной древесины свидетельствуют о возможности идентификации огнезащитных составов;
- установлена возможность контроля расхода огнезащитного состава в процессе обработки посредством измерения диэлектрических параметров.

Полученные результаты следует рассматривать как предварительные, подтверждающие правильность направления исследований, а именно: что химические процессы, происходящие при обработке древесины, можно контролировать измерением диэлектрических параметров поверхностного слоя, глубина которого определяется видом обработки и эффективностью огнезащитного состава.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *ГОСТ 16363–98.* Средства огнезащитные для древесины. Методы определения огнезащитных свойств : утв. Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации 28.05.1998; Госстандартом России 25.09.1998 : введ. в действие 01.07.1999. — М. : ИПК “Изд-во стандартов”, 1998; 2002.
2. *НПБ 98–2004.* Огнезащитные покрытия. Методы определения устойчивости к старению : утв. МЧС РБ 13.12.2004. — Минск : Промбытсервис, 2005. — 16 с.
3. *ГОСТ 30219–95.* Древесина огнезащищенная. Общие технические требования. Методы испытаний. Транспортирование и хранение : утв. Постановлением Белстандарта от 02.02.1996 № 2 : принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 12.10.1995 № 8-95) : введ. в действие 01.07.1996. — Минск : Белстандарт, БелГИСС, 1995. — 18 с.
4. *Эме Ф.* Диэлектрические измерения. — М. : Химия, 1967. — 223 с.
5. *Филлипович Г. А., Кудряшов А. Н., Яцукович А. Г., Денисевич А. П.* Перспективные направления разработки переносного прибора оценки качества огнезащитной обработки древесины и материалов на ее основе : материалы V Международной научно-практической конференции “Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация”. — Минск, 2009.

*Материал поступил в редакцию 28 июля 2010 г.
Электронный адрес авторов: mcdan@yandex.ru.*



Р. З. Фахрисламов
канд. техн. наук, доцент
Московского государственного
строительного университета,
г. Москва, Россия



А. Ф. Белых
аспирантка Московского
государственного строи-
тельного университета,
г. Москва, Россия



А. Я. Корольченко
д-р техн. наук, профессор
Московского государственного
строительного университета,
г. Москва, Россия



С. Ю. Кузнецов
генеральный директор
ООО "Энергосбережение",
г. Ярославль, Россия

УДК 841.332

УСЛОВИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ГОРЕНИЯ ТЕПЛОЙ ИЗОЛЯЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Исследована физическая модель процесса воспламенения и распространения пламени конструкций теплозащиты трубопровода. Рассмотрено математическое описание процессов воспламенения и распространения пламени. Приведены соотношения для скорости распространения пламени по горизонтальной поверхности термически толстых и тонких полимеров, а также для критической скорости срыва горения с поверхности.

Ключевые слова: пожароопасность; воспламенение; тепловая изоляция; трубопроводы; полимеры; диффузия; пламя; горение.

Физическая модель процесса воспламенения и распространения пламени по тепловой изоляции трубопровода

Пожары, возникновение которых обусловлено воспламенением и горением полимерных материалов, ежегодно наносят большой материальный ущерб и приводят к человеческим жертвам. Статистические данные показывают, что причиной возникновения до 80 % пожаров является действие малокалорийных источников зажигания.

Воспламенение твердых горючих полимерных материалов — нестационарный процесс, при котором скорость выделения тепловой энергии возрастает с повышением температуры значительно быстрее, чем скорость теплопотерь. В ячеистых, волокнистых и зернистых веществах и материалах при незначительном уровне падающего на них теплового потока ($10\text{--}20\text{ кВт/м}^2$) может реализоваться режим тления, а при более мощном тепловом потоке — режим пламенного горения. При исследовании зависимости пределов воспламенения от состава газовой смеси в продуктах пиролиза материала необходимо использовать достаточно мощные источники зажигания.

Температура воспламенения — наименьшая температура вещества, при которой в условиях специаль-

ных испытаний вещество выделяет горючие пары и газы с такой скоростью, что после их зажигания возникает устойчивое пламенное горение.

В соответствии с п. 2 ГОСТ 12.1.044–89 (далее ГОСТ) [1] пожаровзрывоопасность веществ и материалов — совокупность свойств, характеризующих их способность к возникновению и распространению горения, следствием которого в зависимости от скорости и условий протекания может быть пожар (диффузионное горение) или взрыв (дефлаграционное горение предварительно перемешанной смеси горючего с окислителем). Полимеры удовлетворяют также условию п. 2.1.2 [1], т. е. являются материалами, способными возгораться при воздействии источника зажигания и самостоятельно гореть после его удаления.

Для реализации воспламенения необходимо одновременное выполнение двух условий: температура поверхности горючего должна достигнуть температуры, при которой происходит его интенсивная газификация.

В теории газофазного воспламенения принимается, что вещество под влиянием внешнего источника нагрева пиролизует с образованием горючих газообразных продуктов, которые смешиваются и взаимодействуют с окисляющим агентом — кисло-

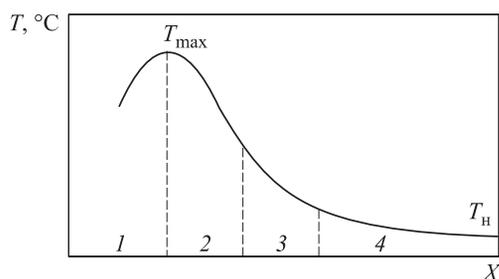


Рис. 1. Схема адиабатической структуры волны горения полимеров: 1 — продукты горения; 2 — зона горения; 3 — прогретый слой; 4 — исходный материал; X — координата вдоль оси поверхности материала в направлении распространения волны горения; T — координата температуры, °C

родом воздуха. Взаимодействие последнего с полимером и горючими продуктами его разложения и газификации зависит от условий смешения, скорости диффузии реагентов. Горение полимеров представляет собой сложный физико-химический процесс, включающий химические реакции деструкции, сшивания и карбонизации полимера в конденсированной фазе, химические реакции превращения и окисления газообразных продуктов, а также физические процессы интенсивных теплопередачи и массопередачи [2]. Таким образом, механизм горения полимеров представляет собой совокупность различных физико-химических процессов, в результате которых исходное вещество превращается в нагретые до высокой температуры продукты сгорания. Самопроизвольно распространяющуюся пространственную область, в которой реализуются эти процессы, называют волной горения. Простейшая схема структуры волны горения полимеров, соответствующая адиабатическому (т. е. при отсутствии потерь тепла в окружающую среду) образованию продуктов сгорания, показана на рис. 1. В этом случае волна горения состоит из узкой зоны реакции и примыкающего к ней прогретого слоя системы. В структуре волны горения полимерных материалов наблюдается резкое изменение температуры от начального (T_n) до максимального (T_{max}) значения, соответствующего полному сгоранию реагентов, в газовой фазе [3].

Зарождение и возникновение горения полимерных материалов в стандартных условиях эксплуатации осуществляется в результате газофазного воспламенения горючих продуктов термоокислительной деструкции полимеров. В этом случае особенно важно учитывать диффузионные явления и анализ их влияния на развитие самоускорения экзотермических реакций окисления [3].

Процессы горения полимеров делятся на обычное газовое и гетерогенное горение, или тление. В первом случае большая часть тепла, ответственного за поддержание самостоятельного химического пре-

вращения, выделяется в газовой фазе при окислении газообразных продуктов деструкции полимера. При этом область максимальной скорости выделения тепла (газовое пламя) обычно отстоит от поверхности на расстояние порядка миллиметров и более в зависимости от конкретных условий горения. Поверхность полимера в таком случае оказывается значительно холоднее области газового пламени. Температуры поверхности составляют 400–650 °C, а максимальные температуры в газовой фазе достигают 1100–1200 °C и более. При тлении же все тепло выделяется главным образом в поверхностном слое конденсированной фазы, где и наблюдаются максимальные температуры (800–900 °C).

При горении органических полимерных материалов окислителем является кислород воздуха, а горючим — водород и углеродсодержащие газообразные продукты деструкции полимера, которые в результате окисления превращаются в воду и углекислый газ или при неполном окислении — в угарный газ (CO). Потоки горючего и окислителя в этом случае пространственно разделены, и химическая реакция их взаимодействия обычно лимитируется подачей реагентов к пламени диффузией или конвекцией. Газовое пламя носит тепловой характер, т. е. его существование определяется наличием достаточно большого теплового эффекта при сгорании продуктов деструкции полимера и сильной температурной зависимостью скорости реакции окисления (большого значения эффективной энергии активации). При горении полимеров наблюдаются критические явления, характерные вообще для процессов горения. Снижение температуры пламени по тем или иным причинам приводит к скачкообразному переходу от одного режима окисления — горения к другому — очень медленному окислению. Эти режимы различаются между собой по скоростям на многие порядки. Поэтому можно говорить о существовании критических условий, определяющих границы возможного горения данного материала. Следует отметить, что эти условия зависят от геометрии образцов и пламени, температуры полимера и газовой среды и не являются абсолютными характеристиками данного материала [4].

Характерной особенностью горения полимерной тепловой изоляции на трубопроводах является возможность распространения фронта пламени в горизонтальном, вертикальном или наклонном направлении, соответствующем положению трубопроводов.

Когда горение распространяется вертикально вверх, по направлению конвективных газовых потоков, теплопередача осуществляется не только лучистым теплообменом, но и конвекцией. Пламя и продукты в этом случае непосредственно омывают

поверхность горения. Скорость нагрева поверхности горения и скорость распространения пламени резко возрастают — в 5–10 раз и более.

Скорость горизонтального распространения пламени составляет несколько сантиметров в секунду и зависит от температуры факела пламени и геометрических размеров материала. На процесс воспламенения и распространения пламени существенное влияние оказывают также толщина и плотность материала, направление и скорость внешних газовых потоков. В связи с этим материалы подразделяются на термически толстые и тонкие. Если толщина горящего слоя меньше некоторого характерного размера, то говорят о термически тонком материале, если больше — о термически толстом. Установлено, что встречный поток воздуха снижает скорость распространения пламени по поверхности материала в 2–3 раза, а попутный — соответственно в 2–3 раза увеличивает ее [3].

Математическое описание процессов воспламенения и распространения пламени

Для описания условий воспламенения и выявления основных закономерностей процессов воспламенения и распространения пламени в конденсированной фазе чаще всего используют классическую тепловую теорию зажигания веществ [1]. При выявлении этих закономерностей тепловая теория рассматривает модели, предполагающие следующие допущения: постоянство физических свойств материала в процессе нагрева; одномерность теплопередачи; протекание химических реакций нулевого порядка; постоянство значения теплового потока, подводимого к материалу. Эти модели, разработанные для предварительно перемешанных смесей, не позволяют выявить взаимосвязи между характеристиками воспламенения полимерных материалов, для которых характерным является диффузионный режим горения.

Создание данных условий является определяющим в процессе распространения пламени. Резкое повышение температуры происходит на незначительном расстоянии по длине участка δ от передней кромки пламени. Так, например, для полиметилметакрилата эта температура составляет 560 °С, а длина участка δ изменяется в зависимости от состава окружающей газовой фазы от 1,5 до 4,0 мм.

Полагая, что распространение пламени в основном определяется процессами передачи тепла от пламени в зону воспламенения на участке длиной δ , модель распространения пламени можно представить следующим образом (рис. 2).

Допустим, что фронт пламени распространяется по поверхности образца на участке δ_1 со скоростью U . Поверхность данного участка уже имеет

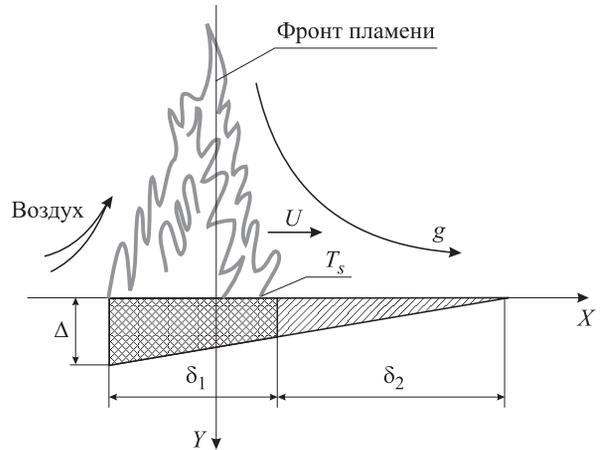


Рис. 2. Схема распространения пламени по материалу: δ_1 — участок поверхности образца, по которому распространяется пламя; δ_2 — участок поверхности, прогреваемый падающим тепловым потоком g от пламени

температуру, равную T_s . Значит, за промежуток времени $\tau = \delta/U$ поверхность участка δ_2 должна успеть прогреться до такой же температуры за счет падающего теплового потока g от пламени.

Таким образом, задача определения скорости распространения пламени по полимерному материалу может быть сведена к расчету изменения температуры поверхности образца за время τ под действием теплового потока g .

Будем считать, что градиенты температуры в образце по направлению, параллельному поверхности тела, значительно меньше, чем в направлении нормали к поверхности. Тогда изменение температуры в образце будет описываться следующим дифференциальным уравнением теплопроводности:

$$\frac{\delta T}{\delta \tau} = a \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \quad (1)$$

Начальными и граничными условиями задачи будут:

$$\tau = 0, \Delta = 0; \quad (2)$$

$$y = 0, g + \lambda (dT/dx) = mH; \quad (3)$$

$$y = \Delta, T = T_0, \quad (4)$$

где T — текущая температура;

τ — время;

a — коэффициент температуропроводности материала;

y — координата, начинающаяся на поверхности образца и направленная в его глубину;

Δ — глубина прогретого слоя;

λ — теплопроводность образца;

m — скорость выгорания;

H — теплота образования продуктов пиролиза;

T_0 — начальная температура на поверхности образца.

Типичное распределение температуры в образце в различные моменты времени будет иметь вид, представленный на рис. 3.

Решим задачу сначала для термически толстых образцов с помощью метода интегрального теплового баланса. При этом воспользуемся дополнительным условием, формулирующим постоянство температуры T_0 при координате $y = \Delta$ (см. рис. 3):

$$y = \Delta, \quad dT/dy. \quad (5)$$

Интегрируя уравнение (1) в пределах от 0 до Δ и учитывая, что Δ является функцией времени, получим:

$$\frac{d}{d\tau} \int_0^{\Delta} T dy - T_0(\Delta, \tau) \frac{d\Delta}{d\tau} = a \left[\frac{\partial T(\Delta, \tau)}{\partial y} - \frac{\partial T(0, \tau)}{\partial y} \right]. \quad (6)$$

Используя в уравнении (6) граничные условия (4) и (5), получим уравнение:

$$\frac{d}{d\tau} \int_0^{\Delta} T dy - T_0 \frac{d\Delta}{d\tau} = -a \frac{\partial T(0, \tau)}{\partial y}. \quad (7)$$

Зададим распределение температуры в массиве материала на глубине Δ , которое будет описываться полиномом второй степени с коэффициентами, являющимися функцией времени:

$$T = A + B(\Delta - y) + C(\Delta - y)^2, \quad (8)$$

где A , B и C — коэффициенты полинома.

Определив коэффициенты полинома, с помощью условий (3) – (5) получим распределение температуры:

$$T = T_0 + \frac{g - mH}{2\lambda\Delta} (\Delta - y)^2. \quad (9)$$

Если соотношение (9) подставить в уравнение (7) и провести необходимые преобразования, то получим дифференциальное уравнение, определяющее зависимость между временем и глубиной прогрева слоя Δ :

$$\frac{1}{6} \frac{d\Delta^2}{d\tau} = a. \quad (10)$$

С учетом начального условия (2) решением уравнения (10) будет:

$$\Delta = \sqrt{6a\tau}. \quad (11)$$

В соответствии с выражением (11) распределение температуры в образце (9) будет иметь вид:

$$T = T_0 + \frac{g - mH}{2\lambda\sqrt{6a\tau}} \left(\sqrt{6a\tau} - y \right)^2. \quad (12)$$

Для того чтобы найти зависимость изменения температуры на поверхности образца по времени необходимо в уравнении (12) задать $y = 0$. Тогда с учетом того, что к моменту времени $\tau = \delta/U$ температу-

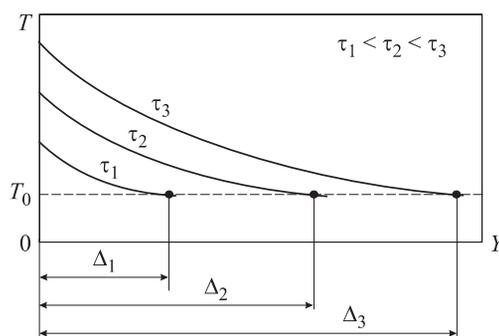


Рис. 3. Распределение температуры в полимерном материале в различные моменты времени

ра на поверхности массива образца материала будет равна T_s , скорость пламени для термически толстого материала будет определяться выражением

$$U = \frac{3\delta(g - mH)^2}{2\lambda c\rho(T_s - T_0)}, \quad (13)$$

где c и ρ — соответственно теплоемкость и плотность образца материала.

Для получения аналогичного вывода, справедливого для термически тонкого материала, следует воспользоваться решением Гудмана, полученным им для бесконечной пластины методом интегрального теплового баланса.

В принятых нами обозначениях температура на поверхности образца материала в любой его точке описывается уравнением

$$T_s = T_0 + \frac{g - mH}{\lambda} \left(1 - 0,814 l^{-2,4a\tau/l^2} \right), \quad (14)$$

где l — толщина пластины.

Поскольку нами не ставится задача получения точного решения, то с целью упрощения расчетов стоящий перед экспонентой коэффициент 0,814 заменим на единицу.

Кроме того, как показывает оценка показателя экспоненты, для малых времен пробега пламени на расстояние δ имеем:

$$\frac{2,4a\tau}{l^2} \leq 1.$$

Поэтому, ограничиваясь двумя первыми членами разложения экспоненты в ряд и выражая время через скорость распространения пламени по участку δ , для термически тонкого образца, будем иметь:

$$U = \frac{2,4\delta(g - mH)}{c\rho l(T_s - T_0)}. \quad (15)$$

Неизвестное значение g определим через часть теплового потока, передаваемого непосредственно

от пламени участку δ . Так как длина участка δ невелика, то величину g можно представить в виде:

$$g \approx \frac{\lambda_r (T_{пл} - T_s)}{\delta}, \quad (16)$$

где λ_r — теплопроводность парогазовой фазы;
 $T_{пл}$ — температура пламени.

Подставив выражение (16) в соотношения (13) и (15), получим уравнение скорости распространения пламени по поверхности:

- для термически толстого образца материала:

$$U = \frac{\varphi [\lambda_r (T_{пл} - T_s) - \delta mH]^2}{\lambda c_p \delta (T_s - T_0)}; \quad (17)$$

- для термически тонкого образца материала:

$$U = \frac{\psi [\lambda_r (T_{пл} - T_s) - \delta mH]^2}{c_p l (T_s - T_0)}, \quad (18)$$

где φ и ψ — числовые множители.

Длину участка прогрева δ можно определить с помощью выражения

$$\delta = \frac{2\lambda_r}{c_r \rho_r U_a}, \quad (19)$$

где c_r , ρ_r — теплоемкость и плотность парогазовой фазы;

U_a — скорость воздуха, поступающего в зону реакции под действием силы тяжести.

Значение этой скорости можно определить с помощью приближенного соотношения

$$U_a \approx \sqrt[3]{\frac{\lambda_r g (T_{пл} - T_0)}{c_r \rho_r T_0}}. \quad (20)$$

Подставляя соотношение (19) в уравнение (17), получим окончательное выражение для определения скорости распространения пламени по поверхности термически толстого материала:

$$U = \frac{\varphi \lambda_r c_r \rho_r U_a \left[(T_{пл} - T_s) - \frac{2mH}{c_r \rho_r U_a} \right]^2}{2\lambda c_p (T_s - T_0)}. \quad (21)$$

Для более полного изучения процесса распространения пламени по поверхности твердого материала, помимо скорости распространения пламени, необходимо знать и критическую (предельную) скорость распространения пламени, при которой происходит срыв пламени (процесс горения).

При определении предельной скорости распространения пламени по поверхности материала предположим, что с определенной скоростью U не пламя движется по поверхности образца, а сам образец перемещается, как бы набега на пламя. В данном случае относительно наблюдателя фронт пламени будет неподвижным, и его тепловое состояние

может быть описано стационарным уравнением теплопередачи. Составим уравнение теплового баланса, соответствующее этому состоянию.

Если к поверхности пламени, имеющей температуру T , переносится поток массы горючей смеси ρU , то вместе с ней переносится и ее энтальпия Q_1 :

$$Q_1 = \rho_p U S c_p (T - T_0), \quad (22)$$

где ρ_p , c_p — плотность и теплоемкость выделяющихся паров с поверхности материала;

S — площадь поверхности переднего фронта пламени;

T_0 — температура окружающей среды.

Количество тепла Q_2 , выделяющегося в объеме пламени за счет тепла химической реакции, представим в виде:

$$Q_2 = Q V W(T), \quad (23)$$

где V — объем пламени;

Q — тепловой эффект реакции;

$W(T)$ — скорость реакции горения.

Кроме того, на противоположной стороне от фронта пламени часть выделяющегося тепла Q_3 передается конвекцией в окружающее пространство:

$$Q_3 = \alpha S (T - T_0), \quad (24)$$

где α — коэффициент теплоотдачи.

Учитывая, что объем пламени $V = Sd$ (где d — толщина зоны реакции), и используя уравнения (22) и (24), получим окончательное уравнение теплового баланса:

$$QdW(T) = (d - \rho U c_p)(T - T_0). \quad (25)$$

Считая все участки пламени равнодоступными в диффузионном отношении, скорость реакции запишем в виде:

$$W(T) = \frac{\kappa \beta c_0}{\kappa + \beta}; \quad \kappa = \kappa_0 e^{-E/RT}, \quad (26)$$

где κ — константа скорости реакции горения;

β — коэффициент массоотдачи;

c_0 — концентрация окислителя вдали от реакции горения;

κ_0 — предэкспоненциальный множитель;

E — энергия активации;

R — универсальная газовая постоянная.

Довольно сложная зависимость уравнения (26) не позволяет непосредственно использовать это выражение при определении критических условий срыва пламени. Однако для диффузионного режима горения при $\kappa \gg \beta$ уравнение (26) можно представить в виде:

$$W(T) = \frac{\beta c_0}{\lambda} \left(1 - \frac{\beta}{\kappa_0} e^{-E/RT} \right). \quad (27)$$

С учетом полученного уравнения (27) уравнение (25) примет вид:

$$Q\beta c_0 \left(1 - \frac{\beta}{\kappa_0} e^{-E/RT} \right) = (d - \rho U c_p) (T - T_0). \quad (28)$$

Найдем критическое условие, воспользовавшись касанием кривых теплоподвода (g_1) и теплоотвода (g_2) от пламени при критической температуре, которая описывается в точке касания системой уравнений, предложенной Н. Н. Семеновым:

$$g_1 = g_2, \quad \frac{dg_1}{dT} = \frac{dg_2}{dT}. \quad (29)$$

Продифференцировав по температуре уравнение (28), получим:

$$\frac{EQ\beta^2 c_0 e^{E/RT}}{RT^2 \kappa_0} = (d - \rho U c_p). \quad (30)$$

Решая систему из уравнений (28) и (30), получим квадратное уравнение относительно критической температуры T :

$$T^2 + \frac{E}{R} T - \frac{E}{R} \left(\frac{Q\beta c_0}{d - \rho U c_p} - T_0 \right) = 0. \quad (31)$$

При стационарном горении при температуре пламени $T_{пл}$ с учетом диффузионного режима горения имеем:

$$\frac{\beta e^{E/RT_{пл}}}{\kappa_0} \leq 1. \quad (32)$$

Тогда из уравнения (28) следует:

$$Q\beta c_0 \approx (d - \rho U c_p) (T_{пл} - T_0). \quad (33)$$

Подставив выражение (33) в (31), получим уравнение

$$T^2 + \frac{E}{R} T - \frac{E}{R} T_{пл} = 0, \quad (34)$$

решением которого будет:

$$T_{кр} = -\frac{E}{2R} + \frac{E}{2R} \sqrt{1 + \frac{4RT_{пл}}{E}}. \quad (35)$$

Если разложить радикал в ряд и ограничиться тремя членами разложения, то для критической температуры получим выражение

$$T_{кр} \approx T_{пл} - \frac{RT_{пл}^2}{E}. \quad (36)$$

Воспользовавшись данным выражением (36), критическое условие запишем в виде уравнения

$$Q\beta c_0 \left(1 - \frac{\beta e^{\frac{E}{R(T_{пл} - RT_{пл}^2/E)}}}{\kappa_0} \right) =$$

$$= (d - \rho U c_p) \left(T_{пл} - \frac{RT_{пл}^2}{E} - T_0 \right). \quad (37)$$

Преобразуем в данном уравнении экспоненту следующим образом:

$$\frac{E}{e^{RT_{пл}(1 - RT_{пл}^2/E)}} \approx \frac{E}{e^{RT_{пл}(1 + RT_{пл}^2/E)}} = e \cdot e^{E/RT_{пл}} = [1 + (e - 1)]^{E/RT_{пл}} e.$$

Используя полученное преобразование в уравнении (37), с учетом выражения (33) будем иметь:

$$\frac{Q\beta^2 c_0}{\kappa_0} (1 - 1) e^{E/RT_{пл}} = (d - \rho U c_p) \frac{RT_{пл}}{E}. \quad (38)$$

Решая уравнение (38) относительно критической скорости распространения пламени $U_{кр}$, можно вывести для нее уравнение:

$$U_{кр} = \frac{d}{c_p \rho} \left[1 - \frac{Q\beta^2 E c_0 (e - 1) e^{E/RT_{пл}}}{d R T_{пл}^2 \kappa_0} \right]. \quad (39)$$

Оценим величину второго члена стоящего в квадратных скобках уравнения (39). Для этого перепишем его в виде:

$$\frac{\beta}{\kappa_0 e^{-E/RT_{пл}}} \frac{E}{R T_{пл}^2} \frac{Q\beta c_0}{d} (e - 1), \quad (40)$$

где e — основание натуральных логарифмов.

С учетом условия (38) и того, что для обычных реакций горения $E/RT_{пл} \leq 1$, произведение двух первых членов значительно меньше единицы.

Согласно выражению (33) величина $Q\beta c_0/d$ существенно положительна и меньше единицы.

Поскольку $(e - 1) < 2$, то порядок величины выражения (40) значительно меньше единицы.

Таким образом, уравнение (39) можно записать в более простом виде:

$$U_{кр} = d/(c_p \rho). \quad (41)$$

Из последнего выражения вытекает, что химическая природа полимеров практически не сказывается на критической скорости распространения пламени. Если обе части (41) умножить на $c_p \rho S (T_{пл} - T_0)$, то получим простое физическое толкование критического условия. Критическая скорость пламени возникает тогда, когда количество тепла, подводимого к пламени путем пиролиза, практически равно теплу, отводимому от пламени за счет конвекции. При этом выделение тепла в результате химических реакций несопоставимо с указанными выше значениями.

В заключение можно отметить, что проведенный элементарный анализ позволил построить простые соотношения для скорости распространения пламени по горизонтальной поверхности термически толстых и тонких полимеров, а также для критической скорости срыва горения на их поверхности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 12.1.044–89*. ССБТ. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. — Введ. 01.01.1991 // Сборник НСИС ПБ. — 2007. — № 3(31).
2. Баратов А. Н., Андрианов Р. А., Корольченко А. Я., Михайлов Д. С., Ушков В. А., Филин Л. Г. Пожарная опасность строительных материалов. — М. : Стройиздат, 1988.
3. Асеева Г. М., Заиков Г. Е. Горение полимерных материалов. — М. : Наука, 1981. — 279 с.
4. Берлин А. А. Горение полимеров и полимерные материалы пониженной горючести. — М. : МФТИ, 1996.

*Материал поступил в редакцию 12 октября 2010 г.
Электронный адрес авторов: aliya-ahunova@mail.ru.*



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет новую книгу

А. Я. Корольченко, Д. О. Загорский
КАТЕГОРИРОВАНИЕ ПОМЕЩЕНИЙ И ЗДАНИЙ ПО ВЗРЫВОПОЖАРНОЙ
И ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ. — М. : Пожнаука, 2010. — 118 с.



В учебном пособии изложены принципы категорирования помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности, содержащиеся в современных нормативных документах. На примерах конкретных помещений рассмотрено использование требований нормативных документов к установлению категорий. Показана возможность изменения категорий помещений путем изменения технологии или внедрения инженерных мероприятий по снижению уровня взрывопожароопасности и повышению надежности технологического оборудования и процессов.

Пособие рассчитано на студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальностям «Пожарная безопасность», «Безопасность технологических процессов и производств», «Безопасность жизнедеятельности в техносфере», студентов строительных вузов и факультетов, обучающихся по специальности «Промышленное и гражданское строительство», сотрудников научно-исследовательских, проектных организаций и нормативно-технических служб, ответственных за обеспечение пожарной безопасности.

121352, г. Москва, ул. Давыдовская, д. 12, стр. 7;
 тел./факс: (495) 228-09-03; e-mail: mail@firepress.ru



Л. Ю. Катаева

д-р физ.-мат. наук, профессор
Нижегородского государственного
технического университета,
г. Нижний Новгород, Россия



И. Е. Белоцерковская

ассистент Нижегородского
государственного технического
университета, г. Нижний Новгород,
Россия



Д. А. Масленников

аспирант Нижегородского
государственного техниче-
ского университета,
г. Нижний Новгород, Россия



А. А. Куркин

д-р физ.-мат. наук, профессор
Нижегородского государственного
технического университета,
г. Нижний Новгород, Россия

УДК 519.6

СРАВНЕНИЕ АНАЛИТИЧЕСКОГО И ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НИЗОВОГО ПОЖАРА С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ УГЛА НАКЛОНА ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

Целью данной работы является получение численного и аналитического решения задачи о распространении низового пожара с учетом влияния угла наклона подстилающей поверхности. Результаты, полученные для ровной поверхности, согласуются с известными данными, как теоретическими [1, 5, 6], так и экспериментальными [3].

Ключевые слова: математическое моделирование; лесной пожар; подстилающая поверхность; численное и аналитическое решения.

Введение

Существует две основные модели, учитывающие влияние наклона в полуэмпирической модели распространения лесных пожаров: Доррера [5] и Ротермела [6]. В модели Доррера [5] учитываются уравнения теплового баланса в твердой фазе горючего в каждой точке слоя горючих материалов. Тепловое воздействие локального пламени на близлежащие слои горючих вводится на основе экспериментальных данных. При описании взаимодействия пожара с атмосферой он рассматривается как точечный очаг. Модель Ротермела [6] используется для оценки скорости распространения пожара, а также для вычисления его интенсивности, которая может быть интерпретирована как интенсивность в очаге пожара, и ширины фронта огня.

Постановка задачи

Физически задача ставится следующим образом: рассматривается движение плоского фронта пожара по склону (рис. 1); из решения гидродинамической задачи по обтеканию препятствия находится поле скоростей; известны температура окружающей среды, геометрические, структурные и

реакционные свойства полога леса, температура и размеры очага воспламенения; требуется определить зависимость скорости распространения лесного пожара от угла наклона.

Для простоты анализа делаются следующие допущения:

- 1) среда является серой и пятифазной, включающей в себя сухое органическое вещество, воду в жидко-капельном состоянии, коксик, золу и газовую фазу;
- 2) газовая фаза состоит из кислорода, горючих компонентов продуктов пиролиза, инертных компонентов воздуха, а также водяного пара и инертных продуктов горения;
- 3) градиент температуры поперек полога леса мал по сравнению с градиентом температуры в продольном направлении.

Математически эта задача с учетом представленных выше допущений сводится к решению следующей системы дифференциальных уравнений, подробно изложенных в работе [1]. При записи системы уравнений учитывался эффект двухтемпературности среды [1], поэтому уравнения сохранения энергии были записаны отдельно для газовой и дисперсной фаз.

© Катаева Л. Ю., Белоцерковская И. Е., Масленников Д. А., Куркин А. А., 2010

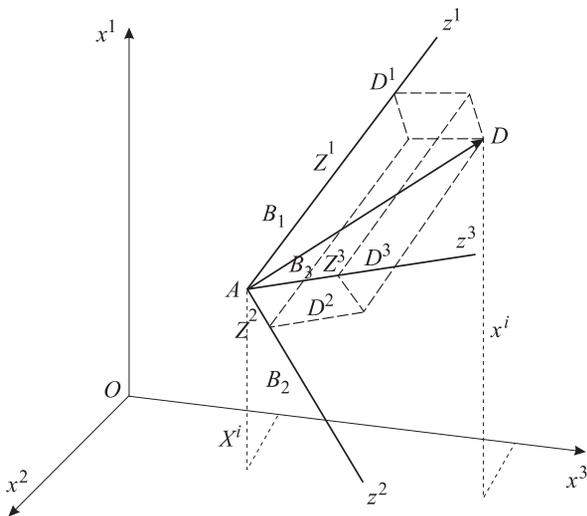


Рис. 1. Косоугольная система координат

Начальные и граничные условия для слоя горючего материала: пусть G_Γ — область фронта пожара; $B(x, y, z)$ — любая точка зоны пожара (рассматриваемого лесного массива); x_0, y_0 — центральная точка фронта пожара по осям Ox и Oy соответственно.

Тогда имеем:

- при $t = 0$ и $B \in G_\Gamma$

$$T = (T_g - T_e) \times \exp\left(-\frac{2}{\Delta_{\Gamma x}^2} (x - x_0)^2 - \frac{2}{\Delta_{\Gamma y}^2} (y - y_0)^2\right) + T_e; \quad (1)$$

$$T_s = (T_g - T_{se}) \times \exp\left(-\frac{2}{\Delta_{\Gamma x}^2} (x - x_0)^2 - \frac{2}{\Delta_{\Gamma y}^2} (y - y_0)^2\right) + T_{se}; \quad (2)$$

$$c_\alpha = (c_{ag} - c_{ae}) \exp\left(-\frac{2}{\Delta_{\Gamma x}^2} (x - x_0)^2 - \frac{2}{\Delta_{\Gamma y}^2} (y - y_0)^2\right) + c_{ae}, \quad \alpha = \overline{1, 2}; \quad (3)$$

$$U_R = U_{Re}; \quad \varphi_1 = \varphi_{1g}; \quad \varphi_2 = \varphi_{2g}; \quad (4)$$

$$\varphi_3 = \varphi_{3g}; \quad \varphi_4 = \varphi_{4g}; \quad U = \frac{z^2 U_e}{h^2}; \quad V = \frac{z^2 V_e}{h^2}; \quad W = \frac{\ln(z) W_e}{\ln(h)}; \quad (5)$$

- при $t = 0$ и $B \notin G_\Gamma$

$$T = T_e; \quad T_s = T_{se}; \quad c_\alpha = c_{ae}; \quad (6)$$

$$U_R = U_{Re}; \quad \varphi_1 = \varphi_{1e}; \quad \varphi_2 = \varphi_{2e}; \quad (7)$$

$$\varphi_3 = \varphi_{3e}; \quad \varphi_4 = \varphi_{4e}; \quad U = \frac{z^2 U_e}{h^2}; \quad V = \frac{z^2 V_e}{h^2}; \quad W = \frac{\ln(z) W_e}{\ln(h)}. \quad (8)$$

Уравнение сохранения объемной доли компонентов газовой фазы имеет вид:

$$\varphi_5 = 1 - \sum_{i=1}^4 \varphi_i.$$

Список обозначений, использованных в формулах, приведен в конце статьи.

Учет рельефа местности при численной реализации

Для учета рельефа местности в данной постановке был осуществлен переход в косоугольную систему координат. Пусть будет Ox^i ортонормированная система координат, а Az^k — косоугольная система координат с началом в точке A , координаты которой обозначены X^i (см. рис. 1). Пусть для измерения длин вдоль осей Az^k установлены некоторые масштабы B_k . Возьмем какую-нибудь точку D_i , координаты которой в системе Ox^i обозначены через x_i . Разложим вектор $\vec{r} = \vec{AD}$ на составляющие по осям x^i ; концы этих составляющих обозначим через Az^k , а длину отрезков AD^k , измеренную единицей длины, обозначим через Z^k . Результат построения длин тех же отрезков при помощи выбранных масштабов B_k обозначим через z^k и назовем косоугольными координатами точки D .

Таким образом, мы имеем $Z^a = B_a z^a$. Если мы припишем величинам Z^a и B_a размерность длины, то косоугольные координаты z^a будут безразмерными величинами. В ортонормированной системе не имеет смысла различать координаты и составляющие, поэтому условимся, что координаты точек в системе Ox^i имеют размерность длины. Тогда и составляющие вектора \vec{r} в системе Ox^i , равные $x^i - X^i$, будут иметь размерность длины. Обозначим направляющие косинусы осей Az^k относительно Ox^i через α_k^i . Тогда можно записать:

$$x^i - X^i = \alpha_k^i Z^k = \alpha_1^i B_1 z^1 + \alpha_2^i B_2 z^2 + \alpha_3^i B_3 z^3. \quad (9)$$

Введем объект

$$\beta_k^i = \begin{bmatrix} B_1 \alpha_1^i & B_2 \alpha_2^i & B_3 \alpha_3^i \\ B_1 \alpha_1^2 & B_2 \alpha_2^2 & B_3 \alpha_3^2 \\ B_1 \alpha_1^3 & B_2 \alpha_2^3 & B_3 \alpha_3^3 \end{bmatrix}. \quad (10)$$

Если ввести в рассмотрение базисные векторы \vec{B}_k , как это часто делают, то i -я строка объекта β_k^i представляет собой проекции базисных векторов на ось x^i .

Итак, при помощи объекта β_k^i можно записать:

$$x^i - X^i = \beta_k^i z^k. \quad (11)$$

Использование криволинейных координат позволяет учесть произвольный рельеф. Предположим,

что декартовы координаты x^i выражены в виде функций от трех параметров q^k :

$$x^i = f^i(q^1, q^2, q^3). \quad (12)$$

Условимся, что f^i однозначны, непрерывны и имеют частные производные всех порядков, которые нам понадобятся. Будем считать, что уравнения (12) разрешены относительно q^k , отсюда вытекают равенства:

$$q^k = \varphi^k(x^1, x^2, x^3). \quad (13)$$

Причем функции φ^k однозначны, непрерывны и допускают все нужные нам частные производные. При этих условиях каждая точка определяется как тремя числами x^i , так и тремя числами q^k . Последние называются криволинейными координатами.

Чтобы пояснить смысл этого термина, фиксируем некоторую точку A (рис. 2). Пусть ее декартовы координаты будут X^i , а криволинейные — Q^k , причем $Q^k = \varphi^k(X^1, X^2, X^3)$. Если в уравнениях (12) зафиксировать какие-нибудь два параметра, то координаты x^i станут функциями только одного параметра, вследствие чего уравнения (12) определяют некоторую кривую. Очевидно, что через точку A проходят три таких кривых:

кривая q^1 : $x^{i1} = f^i(q^1, Q^2, Q^3)$;
 кривая q^2 : $x^{i2} = f^i(Q^1, q^2, Q^3)$;
 кривая q^3 : $x^{i3} = f^i(Q^1, Q^2, q^3)$.

$$(14)$$

В криволинейных координатах уравнения этих кривых будут соответственно иметь вид:

кривая q^1 : $q^2 = Q^2, q^3 = Q^3$;
 кривая q^2 : $q^1 = Q^1, q^3 = Q^3$;
 кривая q^3 : $q^1 = Q^1, q^2 = Q^2$.

$$(15)$$

Эти кривые называются координатными. Поскольку через каждую точку пространства проходят три координатные кривые (см. рис. 2), можно сказать, что точка определяется как пересечение трех координатных кривых.

Проведем касательные к координатным кривым в точке A ; получим некоторый косоугольный трехгранник Az^k . При перемещении точки A трехгранник Az^k вращается и деформируется. Таким образом, в противоположность косоугольной системе координат теперь каждая точка A имеет свой трехгранник Az^k , который называется локальным трехгранником, порождаемым системой криволинейных координат q^k . Интерес представляет метрика в сколь угодно малой окрестности точки A , т. е. способ измерения длин бесконечно малых отрезков, имеющих начало в точке A . Этот способ называется метрикой системы криволинейных координат.

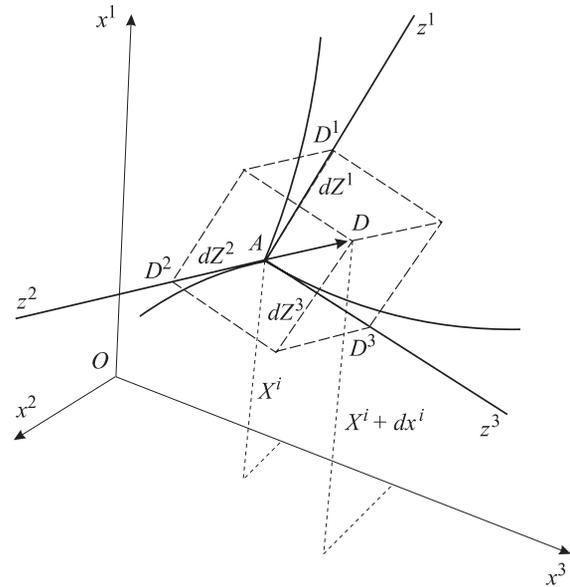


Рис. 2. Криволинейная система координат

Возьмем точку D (см. рис. 2), бесконечно близкую к A , и обозначим расстояние AD через dr . Соответствующие дифференциалы декартовых координат обозначим через dx^s :

$$dx^s = \left(\frac{\partial f^s}{\partial q^k} \right)_A dq^k = \beta_k^s dq^k. \quad (16)$$

Здесь индекс “ A ” у производных означает, что после дифференцирования нужно подставить $q^k = Q^k$, а $(\partial f^s / \partial q^k)_A = \beta_k^s$.

Запишем частные производные по декартовым координатам через криволинейные координаты (воспользуемся оператором свертки для более короткой записи):

$$\frac{\partial}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial q^1} \frac{\partial q^1}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial q^2} \frac{\partial q^2}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial q^3} \frac{\partial q^3}{\partial x} = \sum_{k=1}^3 \frac{\partial}{\partial q^k} \frac{\partial q^k}{\partial x};$$

$$\frac{\partial}{\partial y} = \sum_{k=1}^3 \frac{\partial}{\partial q^k} \frac{\partial q^k}{\partial y}; \quad \frac{\partial}{\partial z} = \sum_{k=1}^3 \frac{\partial}{\partial q^k} \frac{\partial q^k}{\partial z}. \quad (17)$$

Учитывая знания о том, как сформирована система криволинейных координат (а именно: для любой точки A , принадлежащей рассматриваемой области, ось Oz всегда совпадает по направлению с осью Aq^3 ; ось Ox всегда перпендикулярна Aq^2 , так как последняя лежит в перпендикулярной к Ox плоскости, параллельной Oyz ; ось Oy всегда перпендикулярна Aq^1 , так как последняя лежит в перпендикулярной к Oy плоскости, параллельной Oxz), получим:

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} = \frac{\partial^2}{\partial (q^1)^2} \left(\frac{\partial q^1}{\partial x} \right)^2 + \frac{\partial}{\partial q^1} \frac{\partial^2 q^1}{\partial x^2};$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2}{\partial y^2} &= \frac{\partial^2}{\partial (q^2)^2} \left(\frac{\partial q^2}{\partial y} \right)^2 + \frac{\partial}{\partial q^2} \frac{\partial^2 q^2}{\partial y^2}; \\ \frac{\partial^2}{\partial z^2} &= \sum_{k=1}^3 \left(\sum_{j=1}^3 \frac{\partial^2}{\partial q^k \partial q^j} \frac{\partial q^k}{\partial z} \frac{\partial q^j}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial q^k} \frac{\partial^2 q^k}{\partial z^2} \right) = \\ &= \sum_{k=1}^3 \left(\frac{\partial^2}{\partial (q^k)^2} \left(\frac{\partial q^k}{\partial z} \right)^2 + \frac{\partial}{\partial q^k} \frac{\partial^2 q^k}{\partial z^2} \right) + \\ &+ 2 \sum_{k=1}^2 \sum_{j=k+1}^3 \frac{\partial^2}{\partial q^k \partial q^j} \frac{\partial q^k}{\partial z} \frac{\partial q^j}{\partial z}. \end{aligned} \quad (18)$$

Полученные частные производные будут использоваться на этапе применения численной схемы оптимизированного метода Патанкара [2, 3] к системе дифференциальных уравнений. Саму систему уравнений записывать в криволинейных координатах в рамках этого проекта не имеет практического смысла, так как все необходимые нам соотношения коэффициентов, используемых в обобщенном уравнении тепло- и массопереноса, берутся из постановки в декартовой системе координат; все векторные величины переводятся в криволинейные координаты.

Методика получения аналитического решения

Используя систему обыкновенных дифференциальных уравнений [1], повернем ось Ox на угол β :

$$\cos \beta = \frac{x}{x'} \Rightarrow x = x' \cos \beta;$$

$$\frac{\partial}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial (x' \cos \beta)} = \frac{1}{\cos \beta} \frac{\partial}{\partial x'}$$

и введем следующие обозначения:

$$u'_\infty = \frac{u}{\cos \beta}; \quad D'_T = \frac{D_T}{\cos^2 \beta}; \quad \lambda'_T = \frac{\lambda_T}{\cos^2 \beta}. \quad (19)$$

Переходя к декартовой координате в подвижной системе отсчета, связанной с положением максимального профиля температуры $\xi = x' - \omega t$, предположим, что весь фронт движется с одной и той же скоростью ω . Получим систему уравнений:

$$\begin{aligned} \rho_1 \omega \frac{d\varphi_1}{d\xi} &= R_1, \quad R_1 = k_{01} \rho_1 \varphi_1 e^{-\frac{E_1}{RT}}; \\ \rho_2 \omega \frac{d\varphi_2}{d\xi} &= R_2, \quad R_2 = k_{02} \rho_2 \varphi_2 e^{-\frac{E_2}{RT}}; \\ \rho_3 \omega \frac{d\varphi_3}{d\xi} &= -\alpha_c R_1 + \frac{M_c}{M_1} R_3, \\ R_3 &= k_{03} s_{\sigma} \rho_5 c_1 \varphi_3 e^{-\frac{E_3}{RT}}; \quad \frac{d\varphi_4}{d\xi} = 0; \end{aligned} \quad (20)$$

$$\begin{aligned} \frac{d}{d\xi} \left(\rho_5 D'_T \frac{\partial c_\alpha}{\partial \xi} \right) - \rho_5 (u'_\infty - \omega) \frac{dc_\alpha}{d\xi} + R_{5\alpha} - c_\alpha Q &= \\ &= \frac{\alpha}{c_{p\alpha}} (c_\alpha - c_{\alpha\infty}), \quad \alpha = 1, 2, 3; \end{aligned} \quad (21)$$

$$\begin{aligned} \frac{d}{d\xi} \left(\lambda'_T \frac{\partial T}{\partial \xi} \right) - [\rho_5 (u'_\infty - \omega) c_{p5} - \\ - \omega \sum_{i=1}^4 \rho_i \varphi_i c_{pi}] \frac{dT}{d\xi} - \frac{\alpha}{h} (T - T_\infty) + \\ + q_3 R_3 - q_2 R_2 + q_5 R_5 = 0; \end{aligned} \quad (22)$$

$$R_{51} = -R_3 - \frac{M_1}{2M_2} R_5; \quad R_{52} = (1 - \alpha_c) \nu_T R_1 - R_5;$$

$$R_{53} = 0; \quad R_5 = M_2 k_{05} \left(\frac{c_1 M}{M_1} \right)^{0,25} \left(\frac{c_2 M}{M_2} \right) T^{-2,25} e^{-\frac{E_5}{RT}};$$

$$\rho_5 = \frac{P_\infty}{RT_\infty \sum_{i=1}^4 \frac{c_\alpha}{M_\alpha}}; \quad \sum_{i=1}^4 c_\alpha = 1;$$

$$Q = (1 - \alpha_c) R_1 + R_2 + \frac{M_c}{M_1} R_3.$$

Граничные условия к системе (20) – (22):
 $\xi = \pm \infty$:

$$\begin{aligned} T = T_\infty; \quad c_\alpha = c_{\alpha\infty}; \quad \varphi_i = \varphi_{i\infty}; \\ \left. \frac{dc_\alpha}{d\xi} \right|_{\xi \rightarrow \pm \infty} = 0; \quad \left. \frac{dT}{d\xi} \right|_{\xi \rightarrow \pm \infty} = 0; \quad \left. \frac{d\varphi_i}{d\xi} \right|_{\xi \rightarrow \pm \infty} = 0; \end{aligned} \quad (23)$$

$T_\infty < T < T_*$:

$$R_i = 0; \quad R_{5\alpha} = 0; \quad R_5 = 0; \quad \alpha = 1, 2; \quad i = 1, 2, 3. \quad (24)$$

Как частный случай рассматривалось распространение плоской волны горения по наклонной поверхности. Такое предположение позволило детально изучить влияние наклона подстилающей поверхности на скорость распространения пожара. Распределение температуры газовой фазы при различных моментах времени и различных углах наклона подстилающей поверхности представлено на рис. 3. При $x = 0$ задавалось распределение температуры в экспоненциальной форме с максимумом 1200 К. Из рисунка отчетливо видно, что скорость распространения плоской волны горения растет с увеличением угла наклона подстилающей поверхности.

Проанализируем поведение решений уравнений для температуры T и концентрации компонентов c_α при $\xi \rightarrow \pm \infty$. Представим решение в виде:

$$\begin{aligned} T = T_\infty + T'; \quad c_\alpha = c_{\alpha\infty} + c'_\alpha; \\ \varphi_i = \varphi_{i\infty} + \varphi'_i, \end{aligned} \quad (25)$$

где штрихом обозначена малая величина возмущения, характеризуемая отклонением параметров от равновесных значений. Подставляя (25) в (21), (22)

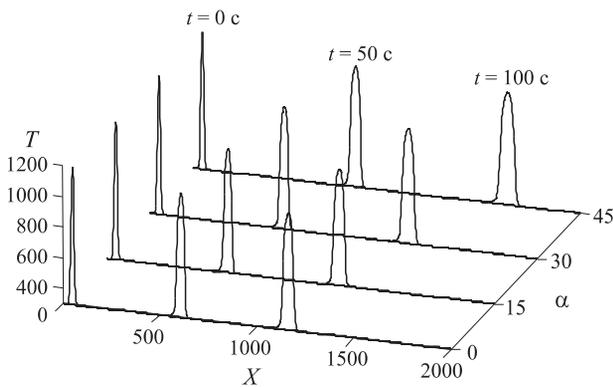


Рис. 3. Динамика распределения температуры плоской волны горения вдоль оси x при углах наклона α , равных 0, 15, 30 и 45°, в моменты времени 0, 50 и 100 с

и отбрасывая малые величины более высокого порядка, получаем:

$$\rho_{5\infty} D'_T \frac{d^2 c'_\alpha}{d\xi^2} - \rho_{5\infty} (u' - \omega) \frac{dc'_\alpha}{d\xi} - \frac{\alpha}{c_{p\alpha}} c'_\alpha = 0, \quad \alpha = 1, 2, 3; \quad (26)$$

$$\lambda'_T \frac{d^2 T'}{d\xi^2} - \left[\rho_{5\infty} (u'_\infty - \omega) c_{p5} - \omega \sum_{i=1}^4 \rho_i \Phi_i c_{pi} \right] \times \frac{dT'}{d\xi} - \frac{\alpha}{h} T' = 0. \quad (27)$$

Решением уравнений (26) и (27) при $\xi \rightarrow \pm \infty$ будет:

$$T' = a_{1,2} e^{\lambda_{1,2} \xi}; \quad c'_\alpha = b_{1,2\alpha} e^{\mu_{1,2\alpha} \xi}. \quad (28)$$

Для диффузного режима горения с хорошей степенью точности можно полагать:

$$T(0) = T_0, c_1|_{\xi=0} = c_2|_{\xi=0} = 0; \quad \frac{dc_1}{d\xi}|_{\xi=0} = \frac{dc_2}{d\xi}|_{\xi=0} = 0; \quad \varphi_1(0) = 0; \quad \varphi_2(0) = 0. \quad (29)$$

Пусть $\rho_5(u'_\infty - \omega) = \rho_{5\infty}(u'_\infty - \omega) = \text{const}$ приближенно выражает закон сохранения массы при лесном пожаре. При $0 < \xi < \infty$ профиль температуры определяется формулами (25) и (28), где $a_1 = T_0 - T_\infty$ — постоянная, определяемая из условий (29).

Интегрируя уравнение (22) по $0 < \xi < \infty$, используя уравнения (20) и (21) для вычисления интегралов и обозначив

$$\bar{q} = \left\{ - \left[\frac{q_3 M_1 \alpha_c}{M_c} + q_5 (1 - \alpha_c) \nu_\Gamma \right] \times \left\{ c_1 \Phi_{1H} + q_2 \rho_2 \Phi_{2H} \right\} (\rho_5 c_{p5} T_\infty)^{-1}; \right.$$

$$\Theta_0 = \frac{T_\infty}{T_0}; \quad \bar{\omega} = \frac{\omega}{u_\infty}; \quad \pi = \frac{\sum_{i=1}^4 \rho_i \Phi_i c_{pi}}{\rho_{5\infty} c_{p5}},$$

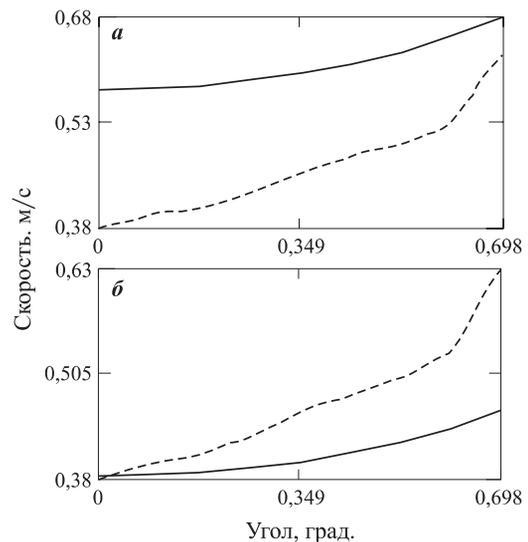


Рис. 4. Численное (v) и аналитическое ($\omega(\beta)$) решения зависимости скорости распространения пожара от угла наклона β при $\Theta_0 = 0,5$ (а) и $\Theta_0 = 0,9$ (б): --- — v ; — — $\omega(\beta)$

получим:

$$\bar{q} \bar{\omega} + [1 - \bar{\omega} (1 + \pi)] (\Theta_0 - 1) = \frac{2e(\Theta_0 - 1)}{\sqrt{[1 - \bar{\omega}(1 + \pi)]^2 + 4e - 1 + \bar{\omega}(1 + \pi)}}. \quad (30)$$

Решая (12) относительно $\bar{\omega}$, получаем

$$\omega(\beta) = \frac{u_\infty \left(\bar{q} + \sqrt{\bar{q}^2 - 4e(\Theta_0 - 1)} \left(\bar{q}(1 + \pi) - \frac{\bar{q}^2}{(\Theta_0 - 1)} \right) \right)}{2 \cos(\beta) \left(\bar{q}(1 + \pi) - \frac{\bar{q}^2}{(\Theta_0 - 1)} \right)}. \quad (31)$$

На рис. 4 представлена зависимость скорости распространения пожара, полученная численно (v) и аналитически ($\omega(\beta)$) для значений $\Theta_0 = 0,5$ (а) и $\Theta_0 = 0,9$ (б), от угла наклона β (рад). Из рисунка видно, что с ростом угла наклона скорость распространения пожара также возрастает. Здесь под численным решением подразумевается решение задачи в полной постановке. Как видно из анализа полученных результатов, упрощенное (аналитическое) решение дает оценку сверху для значений $\Theta_0 \leq 0,5$ и оценку снизу для значений $\Theta_0 > 0,9$.

На рис. 5 показано сравнение моделей Доррера [5], Ротермела [6] и Гришина [1]. При использовании эмпирических данных модели Ротермела в модели Доррера была определена зависимость скорости распространения от угла наклона и показано, что модель Ротермела при углах наклона до 23° дает завышенные значения скорости распространения пожара, а модель Доррера дает значения, близкие к модели Гришина, однако при углах наклона более 23° модель Доррера имеет ограничения, модель Ротермела дает заниженные значения скорости распро-

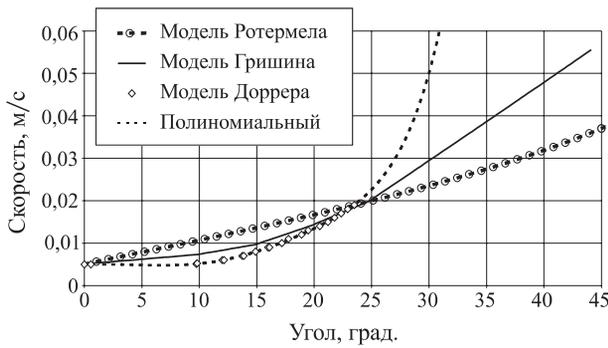


Рис. 5. Зависимость скорости распространения от угла наклона для рассматриваемых моделей

странения пожара, в то время как даже упрощенная модель Гришина при этом не имеет ограничений.

В ходе работы была разработана методика учета угла наклона подстилающей поверхности (рельеф местности). Показано, что численное и аналитическое решения хорошо согласуются. Результаты, полученные для ровной поверхности, согласуются с результатами, полученными А. М. Гришиным, а результаты с равномерно наклоненной поверхностью согласуются с известными данными, как теоретическими [1], так и экспериментальными [4]. На основе результатов, полученных для равномерно наклоненной поверхности, проводились исследования по учету влияния рельефа местности на скорость распространения лесного низового пожара и определены возможные сценарии изменения скорости распространения пожара в зависимости от угла наклона.

Представленные результаты поисковой научно-исследовательской работы получены в рамках реализации мероприятия 1.2.1 “Проведение научных исследований научными группами под руководством докторов наук” ФЦП “Научные и научно-педагогические кадры инновационной России” на 2009–2013 гг.

Условные обозначения

- t — время;
- T — температура газовой фазы;
- T_s — температура твердой фазы;
- T_0 — максимальная температура во фронте лесного пожара;
- T_∞ — температура окружающей среды вдали от фронта пожара, принимается равной 300 °С;
- c_α — массовая концентрация компонентов газовой фазы ($\alpha = 1$ — кислород; $\alpha = 2$ — горючие компоненты продукта пиролиза; $\alpha = 3$ — инертные компоненты газовой фазы, не реагирующие компоненты продукта пиролиза и водяного пара; $c_1 = 0,23$; $c_2 = 0$; $c_3 = 0,769$);

- U, V, W — проекции скорости над пологом леса по осям соответственно x, y, z ;
- φ_1 — объемная доля газовой фазы; $\varphi_1 = \rho/\rho_1$ ($\rho = 0,3$ — плотность слоя; $\rho_1 = 360$ — плотность древесины);
- φ_2 — объемная доля горючих компонентов продуктов пиролиза; $\varphi_2 = \rho(1 - \zeta)W_{ЛГМ}/\rho_2$ ($\rho_2 = 1000$ — плотность древесины; $\zeta = 0,3$ — процентное содержание золы в лесных горючих материалах (ЛГМ); $W_{ЛГМ} = 0,35$ — влагосодержание ЛГМ);
- φ_3 — объемная доля инертных компонентов воздуха; $\varphi_3 = 0,01$;
- φ_4 — объемная доля водяного пара и инертных продуктов реакций окисления, пиролиза и горения кокса; $\varphi_4 = 0$;
- h — высота слоя горючих материалов;
- β — угол наклона;
- x' — декартова координата в системе координат, связанной с поворотом оси Ox на угол β (ось x направлена в сторону невозмущенной скорости ветра, параллельной горизонтальной подстилающей поверхности);
- u — равновесная скорость ветра; $u = 0,2$;
- u'_∞ — компонента скорости в выбранной системе координат, вычисляется согласно (19);
- ρ_1 — плотность сухого органического вещества;
- ρ_2 — плотность воды в жидкокапельном состоянии;
- ρ_3 — плотность конденсированных продуктов пиролиза; $\rho_3 = 200$;
- ρ_4 — плотность минеральной части (золы); $\rho_4 = 200$;
- ρ_5 — плотность газовой фазы (вычисляется согласно [5]);
- P — давление в потоке;
- p_∞ — давление; $p_\infty = 1,01 \cdot 10^5$;
- Q — массовая скорость образования газовой фазы;
- R_1 — массовая скорость реакции пиролиза сухого органического вещества ЛГМ;
- R_2 — массовая скорость реакции испарения воды из ЛГМ;
- R_3 — массовая скорость реакции горения коксового остатка;
- R_5 — массовая скорость реакции горения газообразных горючих продуктов пиролиза;
- $R_{5\alpha}$ — массовая скорость образования компонентов газовой фазы;
- R_{51}, R_{52}, R_{53} — массовые скорости образования компонентов газовой фазы;
- M_1 — молекулярная масса газовой компоненты кислорода; $M_1 = 32$;
- M_2 — молекулярная масса газовой компоненты горючих компонентов пиролиза; $M_2 = 28$;
- M_3 — молекулярная масса газовой компоненты инертных компонентов воздуха; $M_3 = 28$;
- M_α — молярная масса индивидуальных компонентов;

M_c — молярная масса углерода; $M_c = 12$;
 M — молярная масса смеси газов в целом;
 λ'_T — коэффициент турбулентной теплопроводности; $\lambda'_T = \mu_T c_{p5}$;
 μ_T — коэффициент динамической вязкости;
 $\lambda_{1,2}$, $\mu_{1,2\alpha}$ — корни соответствующих характеристических уравнений;
 $a_{1,2}$, $b_{1,2\alpha}$ — произвольные постоянные.
 c_{p1} — теплоемкость фазы сухого органического вещества;
 c_{p2} — теплоемкость фазы воды;
 c_{p3} — теплоемкость фазы конденсированных продуктов пиролиза угля;
 c_{p4} — теплоемкость фазы минеральной части золы;
 c_{p5} — теплоемкость газовой фазы;
 D_T — коэффициент турбулентной диффузии;
 λ_T — коэффициент турбулентной теплопроводности;
 α_T — коэффициент внутреннего теплообмена;
 R — универсальная газовая постоянная;
 q_2 — тепловой эффект процесса испарения;
 q_3 — тепловой эффект процесса горения конденсированного горючего;
 q_5 — тепловой эффект процесса окисления газообразного горючего продукта пиролиза;
 k_{01} — предэкспонента реакции пиролиза;
 k_{02} — предэкспонента процесса испарения;
 k_{03} — предэкспонента процесса горения конденсированного продукта пиролиза (коксика);
 E_1 — энергия активации реакции пиролиза;
 E_2 — энергия активации процесса испарения;

E_3 — энергия активации процесса горения конденсированного продукта пиролиза (коксика);
 S_σ — удельная площадь поверхности конденсированного продукта пиролиза;
 α_c — коксовое число ЛГМ;
 v_T — доля горючего газа в газообразных продуктах пиролиза;
 U_R — плотность потока излучения;
 k_Σ — коэффициент ослабления;
 k_s — спектральный коэффициент поглощения;
 c — скорость света;
 σ — постоянная Стефана–Больцмана;
 A_s — коэффициент межфазного теплообмена;
 v_5 — доля теплоты газовой фазы реакции окисления газообразных продуктов пиролиза, усвоенная конденсированной фазой; $v_5 < 1$;
 S — удельная площадь поверхности фитомассы;
 c_d — эмпирический коэффициент сопротивления;
 g — ускорение свободного падения.

Индексы

∞ — невозмущенный поток;
 e — окружающая среда;
 g — поверхность;
 $-$ — параметры на верхней границе полога леса;
 $+$ — параметры на нижней границе полога леса.

Характеристики очага горения

x_0, y_0 — координаты центра очага горения;
 $\Delta_{Гx}, \Delta_{Гy}$ — ширина очага загорания по координатам x, y соответственно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гришин А. М. Математическое моделирование лесных пожаров и новые способы борьбы с ними. — Новосибирск : Наука, 1992. — 408 с.
2. Катаева Л. Ю. Особенности дискретизации многомерных нелинейных задач // Наука и техника транспорта. — 2008. — № 4. — С. 13–16.
3. Катаева Л. Ю., Романов А. В. Метод Патанкара и возможности его оптимизации // Наука и техника транспорта. — 2009. — № 3. — С. 88–97.
4. Butler B. W., Anderson W. R., Catchpole E. A. Influence of Slope on Fire Spread Rate / The Fire Environment-Innovations. Management and Policy. — P. 75–85.
5. Доррер Г. А. Модель распространения фронта лесного пожара // Теплофизика лесных пожаров. — Новосибирск : ИТФ СО АН СССР, 1984. — С. 86–99.
6. Rothermel R. C. A Mathematical Model for Predicting Fire Spread in Wildland Fuels // Intermountain Forest & Range Experiment Station, Forest Service, US Dept. of Agriculture, 1972.

Материал поступил в редакцию 21 июня 2010 г.
 Электронный адрес авторов: dmitrymaslennikov@rambler.ru.



Ф. Ш. Хафизов

д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой ГОУ ВПО “Уфимский государственный нефтяной технический университет”, г. Уфа, Республика Башкортостан



И. К. Бакиров

ст. преподаватель ГОУ ВПО “Уфимский государственный нефтяной технический университет”, г. Уфа, Республика Башкортостан

УДК 614.81

РАСЧЕТ ПОЖАРНЫХ РИСКОВ ОБЪЕКТОВ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Рассмотрено понятие рисков, уровня пожарной опасности объектов защиты. Предложен подход при определении уровня пожарной безопасности на примере одного из нефтеперерабатывающих предприятий России. Установлена связь между старым понятием пожарной безопасности объекта и новым понятием пожарного риска в количественном выражении. Рассмотрен метод расчета пожарной безопасности нефтеперерабатывающего завода.

Ключевые слова: уровень пожарной опасности; уровень обеспечения пожарной безопасности; допустимый пожарный риск; риск чрезвычайных ситуаций.

Вот уже два года как вступил в силу важный и серьезный нормативный правовой акт Российской Федерации — Федеральный закон № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [1] (далее — Технический регламент). Сегодня также разработаны и утверждены методики расчета пожарных рисков [2]. Однако для объектов, строительство и проектирование которых начато до вступления в силу Технического регламента, имеют силу требования ППБ 01–03 [3], где определены основные показатели пожарной безопасности — *требуемый уровень обеспечения пожарной безопасности людей и уровень пожарной опасности для людей*. Уровень пожарной опасности — количественная оценка возможного ущерба от пожара. Уровень обеспечения пожарной безопасности — количественная оценка предотвращенного ущерба при возможном пожаре [4]. Уровень обеспечения пожарной безопасности людей должен составлять не менее 0,999999 предотвращения воздействия опасных факторов пожара в год в расчете на каждого человека, а допустимый уровень пожарной опасности для людей — не более 10^{-6} воздействия опасных факторов пожара, превышающих предельно допустимые значения, в год в расчете на одного человека [3]. Вообще уровень обеспечения пожарной безопасности и уровень пожарной опасности — конечно же не количественная оценка ущерба от пожара, так как их значения, равные соответственно 0,99 и 0,000001, ну никак не могут правдо-

подобно отражать количественную оценку ущерба. Определение вышеназванных понятий и их допустимые количественные величины не совпадают с реальными цифрами, которые мы имеем в жизни, и, следовательно, “оторваны от жизни”.

Можно сказать, что сейчас уже и пожарные риски, и все остальные величины и понятия можно считать устаревшими, или вернее устаревающими. Наверное, это так. Но нельзя забывать, что и сегодня, и еще не один год “старые” нормативные документы (а значит, и понятия) будут иметь силу, так как по Техническому регламенту [1] и по другим нормативным правовым актам РФ определено, что на объекты, запроектированные и построенные до вступления в силу Технического регламента, его требования не распространяются. Для этих объектов действуют “старые” нормативные документы. Поэтому этот вопрос сегодня особенно актуален. Однако, учитывая, что численные значения допустимого уровня обеспечения пожарной безопасности и уровня пожарной опасности, установленные нормативными документами, не совпадают с определением этих понятий, разберемся с их расчетами и попробуем дать правильное определение этих понятий. Методика расчета уровня пожарной опасности в нормативных документах не определена. Возможно где-то ее и можно найти, но такая литература нам не известна.

Допустимый уровень пожарной опасности равен допустимому индивидуальному *пожарному*

риску — $1 \cdot 10^{-6}$. Допустимый пожарный риск — это пожарный риск, уровень которого допустим и обоснован исходя из социально-экономических условий [1]. Определений понятия “риск” достаточно много. Вот одно из них: риск чрезвычайных ситуаций — количественная мера опасности, равная произведению числа (или вероятности) чрезвычайных ситуаций за год на ожидаемые последствия. Или другое определение: риск — вероятность причинения вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений с учетом тяжести этого вреда [5]. В соответствии с одним из нормативных правовых актов Российской Федерации индивидуальный риск — это вероятность (частота) возникновения опасных факторов пожара (ОФП) и взрыва, возникающая при аварии в определенной точке пространства, а вероятность воздействия опасных факторов пожара — это математическая величина возможности воздействия опасных факторов пожара с заранее заданными значениями их параметров [6].

В общем, можно сделать короткое умозаключение: риск — это вероятность. Под вероятностью понимают частотную характеристику наступления неблагоприятного события [4]. Из этого следует, что понятие пожарного риска по основным понятиям (риск, вероятность) должно быть связано со статистикой пожаров. Примем условно, что и понятие “уровень пожарной опасности” — это допустимый пожарный риск, и его, соответственно, также можно охарактеризовать как вероятность.

Можно допустить, что уровень пожарной опасности — это вероятность предотвращения воздействия опасных факторов пожара на людей, которая вычисляется по формуле

$$P_{\text{в}} = 1 - Q_{\text{в}}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{в}}$ — расчетная вероятность воздействия ОФП на отдельного человека в год.

Следуя той же логике, допускаем, что расчетная вероятность воздействия ОФП на отдельного человека — это расчетный уровень обеспечения пожарной безопасности. При таких допущениях все установленные допустимые значения уровня пожарной опасности и уровня обеспечения пожарной безопасности сходятся. Подставив в формулу (1) допустимые значения, мы получим правильное равенство: $0,999999 = 1 - 0,000001$.

Кстати, методика вычисления уровня обеспечения пожарной безопасности приблизительно аналогична новой методике определения расчетных величин пожарных рисков. Поэтому и значения допустимых пожарного риска и уровня обеспечения

пожарной безопасности в соответствии с нормативными документами совпадают: $1 \cdot 10^{-6} = 1 \cdot 10^{-6}$ [1, 3]. Исходя из этих соображений, предлагаем следующие определения:

- *уровень обеспечения пожарной безопасности — это количественная характеристика вероятности поражения человека ОФП (а не количественная оценка предотвращенного ущерба при возможном пожаре, как было определено выше);*
- *допустимый уровень обеспечения пожарной безопасности — это количественная характеристика вероятности поражения человека ОФП, величина которого допустима и обоснована исходя из социально-экономических условий и нормативных правовых актов РФ;*
- *уровень пожарной опасности — это пожарный риск, зависящий от вероятности поражения человека ОФП (а не количественная оценка возможного ущерба от пожара, как было определено выше);*
- *допустимый уровень пожарной опасности — это пожарный риск, зависящий от вероятности поражения человека ОФП, уровень которого допустим и обоснован исходя из социально-экономических условий и нормативных правовых актов РФ.*

Если принять такие определения, то, во-первых, они свяжут “старые” и “новые” понятия (уровень обеспечения пожарной безопасности, уровень пожарной опасности и пожарный риск), что в расчетах может быть полезным для правильного восприятия и осмысливания того, что мы рассчитываем; во-вторых, такие определения будут соответствовать методикам определения количественных величин этих понятий.

Рассмотрим понятие оценки пожарной опасности предприятия на примере одного из нефтеперерабатывающих заводов — ОАО “Уфанефтехим”. На этом предприятии создана система оценки *показателя пожарной опасности*, чем может “похвалиться” не каждое нефтеперерабатывающее предприятие. Разработаны стандарты предприятия, в одном из которых определена методика оценки показателя пожарной опасности для оценки риска — общего риска предприятия. Вообще в соответствии с нормативным правовым актом Российской Федерации показатель пожарной опасности — это величина, количественно характеризующая какое-либо свойство пожарной опасности [6].

Показатель пожарной опасности отражает противопожарное состояние эксплуатируемого оборудования на объекте и соблюдение правил пожарной безопасности работающим персоналом предприятия и организациями, работающими с ним по дого-

вору. Цель расчета показателя — определение остаточного коллективного риска по результатам идентификации опасности пожара. Данный показатель вычисляется один раз в квартал. Отчетным периодом является трехмесячный итог проведения идентификации опасности пожара на объектах ОАО “Уфанефтехим”. Показатель пожарной опасности объекта рассчитывается на основании полученных результатов контрольно-профилактической деятельности инспекторского состава пожарных частей, охраняющих предприятие по договору. Как известно, предприятие по видам технологических процессов разделено на производства. Для определения остаточного коллективного риска показатель пожарной опасности производства и предприятия в целом определяется как среднее арифметическое показателей пожарной опасности объектов (производственных установок и др.), производства, предприятия [7].

Расчет показателя пожарной опасности объекта $P_{\text{пож}}$ производится по формуле

$$P_{\text{пож}} = \frac{N_{\text{об}} - n_{\text{об}}}{N_{\text{об}}} - k_{\text{н}}, \quad (2)$$

где $N_{\text{об}}$ — количество единиц оборудования, трубопроводов, зданий и сооружений, находящихся в эксплуатации на объекте;

$n_{\text{об}}$ — количество единиц оборудования, трубопроводов, зданий и сооружений, эксплуатируемых с нарушениями правил пожарной опасности или находящихся в пожароопасном состоянии;

$k_{\text{н}}$ — коэффициент нарушений [7].

Здесь, конечно, количество единиц оборудования, трубопроводов, зданий и сооружений не может являться объективным промежуточным показателем. Как известно, по установленному порядку на ОАО “Уфанефтехим” инспектора пожарной охраны определяют нарушения по производственным установкам (атмосферно-вакуумная трубчатка, электрообессоливающая установка, резервуарный парк № 1 и т. д.) в целом, а не по каждой единице производственного оборудования (насос № 1, насос № 2, электродвигатель № 1 и т. д.) или участкам трубопроводов. При вычислении этого промежуточного показателя начальники установок и производств представляют в качестве исходной информации инспекторам пожарной охраны огромные списки оборудования и трубопроводов на каждой установке с указанием их количества. Однако, учитывая, что каждый квартал проверяется примерно 1 раз одна производственная установка или административное здание в целом, а не каждый трубопровод, оборудование, можно прийти к заключению, что это не объективный показатель, так как мы не исследуем каждый трубопровод на предмет нарушений. Это и физически не-

возможно (оборудования много, а инспекторов пожарной охраны мало), и скорее всего бессмысленно, так как согласно методике проверки инспекторами пожарной охраны все это проверяется комплексно. Поэтому здесь правильнее будет в формуле вместо количества единиц оборудования и оборудования с нарушениями применять количество установок на производстве и количество установок с нарушениями. Предлагаем также определить виды нарушений, которые необходимо учитывать при определении, эксплуатируется установка с нарушениями или нет. Ведь можно отразить в качестве нарушения отсутствие пломбы на огнетушителе, а можно отсутствие системы пожаротушения. *Нарушения режимного характера, которые устраняются, скажем, в течение 1–3 дней или в ходе проверки, можно не учитывать, а нарушения, требующие финансовых вложений, необходимо учитывать обязательно.* В противном случае, инспектор получит возможность действовать по принципу “как захочу, так и напишу”, что в корне неверно.

Для определения коэффициента нарушений $k_{\text{н}}$ используются результаты, полученные по формуле

$$S = \frac{N_{\text{шт}}}{100\%} n_{\text{н}}, \quad (3)$$

где S — процентное отношение лиц, допустивших нарушения правил пожарной безопасности на объекте, к численности персонала объекта, рассчитываемое за отчетный период;

$N_{\text{шт}}$ — общая численность персонала объекта;

$n_{\text{н}}$ — число работников объекта и представителей подрядчиков, допустивших нарушения правил пожарной безопасности на данном объекте за отчетный период (за каждый случай).

При $S \geq 1\%$ $k_{\text{н}} = 0,1$; при $S \geq 5\%$ $k_{\text{н}} = 0,2$; при $S \geq 10\%$ $k_{\text{н}} = 0,5$ [7].

Предлагаем также эту методику дополнить тем, что при определении круга лиц, допустивших нарушения, необходимо к лицам, допустившим нарушения, относить и лица, к которым применены меры дисциплинарных взысканий, и лица, на которых составлены протоколы о нарушении требований пожарной безопасности. Это могут быть протоколы об административном правонарушении, составленные инспектором Госпожнадзора, или протоколы о нарушениях требований пожарной безопасности, составленные инспекторами по профилактике пожаров пожарных подразделений, охраняющих завод по договору.

Методикой определено, что при наличии в отчетном квартале пожаров, взрывов и (или) загораний показатель $P_{\text{пож}} = 0$ [7]. Но мы предлагаем это записать, отделив каждую чрезвычайную ситуацию от другой разделительным союзом “или”, добавив

“инцидент” как вид чрезвычайной ситуации, добавив “или другой чрезвычайной ситуации”. Таким образом, у нас получится: “...при наличии пожара, или взрыва, или загорания, или инцидента, или другой чрезвычайной ситуации $P_{\text{пож}} = 0$ ”. На производственных предприятиях иногда возникают такие неприятные ситуации, при которых с целью скрыть факт пожара, загорания или другой чрезвычайной ситуации, чтобы не ухудшать статистики, называют это инцидентом и расследуют его внутри предприятия, оформляя внутренним актом. Предлагаем эти чрезвычайные ситуации учитывать.

Минимально допустимый показатель пожарной опасности, при котором не требуется разработка предупредительных и регулирующих мероприятий, $P_{\text{пож}} = 0,98$ [7].

Максимально возможный показатель пожарной опасности $P_{\text{пож}} = 1$, т. е. это такие ситуации, при которых на установках производства не было нарушений, не было нарушителей, не происходили пожары и другие чрезвычайные ситуации за отчетный период (квартал).

Вот как просто по сравнению с другими методиками на нефтеперерабатывающем предприятии вычисляется его пожарная опасность или, выражаясь современным термином, пожарный риск.

Конечно, такую методику, несмотря на то что она относительно проста и доступна, нельзя применять по отношению к сегодняшним нормативным правовым актам. Здесь у нас в качестве показателя пожарной опасности определен пожарный риск, который имеет совсем другие допустимые численные значения. Однако мы можем вывести формулу зависимости этого допустимого показателя пожарной опасности от допустимого значения пожарного риска, определенного в Техническом регламенте [1], или уровня пожарной опасности, определенного в ППБ 01–03 [3]. В таком случае у нас получится новая, относительно доступная методика расчета пожарных рисков и уровня пожарной опасности, окончательные значения которых можно будет увязывать с требованиями Технического регламента [1] или ППБ 01–03 [3]. Попробуем это сделать.

Допустимый пожарный риск (больше не должно быть) — это допустимый показатель пожарной опасности (меньше не должно быть), или 0,000001 (больше не должно быть) — это 0,98 (меньше не должно быть). Чем больше пожарный риск, тем меньше должен быть показатель пожарной опасности. Зависимость = $(0,98 - 1)/0,000001 - 0$. При показателе пожарной опасности, равном 1, пожарный риск равен 0. Выводим соотношение:

$$(0,98 - 1)/0,000001 - 0.$$

Из этого соотношения выводим допустимое значение пожарного риска с учетом данной зависимости. Допустимый пожарный риск равен:

$$P_{\text{доп}} = 0,98/0,000001 = 98000, \\ P_{\text{доп}} = 98000 P_{\text{пож доп}}.$$

Риск больше допустимого, если

$$P = 98000 P_{\text{пож}} < 0,000001.$$

Риск меньше допустимого, если

$$P = 98000 P_{\text{пож}} > 0,000001.$$

При $P_{\text{пож}} = 1$ (т. е. полученном в результате расчетов по вышеописанной методике) используем другую формулу — формулу минимального или нулевого пожарного риска:

$$P_{\text{мин}} = 0 \times P_{\text{пож}} = 0 \times 1 = 0.$$

Вычисляем показатель пожарной опасности, далее подставляем полученное значение в зависимость, выведенную нами, и полученное расчетное значение можем сравнивать с допустимыми значениями по Техническому регламенту или ППБ 01–03.

Предлагаем на ОАО “Уфанефтехим” внести изменения в Стандарт предприятия, связанные с методикой расчета показателя пожарной опасности с учетом специфики построенной на заводе системы контроля пожарной безопасности, а нам принять на вооружение эту новую методику как положительный опыт и применять ее в качестве одной из методик расчета пожарных рисков на производственных предприятиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ : принят Гос. Думой 04.07.2008 г. : одобр. Советом Федерации 11.07.2008 г. — М. : ФГУ ВНИИПО, 2008. — 157 с.
2. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах : приложение к Приказу МЧС России от 10.07.2009 г. № 404 : зарегистрирован в Минюсте РФ 17.08.2009 г., рег. № 14541 [электронный ресурс]. URL : <http://www.mchs.gov.ru> (дата обращения: 10.10.2010).
3. ППБ 01–03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации : утв. Приказом МЧС России № 313 от 18.06.2003 г. : зарег. в Минюсте 27.06.2003 г. рег. № 4837 : введ. 30.06.2003 г. — М. : ГУГПС и ВНИИПО МЧС России, 2003; Российская газета. — 2003. — № 129.

4. ГОСТ 12.1.004–91*. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования. — Введ. 01.07.1992 г. — М. : Изд-во стандартов, 1991; ИПК “Изд-во стандартов”, 1996; 2002.
5. Брушлинский Н. Н., Глуховенко Ю. М., Коробко В. Б., Лупанов С. А., Клепко Е. А. Пожарные риски. Вып. 1. Основные понятия / Национальная академия наук пожарной безопасности. — М., 2004.
6. ГОСТ 12.1.033–81*. ССБТ. Пожарная безопасность. Термины и определения. — Введ. 01.07.1982 г. — М. : Изд-во стандартов, 1985.
7. СТП 05766540-15-04–2005. Стандарт предприятия ОАО “Уфанефтехим”.

*Материал поступил в редакцию 20.08.2010 г.
Электронный адрес авторов: bakirovirek@bk.ru.*

**ООО «ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПОЖНАУКА»
ПРЕДЛАГАЕТ ВАШЕМУ ВНИМАНИЮ**

Учебное пособие

В. Н. Черкасов, В. И. Зыков

**Обеспечение
пожарной безопасности
электроустановок**



Рецензенты: Федеральное государственное учреждение Всероссийский ордена «Знак почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России, кафедры физики и пожарной безопасности технологических процессов Академии ГПС МЧС России.

В учебном пособии рассмотрены общая схема электроснабжения потребителей, классификация электроустановок и причины пожаров от них, а также вероятностная оценка пожароопасных отказов в электротехнических изделиях и пожарная безопасность комплектующих элементов. Приведены нормативные обоснования и инженерные решения по обеспечению пожарной безопасности электроустановок и защите зданий и сооружений от молний и статического электричества. Учебное пособие предназначено для практических работников в области систем безопасности и может быть использовано для подготовки и повышения квалификации специалистов соответствующего профиля.



Web-сайт: firepress.ru

Эл. почта: mail@firepress.ru, izdat_pozhnauka@mail.ru

Тел.: (495) 228-09-03, тел./факс: (495) 445-42-34



Ю. Х. Поландов
д-р техн. наук, Орловский
государственный технический
университет, г. Орел, Россия



В. А. Бабанков
аспирант Орловского
государственного технического
университета, г. Орел, Россия

УДК 536.463

О ВЫГОРАНИИ ГАЗОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ В ЗАМКНУТОМ ОБЪЕМЕ

Показано, что при компьютерном моделировании взрыва газовой смеси в замкнутом объеме весьма продуктивно анализировать физический процесс, используя понятия скорости и времени выгорания. Так, установлено, что смещением места зажигания смеси или устройством перегородки можно изменить время выгорания (до 2...2,5 раз).

Ключевые слова: взрыв газа; закрытый объем; время выгорания; влияние формы объема.

Введение

Понятие массовой скорости выгорания (или просто скорости выгорания) определено нормативными документами лишь для твердых и жидких веществ, но не газообразных. Это объясняется тем, что скорость выгорания прямо пропорциональна площади фронта горения, динамика изменения которого для газовых смесей плохо поддается расчету из-за влияния на него многих факторов, и прежде всего теплового расширения газов и граничных условий [1].

Однако многие авторы используют в своих исследованиях это понятие применительно и к газообразным горючим веществам [2], резонно обосновывая это тем, что оно дает возможность достаточно полно характеризовать интенсивность процесса. Собственно говоря, скорость выгорания оказывается ключевым понятием при оценке всей динамики развития взрыва. Конечно, часть задач можно решить, обходясь понятием среднего значения скорости выгорания за время процесса (взрыва). В данном случае среднее значение скорости ввиду непрерывности процесса взрыва совпадает с понятием среднеинтегрального по времени значения этого показателя. Тогда, наряду с понятием среднеинтегральной скорости, уместно использовать другое понятие — время выгорания смеси (время процесса — взрыва), значение которого может быть зарегистрировано в экспериментах достаточно уверенно.

Общая характеристика экспериментов

Проведены два эксперимента, в которых исследовалось влияние на время выгорания газовой смеси

ной смеси в замкнутом объеме двух факторов: места воспламенения смеси и размеров отверстия в перегородке, установленной в объеме. Задачи решались методом компьютерного моделирования при использовании программного продукта “Вулкан М” [3], который показал свою эффективность при решении других задач.

В экспериментах моделировался взрыв — процесс распространения пламени в однородной стехиометрической смеси газов пропан – бутан – воздух, помещенной в цилиндрический объем ($L = 1500$ мм, $d = 200$ мм). В систему включены уравнения, описывающие газодинамические процессы, механизм распространения пламени. Решение системы основано на методе крупных частиц (ячеек), имеющих форму куба размером $10 \times 10 \times 10$ мм.

Расчет времени выгорания велся по двум методикам. Согласно первой, традиционной, оно определялось по разнице между моментами начала роста давления в объеме и его окончанием. Вторая методика предполагала использование возможностей компьютерного моделирования, поэтому время выгорания определялось как разность между моментами начала роста температуры в ячейке, где производится зажигание, и завершением горения во всех ячейках. Расчет времени выгорания по обоим вариантам давал практически одинаковые значения, но в экспериментах предпочтение было отдано второму варианту.

Влияние места зажигания на время выгорания смеси

Эти исследования проведены в связи со следующим предположением. Зажигание смеси вблизи

© Поландов Ю. Х., Бабанков В. А., 2010

стенки торца должно привести к появлению фронта пламени, распространяющегося в одну сторону в глубь объема, а в средней части — фронта пламени, распространяющегося в обе стороны от места зажигания. Это должно способствовать увеличению площади фронта горения и, следовательно, сокращению времени выгорания смеси. Этим обстоятельством обуславливается возможность зависимости времени выгорания от места зажигания, при этом время выгорания должно измениться приблизительно вдвое.

Проверка этой гипотезы осуществлялась в шести вычислительных опытах, в которых расположение устройства зажигания изменяли равномерно (6 точек) по оси цилиндра, начиная от торца до его середины. На рис. 1 приведены визуализированные результаты моделирования по одному из опытов. На рисунке черным цветом обозначены ячейки, расположенные во фронте горения, а остальная часть смеси имеет окраску, изменяющуюся от темно-серого до светлого в зависимости от местной температуры, причем светлому фону соответствует более высокая температура. Таким образом, темно-серый фон соответствует исходной газовой смеси, которая имела нормальную температуру, а светлый — продуктам сгорания.

Из рис. 1 видно, что на начальной стадии фронт горения имеет форму неправильного эллипсоида вращения с неравными полуосями, большая из которых направлена в сторону наиболее удаленного от места зажигания участка границы (вправо по оси), средняя — в противоположную сторону, а меньшая — к ближайшей границе (по радиусу). С достижением ближайшей границы фронт горения распадается на два участка, а со временем остается только один из них — тот, который движется к дальней границе. Следует обратить внимание на этот участок еще и потому, что по мере приближения к границе он приобретает известную форму “тюльпана”.

Вычислительный эксперимент дает возможность проследить и за динамикой изменения площади фронта пламени во время взрыва, график которой приведен на рис. 2 (тот же опыт, что и на рис. 1). Сравнение его с графиком скорости изменения давления в объеме dp/dt , приведенным на том же рисунке, позволяет отметить не только тот факт, что у графиков совпадают нуль — начало и нуль — конец, но и определенную схожесть форм графиков. Это обстоятельство подтверждает эффективность использования понятия времени выгорания газовой смеси при решении прикладных задач.

Результаты всего эксперимента представлены на рис. 3, из которого следует, что время выгорания смеси уменьшается с 0,36 до 0,24 с при сдвиге места зажигания от торца к середине объема.

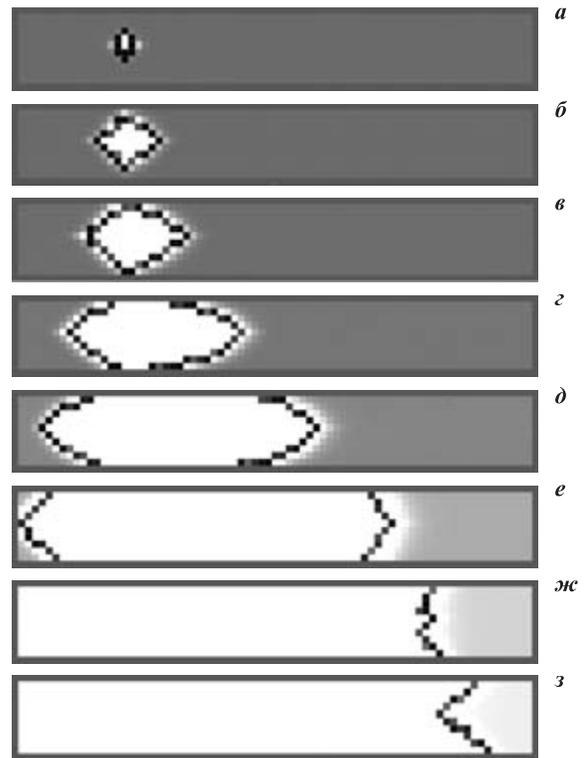


Рис. 1. Этапы протекания процесса выгорания смеси в эксперименте с изменением места зажигания (в последовательности а, б, в, г, д, е, ж, з)

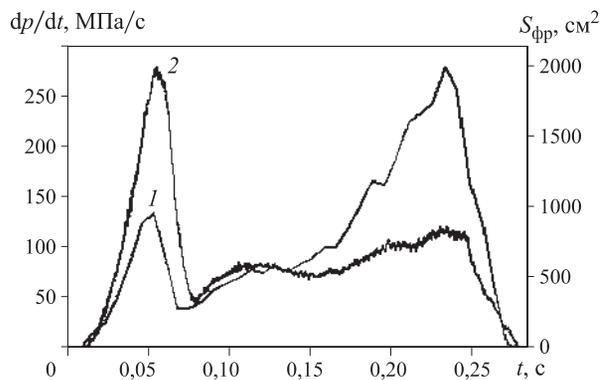


Рис. 2. Изменение dp/dt (1) и площади фронта горения смеси $S_{\text{фр}}$ (2) во время взрыва

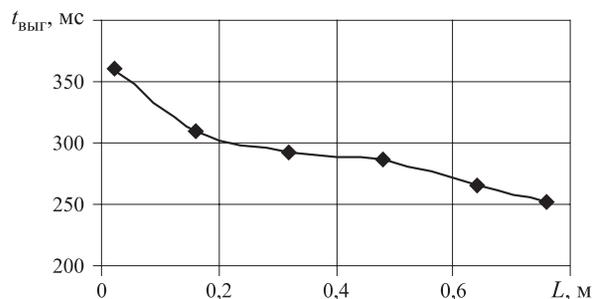


Рис. 3. Зависимость времени выгорания газовой смеси от места зажигания: $t_{\text{выг}}$ — время выгорания всех ячеек, x — относительная величина

Что касается результатов эксперимента и выдвинутой гипотезы, то наличие зависимости времени выгорания от места зажигания подтвердилось, но она оказалась меньше ожидаемой.

Влияние сужения объема на время выгорания смеси

Во время второго эксперимента в цилиндрическом объеме на расстоянии 150 мм от левого фланца была установлена перегородка с отверстием по оси, диаметр которого менялся от опыта к опыту от 1 см² до границ цилиндра. Зажигание смеси осуществлялось у левого фланца. Исследовалось влияние диаметра отверстия на время выгорания газовой смеси.

Ожидалось, что уменьшение диаметра отверстия приведет к повышению давления в левой части и скорости истечения через сужение. В результате этого истекающая струя “разнесет” горячие ячейки по правой части объема и тем самым увеличит площадь фронта горения, что сократит длительность взрыва.

В качестве примера на рис. 4 приведена визуализированная картина расчета по второму эксперименту (к рис. 4 пояснения те же, что и к рис. 1). Из нее видно, что фронт пламени в левой полости формируется обычно, в основном за счет сжатия газов, а в правой полости — струей, истекающей из левой полости. Точнее сказать, влияние струи на фронт пламени является доминирующим фактором: она

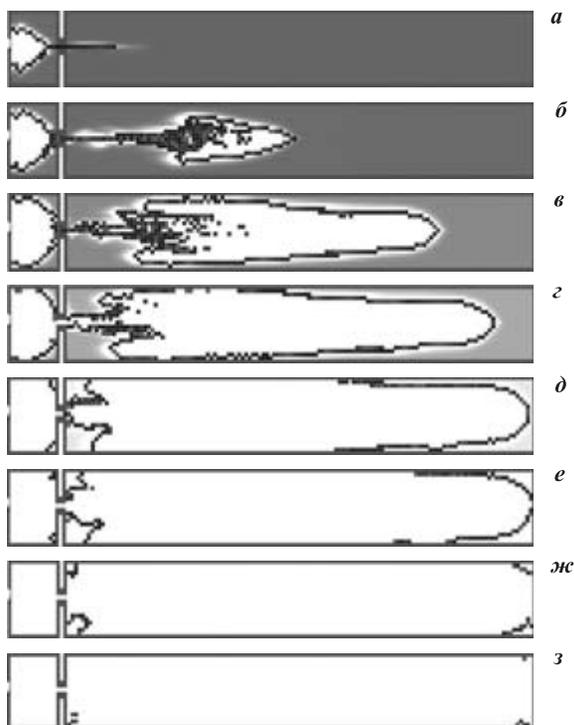


Рис. 4. Этапы протекания процесса выгорания смеси в эксперименте с перегородкой (в последовательности а, б, в, г, д, е, ж, з)

“разносит” по объему очаги горения, увеличивая тем самым площадь фронта пламени и сокращая время выгорания (рис. 5). Наиболее эффективное влияние на выгорание оказывает сужение объема с помощью перегородки с диаметром отверстий менее 80 мм (на графике $F = 0,005 \text{ м}^2$).

На этот эффект можно посмотреть и по-другому, исследуя полученную зависимость в других координатах: $t_{\text{выг}} = t(\Delta p)$, график которой приведен на рис. 6. Полученная зависимость подтверждает суждение о том, что “распространителем” очагов горения по объему является струя, импульс и дальность которой зависит от перепада давления, под действием которого струя истекает. На графике по оси X отложено максимальное значение перепада давления, которое достигается при взрыве. Видно, что, начиная со значения перепада более 12 кПа, перепад давления не оказывает влияния на скорость выгорания смеси. Заметим, что этот вывод об интервале зависимости не совпадает с предыдущим, сделанным при анализе, проведенном по площади отверстия в перегородке.

Интересно, что при исследовании данных, полученных при построении графика $t_{\text{выг}} = t(\Delta p F_0)$, ко-

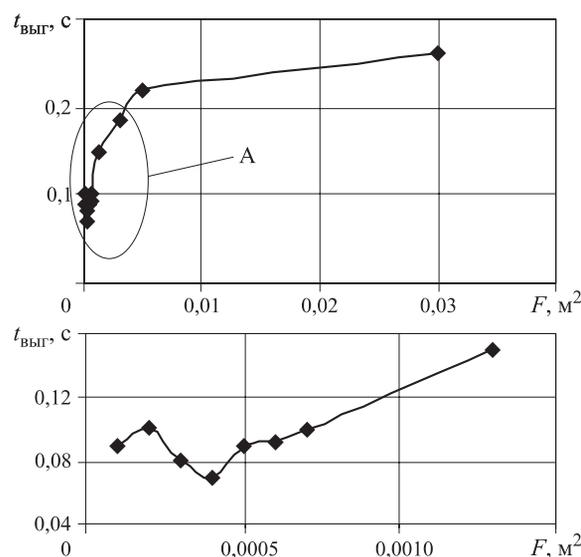


Рис. 5. Зависимость времени выгорания от площади отверстия в перегородке. Внизу — участок А

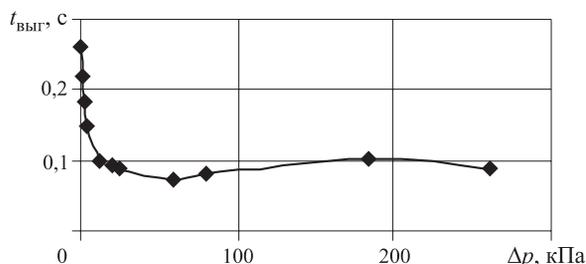


Рис. 6. Зависимость времени выгорания от перепада давления на перегородке

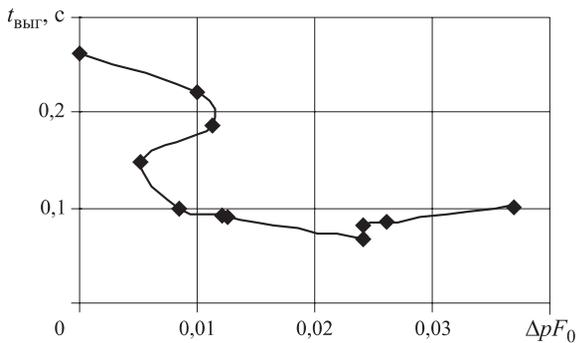


Рис. 7. Зависимость времени выгорания от $\Delta p F_0$ на перегородке

который приведен на рис. 7, обнаруживается, что зависимость имеет участок многозначности. По своей сути произведение $\Delta p F_0$ означает потенциальную энергию, которая на перегородке превращается в кинетическую энергию струй и вихрей, образованных ею. Такие участки многозначности, как известно, называют петлями гистерезиса, имеющими ветви устойчивости и неустойчивости. Наличие такого участка в характеристике процесса при проведении физических опытов означало бы возможность неконтролируемого значительного разброса данных

(наличие скачков) в диапазоне неустойчивости характеристики. Собственно говоря, неоднозначность (в обратных функциях) видна и в характеристиках, приведенных на рис. 5 и 6, хотя эти графики имеют другой характер. Однако существует ли петля гистерезиса реально и, вообще, который из сделанных выводов является справедливым, может показать только физический эксперимент.

Результаты второго эксперимента подтверждают выдвинутую гипотезу о существенном влиянии сужения объема на время выгорания смеси. Подбором размера отверстия в перегородке можно уменьшить время выгорания газовой смеси в закрытом объеме в 2,5 раза. Наряду с этим отметим также наличие интервалов изменения параметров на характеристиках, при которых время выгорания меняется мало.

Подводя итоги, согласимся с доводом, что такой интегральный показатель процесса, как время выгорания, позволяет ставить и решать вопросы, относящиеся к проблеме взрыва газозвушных смесей.

Исследования проведены и опубликованы на средства, выделенные Российским фондом фундаментальных исследований (РФФИ), проект 09-08-99019 оф.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мольков В. В., Некрасов Ю. П. Динамика сгорания газа в постоянном объеме при наличии истечения // Физика горения и взрыва. — 1981. — Т. 17, № 4. — С. 17–24.
2. Водяник Б. И. Динамика развития взрывов в замкнутых объемах // Обзор инф. Сер.: Техника безопасности. — М.: НИИТЭХИМ, 1982. — 33 с.
3. Поландов Ю. Х., Барг М. А., Власенко С. А. Моделирование процесса горения газозвушной смеси методом крупных частиц // Пожаровзрывобезопасность. — 2007. — Т. 16, № 3. — С. 6–9.

*Материал поступил в редакцию 2 июля 2010 г.
Электронный адрес авторов: polandov@yandex.ru.*



Н. Н. Брушлинский

д-р техн. наук, профессор, начальник НИЦ управления безопасностью сложных систем Академии ГПС МЧС РФ, г. Москва, Россия



В. Ю. Шимко

соискатель Академии ГПС МЧС РФ, г. Москва, Россия



В. Л. Карпов

д-р техн. наук, гл. научный сотрудник ФГУ ВНИИПО МЧС РФ, г. Балашиха МО, Россия



М. Х. Усманов

канд. физ.-мат. наук, доцент, начальник НИЦ проблем пожарной безопасности ВТШПБ МВД РУз, г. Ташкент, Республика Узбекистан



В. П. Семенов

инженер ВТШПБ МВД РУз, г. Ташкент, Республика Узбекистан



С. М. Джураев

начальник Пожарно-технической лаборатории ГУПБ МВД РУз, г. Ташкент, Республика Узбекистан

УДК 614.843.4

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ СТРУЕОБРАЗУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

Разработано опытное струеобразующее устройство с изменяемым углом установки струеобразователя (пластины) по отношению к оси струи воды, подаваемой из ствола ВНИИПО. Экспериментально изучена зависимость длины распыленной струи от диаметра spryska ствола, давления на стволе и угла установки струеобразователя.

Ключевые слова: струеобразующее устройство; огнетушащее вещество; распыленная струя; пожарный ствол; диаметр spryska ствола.

Среди различных видов противопожарного оборудования значительный удельный вес занимают пожарные стволы со специальными насадками, предназначенные для создания огнетушащих струй и управления ими в процессе тушения пожара.

Многообразие конструкций пожарных стволов обусловлено использованием различных огнетушащих веществ, а также условиями эксплуатации их в процессе тушения пожаров различных классов.

Практика тушения пожаров класса А показывает, что эффективность их тушения распыленными струями значительно выше, чем компактными [1]. Анализом влияния основных факторов на процесс ликвидации горения твердых горючих материалов и веществ (ТГМ) установлено, что осуществлять тушение энергетически выгодно путем отвода тепла от горячей поверхности [2]. При этом наибольшей эффективностью тушения твердых горючих материалов и веществ обладают капли воды дисперсностью 100–200 мкм [3]. Уменьшение их до размера менее 100 мкм не приводит к повышению эффек-

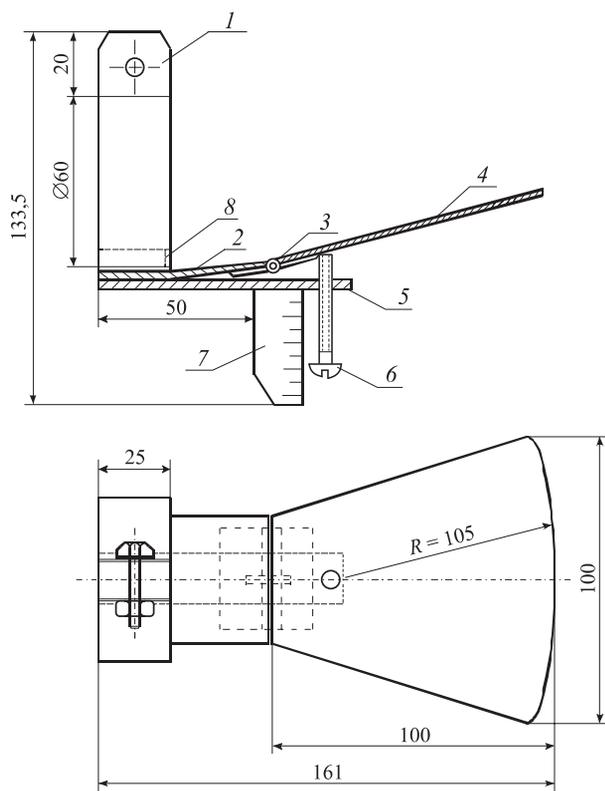
тивности тушения, что обусловлено невозможностью транспортировки огнетушащего средства с дисперсностью капель столь малого размера через зону горения из-за их испарения еще до подлета к очагу горения [3]. Очевидно, что для достижения необходимой эффективности тушения пожаров ТГМ следует использовать распыленные струи со средним размером капель воды не менее 100 мкм.

Близкой характеристикой обладают струи, формируемые струеобразователем в виде пластины, установленной перед sprysком ствола под определенным углом.

Для оптимизации углов установки отражательной пластины перед sprysком ствола было разработано опытное струеобразующее устройство с изменяемым углом установки струеобразователя (пластины) по отношению к оси струи (см. рисунок), которое было изготовлено ООО "YONG'IN-TEX".

Устройство состоит из хомута 1, неподвижной пластины 2, шарнирного соединения 3, струеобра-

© Брушлинский Н. Н., Шимко В. Ю., Карпов В. Л., Усманов М. Х., Семенов В. П., Джураев С. М., 2010



Опытное струеобразующее устройство

зователя 4, упора фиксатора 5, болта 6, координатника 7, косынки 8.

Хомут изготовлен из листовой стали толщиной 1,5 мм и служит для крепления устройства на спрыске ВНИИПО. Регулировка угла наклона струеобразователя относительно оси струи осуществляется с помощью болта, находящегося в резьбовом отверстии упора фиксатора.

Гидравлические испытания опытного струеобразующего устройства были подготовлены и проведены на территории предприятия ООО «YONG'IN-TEX» в период с июля по сентябрь 2007 г. в соответствии с программой и методикой испытаний, разработанными Пожарно-технической лабораторией Главного управления пожарной безопасности и НИЦ Высшей технической школы пожарной безопасности МВД РУз.

Испытания проводили на открытой площадке при скорости ветра не более 3 м/с. Ствол ВНИИПО с закрепленным струеобразующим устройством устанавливали на специально разработанной подставке под углом наклона к горизонту $(30 \pm 1)^\circ$ на высоте $(1 \pm 0,01)$ м от среза выходного отверстия до испытательной площадки. В качестве водопитателя использовали насосную установку автоцистерны АЦ-40 (130)63А, установленную на пожарный гидрант.

В процессе испытаний определяли вид и характер распыленной струи, а также ее длину в зависи-

Таблица 1. Данные измерений длины струи для диаметра спрыска ствола 13 мм

Давление на стволе, МПа	Длина распыленной струи, м, в зависимости от угла установки струеобразователя α , град					
	10	15	20	25	30	35
0,4	15,2	13,0	11,8	11,0	9,5	8,0
	15,0	14,0	12,7	11,3	9,0	7,5
	14,4	14,5	12,0	10,5	9,2	8,4
	15,5	13,6	12,3	11,4	9,7	7,8
	14,8	13,7	12,5	10,5	10,0	7,5
0,5	15,7	14,5	13,0	11,5	9,3	7,3
	15,5	13,8	12,6	11,2	10,0	8,2
	15,3	14,0	12,7	11,5	9,5	7,6
	15,2	14,3	12,3	11,3	9,8	7,8
	15,7	14,5	12,8	11,7	9,9	8,4
0,6	16,0	14,5	13,5	11,8	10,3	8,3
	16,3	14,8	14,0	12,5	10,5	7,8
	15,5	15,3	14,1	12,0	11,0	8,4
	15,8	14,3	13,8	12,5	11,2	7,8
	15,9	14,7	13,8	12,7	10,7	8,3

мости от диаметра спрыска ствола, давления на стволе и угла установки струеобразователя.

Основной задачей испытаний являлось получение исходных данных для определения влияния угла установки струеобразователя на характер распыления и длину распыленной струи.

Основная цель исследований — оптимизация углов установки струеобразователя в зависимости от диаметра спрыска ствола и давления на стволе.

Замеры длины распыленной струи проводили по методике, изложенной в НПБ 177–99* [4]. Дальность струи (максимальную, по крайним каплям) измеряли от проекции насадка ствола на испытательную площадку, используя предварительно установленные маяки в виде металлических конусов и металлическую рулетку Р10 УЗК (ГОСТ 7502). В процессе гидравлических испытаний отмечали вид и характер распыленной струи в зависимости от диаметра спрыска ствола, угла установки струеобразователя и давления на стволе.

Всего было проведено пять серий испытаний. Полученные данные испытаний сведены в табл. 1–5.

Анализом полученных данных (см. табл. 1–5) установлено, что в каждой частной серии из пяти измерений разброс значений длин распыленных струй не превышает в основном 1 м. Полагая, что распределение случайных ошибок измерений подчиняется нормальному закону распределения Гаусса, оценку точности измерений проводили по методике обработки результатов прямых измерений [5].

Таблица 2. Данные измерений длины струи для диаметра sprыска ствола 16 мм

Давление на стволе, МПа	Длина распыленной струи, м, в зависимости от угла установки струеобразователя α , град					
	10	15	20	25	30	35
0,4	15,6	14,5	13,0	11,7	10,3	9,4
	15,3	14,4	12,7	12,0	10,7	9,0
	15,8	14,8	12,9	12,0	10,5	8,5
	15,7	14,2	13,5	12,4	10,2	9,2
	15,4	14,5	12,8	12,6	10,8	9,0
0,5	16,0	15,0	13,7	12,8	11,5	10,0
	15,8	15,3	14,2	13,3	11,4	9,8
	16,4	16,2	14,0	13,0	11,2	9,4
	16,5	15,5	14,5	12,7	11,8	10,0
	16,7	14,8	14,0	12,9	12,0	9,6
0,6	17,6	16,5	15,3	13,8	12,2	10,5
	17,5	16,0	14,8	14,0	12,5	11,0
	17,2	16,8	15,0	13,6	12,6	10,8
	17,8	16,4	16,0	14,5	13,0	11,4
	17,7	16,5	15,5	14,5	12,7	10,9

Таблица 3. Данные измерений длины струи для диаметра sprыска ствола 19 мм

Давление на стволе, МПа	Длина распыленной струи, м, в зависимости от угла установки струеобразователя α , град					
	10	15	20	25	30	35
0,4	18,0	17,0	15,5	14,7	12,5	11,7
	17,7	17,3	16,3	14,0	13,3	11,5
	18,4	16,9	15,3	15,0	12,9	11,5
	17,9	17,0	16,0	14,5	13,0	11,0
	18,0	16,5	16,2	14,3	12,9	11,0
0,5	18,7	18,0	16,7	15,5	13,5	12,0
	19,0	18,2	17,0	14,8	13,3	11,5
	19,3	17,5	16,7	15,5	13,7	11,7
	18,5	17,8	16,5	15,1	14,0	11,3
	19,5	17,7	16,8	15,3	14,1	12,4
0,6	20,0	18,6	18,2	16,8	16,0	13,5
	20,5	19,0	17,5	16,7	14,6	13,7
	19,8	19,5	17,8	17,0	15,0	13,0
	20,4	18,9	18,0	16,5	15,2	13,5
	20,3	19,0	17,9	16,6	15,7	13,3

При этом установлено, что относительная погрешность измерений по выбранным частным сериям из пяти измерений длин распыленной струи не превышает 4,5 %.

Оптимальные углы установки струеобразователя в зависимости от диаметров sprысков ствола определялись по осредненным значениям длин струй в диапазоне давлений 0,4–0,6 МПа, что согласно

Таблица 4. Данные измерений длины струи для диаметра sprыска ствола 22 мм

Давление на стволе, МПа	Длина распыленной струи, м, в зависимости от угла установки струеобразователя α , град					
	10	15	20	25	30	35
0,4	22,5	21,3	20,2	18,7	17,3	15,8
	22,1	21,0	20,0	18,5	17,4	16,0
	22,7	20,5	19,5	18,8	17,0	15,5
	21,8	21,0	19,7	18,1	17,5	16,2
	22,0	20,6	20,0	18,4	17,4	16,0
0,5	23,3	21,8	20,2	19,7	17,7	16,7
	23,1	21,5	20,5	19,5	18,0	16,0
	22,7	22,0	20,8	19,8	18,4	16,5
	22,2	21,9	21,0	19,1	18,7	16,9
	22,8	22,0	20,9	19,8	18,2	16,8
0,6	23,5	22,2	21,2	19,7	19,0	17,0
	24,0	23,0	21,7	20,5	18,5	16,7
	24,3	22,5	21,8	19,9	18,4	17,3
	24,4	22,8	21,5	20,2	18,7	16,8
	24,0	22,7	21,7	20,0	18,8	17,2
	26,8	25,0	24,0	22,7	21,3	19,4
	26,8	25,7	24,2	22,8	21,0	19,6

Таблица 5. Данные измерений длины струи для диаметра sprыска ствола 25 мм

Давление на стволе, МПа	Длина распыленной струи, м, в зависимости от угла установки струеобразователя α , град					
	10	15	20	25	30	35
0,4	24,5	22,5	21,5	20,5	18,5	17,5
	24,0	23,5	21,0	20,3	19,2	16,6
	23,5	23,0	21,7	20,0	18,7	17,3
	24,5	22,7	22,0	19,7	18,9	17,0
	24,3	23,3	21,5	20,0	19,0	16,9
0,5	25,0	23,6	22,2	21,0	19,5	17,9
	24,5	22,8	21,7	21,8	19,3	17,2
	24,8	23,5	22,3	20,9	19,0	17,5
	25,2	23,8	21,8	20,7	18,9	18,0
	25,3	23,7	22,4	20,9	19,5	17,9
0,6	26,0	24,7	23,0	21,8	19,7	18,6
	25,5	24,5	23,0	22,0	19,8	18,5
	25,7	24,8	23,7	21,7	20,5	18,7
	25,5	23,9	23,5	22,5	20,0	18,0
	25,7	24,5	22,9	22,0	19,8	18,6

НПБ 177–99* [4] соответствует рабочим давлениям для ручных стволов.

Если за оптимальный угол установки струеобразователя принять такое его значение, при котором длина распыленной струи составляет не менее 15 м, что соответствует требованиям НПБ 177–99* [4], то

Таблица 6. Оптимальные значения углов установки струеобразователя

Диаметр спрыска, мм	Угол, град, при давлении на стволе, МПа		
	0,4	0,5	0,6
13	9,92	11,90	13,81
16	12,59	16,41	21,29
19	23,16	25,16	30,79
22	38,17	39,88	40,95
25	40,72	43,80	46,76

оптимальное значение угла установки струеобразователя можно определить, используя метод конечных разностей [6], по формуле

$$\alpha_{\text{опт}} = \alpha_{\text{мин}} + \Delta\alpha/h(L_{\text{max}} - L_{\text{тр}}), \quad (1)$$

где $\alpha_{\text{опт}}$ — оптимальный угол установки струеобразователя, град;

$\alpha_{\text{мин}}$ — наименьший угол установки струеобразователя в выбранном интервале, град;

$\Delta\alpha$ — разность углов в выбранном интервале, град;

h — шаг интервала по длине струи, м;

L_{max} — наибольшая длина струи в выбранном интервале, м;

$L_{\text{тр}}$ — принятая (требуемая) длина распыленной струи, м; согласно НПБ 177–99 [4] не менее 15 м.

Полученные значения оптимальных углов представлены в табл. 6.

Выводы

1. Струеобразующее устройство позволяет сформировать распыленные струи длиной до 26 м и площадью факела до 150 м².

2. С увеличением угла установки струеобразователя повышается степень распыления воды с одновременным уменьшением длины струи.

3. В результате проведенных исследований определены оптимальные углы установки струеобразователя в зависимости от диаметра spryska ствола.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдурагимов И. М., Вильчковский С. К., Ринков К. М., Яворский Г. А. О повышении эффективности и коэффициента использования огнетушащих составов при тушении пожаров ТГМ / Труды ВИПТШ МВД СССР. Вып. 3. — М., 1978. — С. 10–12.
2. Абдурагимов И. М. Критерий тушения пожаров охлаждающими огнетушащими средствами // Журнал Всесоюзного химического общества им. Менделеева. — 1982. — Т. XXVII, № 1. — С. 11.
3. Дымов С. М., Цариченко С. Г., Былинкин В. А. Применение тонкораспыленной воды в практике пожаротушения / Материалы XV Научно-практической конференции. Часть 1. ВНИИПО МВД РФ. — М., 1999. — С. 268.
4. НПБ 177–99*. Техника пожарная. Стволы пожарные ручные. Общие технические требования. Методы испытаний : утв. ГУГПС МВД России 01.02.1999, МЧС России 18.06.2003 : введ. в действие 01.05.1999. — М. : ГПС МВД РФ, 2000. — С. 6.
5. Касандрова О. Н., Лебедев В. В. Обработка результатов наблюдений. — М. : Наука, 1970. — С. 86.
6. Корнев Ф. В. Эмпирические формулы в школе : пособие для учителей. — М. : Просвещение, 1970. — С. 14.

Материал поступил в редакцию 4 августа 2010 г.
Электронный адрес авторов: albrus-ssv@yandex.ru.



С. П. Храпцов
ст. научный сотрудник
Академии ГПС МЧС РФ,
г. Москва, Россия



А. В. Пряничников
преподаватель-методист
Академии ГПС МЧС РФ,
г. Москва, Россия



П. В. Никишин
начальник военного представительства
№ 1 Управления военных представи-
тельств центра обеспечения деятельности
ФПС МЧС РФ, г. Москва, Россия



А. П. Кармес
ст. инженер-электроник
Академии ГПС МЧС РФ,
г. Москва, Россия

УДК 614.8+621.1

РАЗРАБОТКА СТВОЛОВ ПОДАЧИ ТЕМПЕРАТУРНО-АКТИВИРОВАННОЙ ВОДЫ ДЛЯ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ С НУЛЕВОЙ ОТДАЧЕЙ И ПОЛНЫМ РАСКРЫТИЕМ СТРУИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АВТОМОБИЛЯ ПОЖАРНОГО МНОГОЦЕЛЕВОГО

Учеными Академии ГПС МЧС России проведены исследования и разработаны насадки стволов для подачи температурно-активированной воды, использование которых позволит уменьшить реакцию стволы, а также раскрыть струю на 180°. При тушении пожаров такие стволы могут существенно расширить тактику использования автомобиля пожарного многоцелевого и обеспечить защиту пожарных от тепловых потоков.

Ключевые слова: автомобиль пожарный многоцелевой; температурно-активированная вода; реакция ствола; взрывное вскипание; насадок ствола.

Термин “температурно-активированная вода” (ТАВ) был впервые использован в статье И. М. Тетерина в 2005 г. [10].

Физическая сущность получения ТАВ (рис. 1) сводится к подаче воды под большим давлением (от 1,6 до 4,7 МПа) в специально разработанный теплообменник. В теплообменнике вода сначала нагревается до температуры 160–210 °С (такую воду принято называть недогретой [3], поскольку температура жид-

кости меньше температуры насыщения при заданном давлении), затем по гибким или металлическим трубопроводам подается к специальным стволам-распылителям, где она за считанные доли секунды (10^{-4} – 10^{-9} с) переходит в метастабильное состояние. В результате последующего взрывного вскипания [9] образуются струи ТАВ (рис. 2) с размером капель от 1 до 10 мкм, которые по своим свойствам близки к теплым туманам и облакам. Основные параметры воды при ее температурной активации представлены в таблице.

Таким образом, ТАВ называется парок капельная смесь, полученная в результате мгновенного пере-

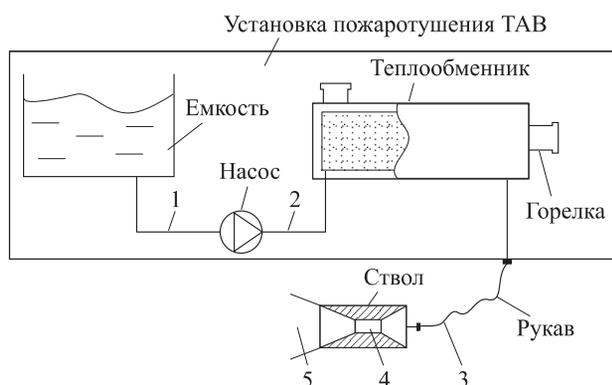


Рис. 1. Схема получения ТАВ: 1, 2, 3, 4, 5 — параметры воды согласно таблице

Параметры воды при ее температурной активации

№ п/п	Температура t , °С	Давление P , МПа	Состояние	Время τ , с
1	4–60	0,01	Вода	1–3
2	4–60	1,6–4,7	То же	3–5
3	160–210	1,3–2,0	Недогретая вода	40–60
4	160–210	0,6–1,9	Перегретая вода	10^{-4} – 10^{-9}
5	60	0,01	ТАВ	300–1800

© Храпцов С. П., Пряничников А. В., Никишин П. В., Кармес А. П., 2010



Рис. 2. Тушение горючей жидкости ТАВ



Рис. 3. АПМ 3-2/40-1,38/100-100 (43118), мод. ПиРо3-МПЗ

хода недогретой воды в область метастабильного состояния и последующего взрывного вскипания.

После такого процесса вода приобретает уникальные свойства не только за счет получения капель микронного размера, но и изменения структуры воды. Эти свойства аналогичны тем, которые в природе вода приобретает в поровых породах при высоких температурах и давлениях [2]. Такая вода обладает повышенной способностью растворять и длительное время удерживать в своем составе растворенные вещества в аномальных количествах. Такая вода в работе академика Ф. А. Летникова [2] названа активированной, а сам процесс — температурной активацией.

В 2007–2008 гг. Академией ГПС МЧС России совместно со специалистами ООО “Аква-ПиРо-Альянс” был разработан и изготовлен автомобиль пожарный многоцелевой (АПМ), который в соответствии с приказом МЧС [17] поставлен на снабжение подразделений МЧС России (рис. 3). Результаты исследований по использованию АПМ для различных целей опубликованы в работах [4–8, 12–16].

Важным этапом в разработке тактики пожаротушения с применением ТАВ является исследование способов ее подачи. Были проведены исследования по подаче ТАВ из стволов с использованием шайбы с острой кромкой, через насадки с соплом Лавала, с добавлением к насадке удлиняющей трубки. Это позволило определить основные диапазоны работы АПМ, основные характеристики струй ТАВ — дисперсность, дальность, необходимые расходы. Основные конструктивные особенности стволов-распылителей для подачи ТАВ представлены на рис. 4.

При истечении недогретой жидкости через канал в пространство, где давление меньше давления насыщения при заданной температуре воды, вскипание воды может происходить либо перед каналом, либо в самом канале, либо непосредственно за ним. Образованию пузырьков пара предшествует перегрев жидкости в потоке. Источником пузырьков могут быть как готовые центры, так и флуктуационные, имеющие различную природу, что обуславливает неодинаковые режимы вскипания жидкости.

При выходе воды из ствола происходит взрывное вскипание жидкости, что приводит к переходу гидравлического режима течения к критическому (кризис потока), что в синергетике принято называть неравновесным фазовым переходом. Струя вскипающей жидкости вследствие неустойчивости поверхности тангенциального разрыва и фазовой неустойчивости жидкого состояния характеризуется значительными флуктуациями. При таких условиях были обнаружены тепловые пульсации, спектр мощности которых изменяется пропорционально частоте ($1/f$, или фликкер-шум) [1, 9].

Опыты по тушению модельных очагов, проведение учений с использованием установки получения

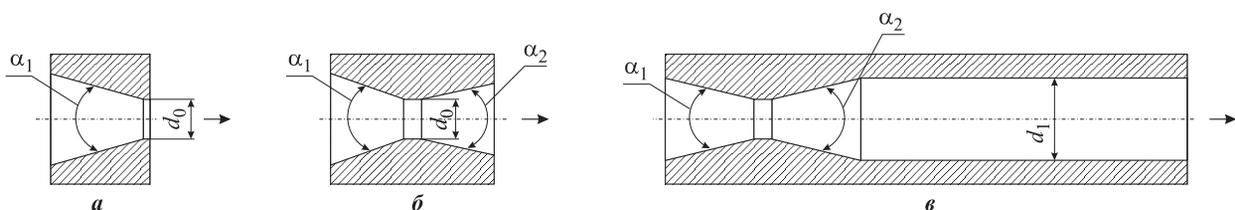


Рис. 4. Основные конструктивные особенности насадков стволов-распылителей для подачи ТАВ: *а* — с шайбой с острой кромкой; *б* — с соплом Лавала; *в* — дальнобойный ствол; α_1, α_2 — угол расточки соответственно суживающейся и расширяющейся части; d_0 — диаметр сопла; d_1 — диаметр наконечника насадка ствола

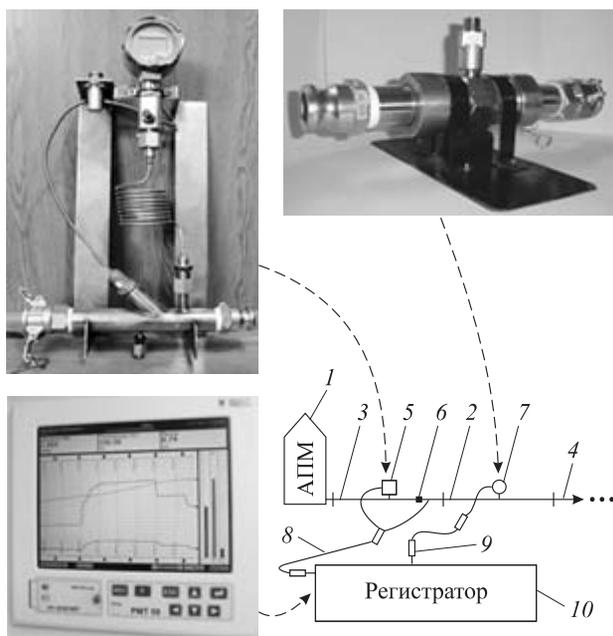


Рис. 5. Измерительный комплекс и схема для проведения испытаний: 1 — автомобиль пожарный многоцелевой; 2 и 3 — рукавные вставки для установки измерительных преобразователей; 4 — ручной ствол для подачи ТАВ; 5 — датчик избыточного давления; 6 — термопреобразователь; 7 — турбинный преобразователь расхода воды; 8 — соединительный кабель; 9 — разъем для кабеля; 10 — регистратор

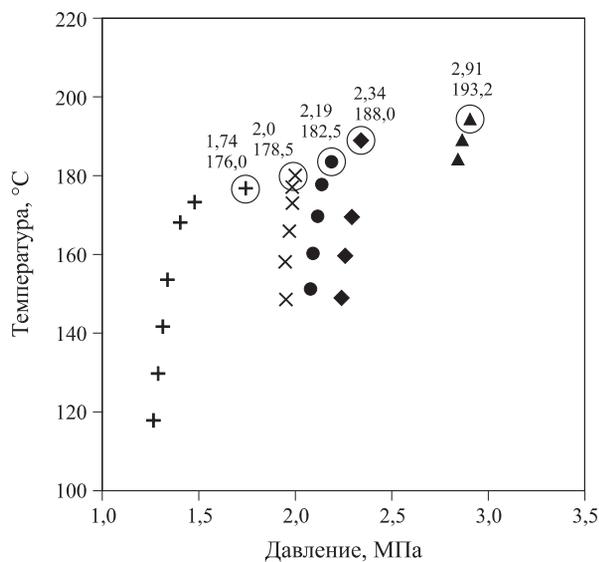


Рис. 6. Результаты испытаний: ▲ — насадок с углом 45°; ◆ — насадок с углом 60°; ● — насадок с углом 75°; × — насадок с углом 90°; + — экспериментальный насадок; ⊙ — точка раскрытия струи на 180°

ТАВ, а также опыт эксплуатации прототипа АПМ в г. Москве выявили потребность в дальнейшем совершенствовании конструкций стволов подачи ТАВ и сопел к ним.

В связи с этим в 2008–2009 гг. по инициативе сотрудников отделения инновационных технологий от-

дела организации научных исследований и научной информации Академии ГПС МЧС России совместно со специалистами ООО “Аква-ПиРо-Альянс” были проведены исследования по созданию сопел-распылителей ТАВ, с помощью которых можно уменьшить реакцию стволов, а также раскрыть струю ТАВ на 180°. В научных трудах такой угол раскрытия струи называется эффектом Коанда [11]. Разработка таких стволов позволит существенно расширить тактику использования АПМ при тушении пожаров и обеспечить защиту пожарных от тепловых потоков.

Для этих целей был разработан ряд из семи насадков с различными внутренними углами — 10, 15, 30, 45, 60, 75 и 90°. Принцип работы сопел заключается в том, что струя воды, выходящая из насадки, стремится отклониться по направлению к стенке, т. е. происходит полное раскрытие струи на 180°.

При проведении экспериментов был использован измерительный комплекс для исследования гидравлических характеристик технических средств подачи ТАВ (рис. 5). Для измерения избыточного давления и температуры воды использована рукавная вставка 3 с установкой на нее датчика избыточного давления 5 и термопреобразователя 6. Для измерения расхода воды использована рукавная вставка 2 с турбинным преобразователем расхода 7. Для регистрации и визуализации параметров избыточного давления, расхода и температуры воды применен измерительный прибор — регистратор многоканальный технологический 10. Такой комплекс способен одновременно измерять избыточное давление в диапазоне от 0 до 4 МПа, расход — от 0,4 до 4,0 л/с и температуру — от 0 до +250 °С при движении воды по техническим средствам с сохранением данных на электронном носителе информации и выводом на экран монитора измерительного прибора.

В ходе эксперимента со стационарным истечением ТАВ в атмосферу было установлено, что при давлении 2,3 МПа и температуре до 210 °С на насадках с внутренними углами 10, 15 и 30° эффект Коанда не наблюдался. За истечением ТАВ в атмосферу велось визуальное наблюдение, и изменения форм струй последовательно фиксировались с помощью фотосъемки. Воздействие отдачи ствола определялось оператором, держащим ствол, по усилию в руке.

При использовании насадков с внутренними углами 45, 60, 75 и 90° эффект Коанда наблюдался. Результаты опыта подтвердили возможность полного раскрытия струи на 180° уже при давлении 2,0 МПа и температуре 180 °С. Анализ результатов (рис. 6) показывает, что с увеличением внутреннего угла эффекта Коанда можно добиться при меньших давлении и температуре. Стадии раскрытия струи по-

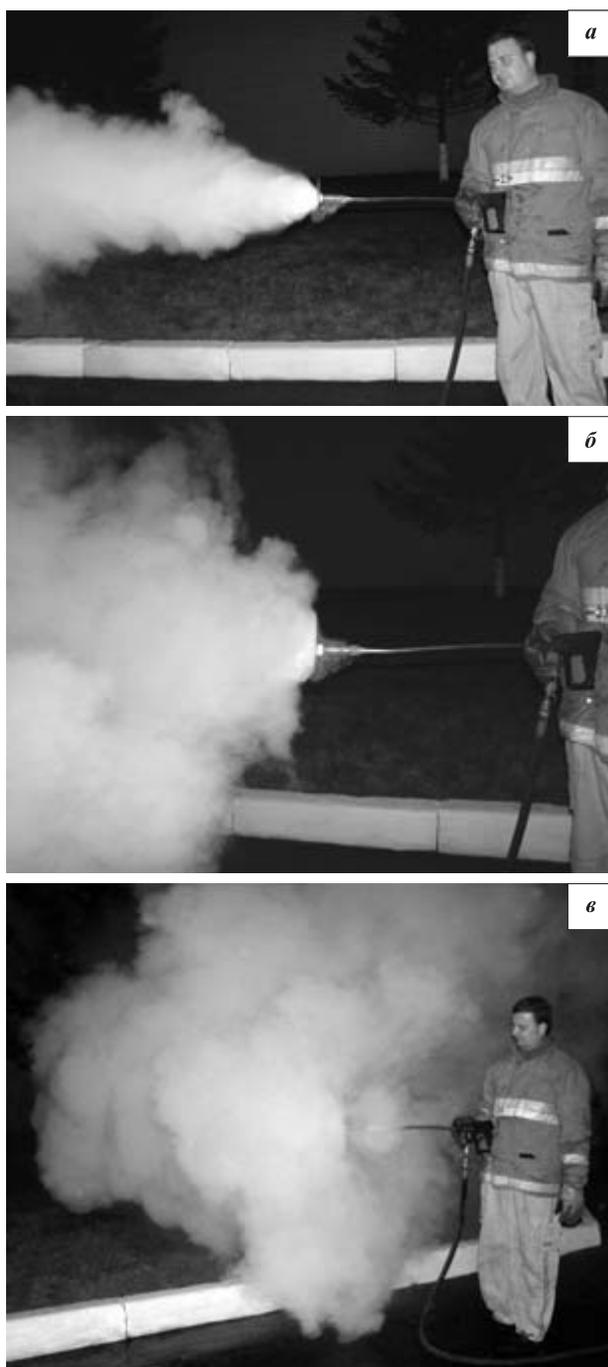


Рис. 7. Стадии раскрытия струи ТАВ: а — начальная, б — промежуточная, в — полное раскрытие



Рис. 8. Раскрытие струи при подаче ТАВ с использованием экспериментального насадка

казаны на рис. 7. При проведении экспериментов было выявлено, что величина силы реакции струи уменьшается с углом раскрытия струи и полностью исчезает при полном ее раскрытии.

В результате проведенных опытов был разработан еще один экспериментальный насадок к стволу “Пика” (рис. 8) для получения струй ТАВ с меньшей отдачей и полным раскрытием на 180°. В ходе исследования такого насадка эффект Коанда наблюдался уже при температуре 176 °С и избыточном давлении 1,73 МПа.

Проведенные исследования позволили доказать, что можно изготовить стволы с насадками, которые не будут иметь отдачи и могут сформировать движение струи вдоль защищаемых поверхностей и ограждений в зданиях. Опыты позволяют определить дальнейшие исследования по разработке профилей сопел с целью добиться получения полного раскрытия струи при меньших температуре и давлении, а также исследование характеристик распространения струй ТАВ вдоль поверхностей.

За проведенную работу авторы были отмечены дипломами Национальной Академии наук пожарной безопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коверда В. П., Соколов В. Н., Скрипов В. П. 1/f при неравновесном фазовом переходе. Эксперимент и математическая модель // ЖЭТФ. — 1996. — Т. 63, № 9. — С. 739–742.
2. Летников Ф. А., Кашеева Т. В., Минцис А. Ш. Активированная вода. — Новосибирск : Наука, 1976.
3. Михеев М. А., Михеева И. М. Основы теплопередачи. — 2-е изд., стереотип. — М. : Энергия, 1977. — 344 с.
4. Пряничников А. В. Единство функций пожарно-спасательной техники // Мир транспорта. — 2009. — № 2. — С. 148–154.

5. Роечко В. В. Использование перегретой воды для тушения пожаров // Мир и безопасность. — 2004. — № 6.
6. Роечко В. В. Анализ требований к комплексу средств пожаротушения автодорожных тоннелей (Начало. Окончание в № 4) // Мир и безопасность. — 2005. — № 3. — С. 26–29.
7. Роечко В. В. Анализ требований к комплексу средств пожаротушения автодорожных тоннелей (Окончание. Начало в № 3) // Мир и безопасность. — 2005. — № 4. — С. 26–29.
8. Роечко В. В. Уникальные свойства температурно-активированной воды // Пожарное дело. — 2009. — № 4. — С. 20–22.
9. Скрипов В. П., Синицын Е. Н., Павлов П. А. и др. Теплофизические свойства жидкостей в метастабильном состоянии : справочник. — М. : Атомиздат, 1980. — 208 с.
10. Тетерин И. М. Температурно-активированная вода — новая парадигма развития техники пожаротушения // Средства спасения : журнал-каталог. — 2005. — С. 44.
11. Фабер Т. Е. Гидроаэродинамика : пер. с англ. — М. : Постмаркет, 2001. — 543 с.
12. Храмцов С. П. Исследования движения перегретой воды по пожарным рукавам // Вестник Академии Государственной противопожарной службы. — 2006. — № 6. — С. 112–120.
13. Храмцов С. П. Вода для тушения пожаров // Пожаровзрывобезопасность. — 2007. — № 4. — С. 72–75.
14. Храмцов С. П. Измерительный комплекс для исследования работы пожарно-технического оборудования при подаче температурно-активированной воды // Автомобильная промышленность. — 2008. — № 7. — С. 34–36.
15. Храмцов С. П. Эколого-экономический эффект использования температурно-активированной воды при тушении пожаров // Пожаровзрывобезопасность. — 2008. — № 4. — С. 72–79.
16. Храмцов С. П., Додонов Е. Д., Пряничников А. В., Кармес А. П. Инновационные технологии пожаротушения температурно-активированной водой // Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации : сб. матер. Международной научно-практической конференции. — В 2 ч. — Ч. 1. — Гомель : ГИИ, 2008. — С. 84–91.
17. О принятии на снабжение в системе МЧС России многоцелевого пожарно-спасательного автомобиля с установкой пожаротушения температурно-активированной водой АПМ 3-2/40-1,38/100-100(43118) : Приказ МЧС России от 14.05.2009 № 298. — М. : МЧС России, 2009. — 13 с.

*Материал поступил в редакцию 28 июня 2010 г.
Электронный адрес авторов: petrovich-76@mail.ru.*

В. Н. Фролов, канд. техн. наук, инженер ООО “Автоматика”, г. Самара, Россия
С. М. Лазарев, директор ООО “Автоматика”, г. Самара, Россия
С. В. Павлова, инженер ООО “Автоматика”, г. Самара, Россия



УДК 614.412 : 665.61

ВОДНО-СКОРОСТНОЙ РЕЖИМ СИСТЕМ ПОЖАРОТУШЕНИЯ

Появление в области пожарной безопасности новой нормативной базы (имеются в виду “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности” и Своды правил (СП) “Системы противопожарной защиты”) вызывает естественное и повышенное внимание к ней. Это обусловлено давно возникшей потребностью сконцентрировать требования пожарной безопасности в небольшом количестве документов, чтобы не извлекать их из многочисленных СНиПов, ГОСТов, НПБ, ППБ, СП, стандартов СЭВ, методик и приложений к основным документам, в результате чего, помимо затруднений в поиске нужного материала, иногда возникает также неоднозначность толкования отдельных требований и даже их противоречивость. И если стратегическое направление технического законодательного органа, взявшего на себя труд изложить в новой компактной форме многие требования пожарной безопасности, следует признать безусловно правильным, то профессионально заинтересованный пользователь обращает внимание и реагирует также на некоторые нюансы, осуществляя тем самым обратную связь с авторами, без которой, как известно, ни одна жизненная система не может функционировать успешно.

Ключевые слова: пожаротушение; скорость; установки; параметры; сравнение.

Введение

В предлагаемой читателям статье сделан акцент на приложении В (рекомендуемом) к СП 5.13130.2009 [1], посвященном гидромеханическому расчету системы водяного пожаротушения (АУПТ) и основанном, по мнению авторов статьи, на ошибочной предпосылке — принятии допускаемой скорости движения воды по элементам трубной системы пожаротушения равной 10 м/с.

Несогласие с такой постановкой задачи и ее критика уже высказывались в статье [2]. В продолжение темы авторы пытаются сделать свои аргументы более убедительными и доказательными с помощью исследования поведения системы тушения.

В многочисленных технических руководствах и инструкциях по эксплуатации напорных трубопроводов (ТП) скорость движения маловязких жидкостей, в том числе воды, рекомендуется поддерживать в диапазоне не выше 0,5–2,5 м/с [3], причем как для длинных (магистральных) ТП, так и для сравнительно коротких (цеховых и межцеховых, если речь идет о производствах).

Несмотря на эти общепринятые эксплуатационные нормы, в СНиП 2.04.01–85* [4, п. 7.6] без всяких оснований регламентируется увеличение скорости прокачки воды через спринклерные и дренчерные системы в 4 раза, т. е. до 10 м/с.

Авторы приложения В [1], в свою очередь, проигнорировав проверенный временем принцип “доверяй, но проверяй”, ввели этот норматив в свою расчетную методику, не представив примера расче-

та, который показал бы, к чему приводит столь серьезное превышение эксплуатационной нормы.

Аргументы, которые имели в виду как авторы [4], так и авторы приложения В [1], понять нетрудно:

а) увеличение допускаемой скорости приведет к уменьшению размеров (диаметров труб) элементов АУПТ;

б) трубная система сравнительно короткая;

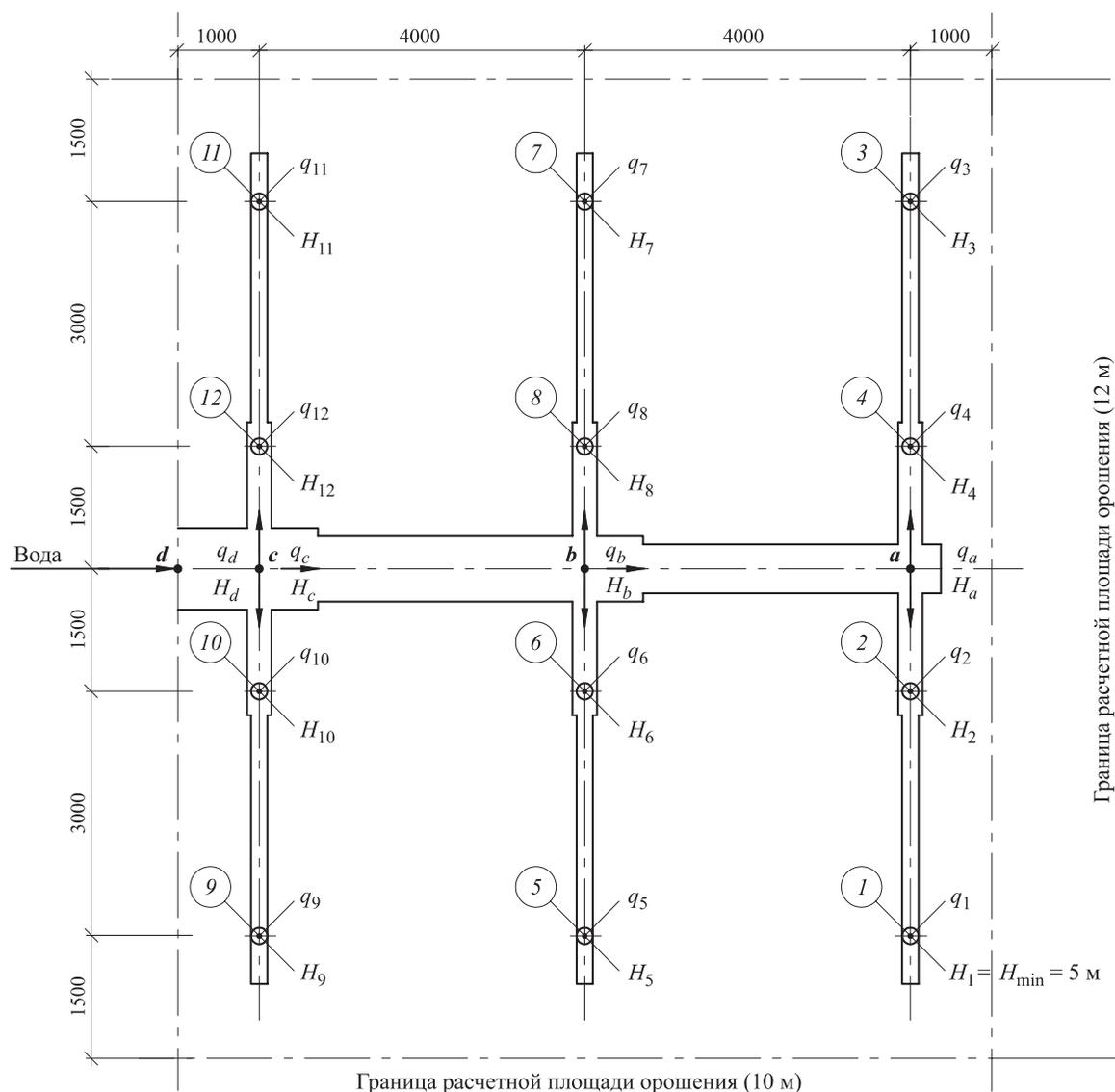
в) в случае ее использования она способна выдержать кратковременный форсированный режим;

г) возможно, что после использования она не будет повторно эксплуатироваться.

Необходимо заметить, что законы гидромеханики одинаково приложимы ко всем трубным системам, пропускающим жидкость под напором, и каких-либо исключений для частных случаев не делают. В связи с этим, сделав параллельный расчет системы пожаротушения для скоростей воды 2,5 и 10 м/с, можно проследить за распределением расходов и напоров по ее участкам и ветвям и сделать вывод о возможности или невозможности эксплуатации трубной системы при скорости воды 10 м/с.

Алгоритм задачи

Алгоритм задачи тот же самый, что использовался авторами в опубликованной ранее статье [2]: расход воды через оросители в зависимости от напора и К-фактора определялся по преобразованной заводской формуле, потери напора по длине участков распределительного ТП (линейные) — по формуле Дарси – Вейсбаха, местные потери при суже-



Фрагмент симметричной кросс-схемы АУПТ: 1, 2, 3, ..., 12 — оросители на участках ветвей; $H_1 = H_{\min} = 5$ м — задаваемый напор перед опорным оросителем 1, м; H_2, H_3, \dots, H_{12} — расчетные напоры перед оросителями, м; q_1, q_2, \dots, q_{12} — расчетные расходы воды через оросители, л/с; H_a, H_b, H_c, H_d — расчетные напоры в особых точках центрального ТП, м; q_a, q_b, q_c, q_d — расчетные расходы воды в этих же точках, л/с

нии потока — по формуле ЦАГИ и местные потери на поворотах — по Вейсбаху.

Обязательным условием является задание минимально необходимого для удовлетворительной работы напора воды $H_1 = H_{\min} = 5$ м перед наиболее удаленным оросителем в трубной системе пожаротушения, в противном случае задача не будет иметь решения.

Расчет, как и в первом случае [2], велся от опорного оросителя 1 противходом к движению жидкости, т. е. до точки *d* входа потока в расчетную площадь орошения (см. рисунок).

Для части участков распределительного ТП, лежащих по одну сторону от центрального ТП, использовался прямой метод расчета, для остальных — итеративный. Напоры и расходы на участках, рас-

положенных по другую сторону от центрального ТП, принимались без расчета, как зеркально отраженные по отношению к первым.

Выдержать точные значения скоростей воды по участкам (для первого варианта 2,5 м/с, для второго — 10 м/с) невозможно из-за дискретности размеров ряда труб по ГОСТ 10704–91 [5], поэтому считали допустимым отклонение скорости от номинала до $\pm 0,5$ м/с.

Расчет проводился для условий установившегося режима, т. е. для состояния динамической системы после окончания переходного процесса, при этом влияние фактора времени не учитывалось.

Такой расчет отражает максимальную загрузку АУПТ, когда от действия повышенной температуры раскрылись все оросители (12 в рассматриваемой

системе), хотя в действительности они будут раскрываться последовательно, один за другим, что повлечет за собой систематическое повышение скорости жидкости.

Предваряя окончательные количественные выводы, сделанные на основе расчетов системы пожаротушения при разных скоростях, можно заранее, на основании длительного эксплуатационного опыта, сформулировать негативные моменты, качественно сопровождающие превышение допустимой скорости жидкости по участкам и ветвям распределительного ТП:

а) значительно увеличиваются потери напора по трубному тракту системы, что потребует использования более мощной и, следовательно, более дорогой насосной установки;

б) резко возрастает градиент (перепад) напора и расхода жидкости по участкам и ветвям системы;

в) в свою очередь, это вызывает неравномерность подачи жидкости над расчетной площадью орошения: расход, соответствующий минимально задаваемому напору $H_1 = H_{\min} = 5$ м перед опорным оросителем 1 (q_1), оказывается намного меньше расхода через первые по ходу жидкости оросители ($q_9, q_{10}, q_{11}, \dots$);

г) при движении жидкостей по ТП со скоростью более 2 м/с в них генерируются слышимые высокоинтенсивные звуковые волны (шум) и возрастает опасность возникновения гидравлического удара при внезапном изменении скорости потока;

д) уменьшение диаметров труб участков и ветвей распределительного ТП при повышении скорости потока является скорее недостатком, чем преимуществом: капитальные затраты (стоимость труб) при этом уменьшаются незначительно, а условия монтажа ухудшаются весьма сильно.

Работа системы при скорости ~2,5 м/с

Для иллюстрации распределения напоров и расходов воды по участкам и ветвям системы пожаротушения воспользуемся приведенной в [2] “симметричной кросс-схемой АУПТ” (от англ. cross — крест) (см. рисунок).

Такой профиль имела бы система по результатам теоретического расчета: каждый последующий участок ветви или центрального ТП по ходу жидкости оказывается меньше предыдущего по сечению из-за уменьшения расхода жидкости по длине. Как отмечалось, при небольшой расчетной разнице между сечениями участков может оказаться рациональнее с целью упрощения монтажа использовать трубы одного, большего по диаметру, размера.

Результаты гидромеханического расчета фрагмента симметричной кросс-схемы АУПТ (площади орошения) сведены в табл. 1.

Параметры насосной установки при скорости жидкости ~2,5 м/с могут быть определены по алгоритму, приведенному в [2], с обозначением участков питающего ТП на рис. 1 в этом же источнике (против хода жидкости):

$d-e$ — горизонтальный участок ТП от расчетной площади орошения до стояка, длина 20 м;

$e-f$ — поворот ТП на 90° ;

$f-g$ — вертикальный участок ТП (стояк), высота 12 м;

$g-h$ — участок с узлом управления АУПТ;

$h-i$ — участок с противопожарной насосной установкой.

На каждом из этих участков происходит падение напора воды, создаваемого насосом, которое может быть определено по общепринятым формулам.

Внутренний расчетный диаметр трубы D , для которой расход воды $G = 15,29$ л/с и скорость $w = 2,5$ м/с, составляет:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 10^{-3} G}{\pi w}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 10^{-3} \cdot 15,29}{3,14159 \cdot 2,5}} = 0,088 \text{ м} = 88 \text{ мм},$$

откуда действительный размер трубы питающего ТП с округлением по ГОСТ 10704–91 [5] составит: $\varnothing 102 \times 5,5$ (внутренний диаметр 91 мм), в связи с чем скорость потока уменьшится с 2,5 до 2,35 м/с. По этой скорости и будут рассчитаны потери напора на участках питающего ТП ($d-e-f-g-h-i$).

Потери напора линейные (на прямых участках) и потери напора на местных сопротивлениях (со знаком “прим”) имеют следующие значения:

$$\Delta h_{d-e} = 1,25 \text{ м};$$

$$\Delta h'_{e-f} = 0,04 \text{ м};$$

$$\Delta h_{f-g} = 0,75 \text{ м};$$

$$\Delta h'_{g-h} = 1 \text{ м (принимается)};$$

$$\Delta h'_{h-i} = 4 \text{ м (принимается)};$$

$\Delta H_{f-g} = 12$ м — потери напора на преодоление статического столба жидкости в питающем ТП (стояке);

$H_i = 20$ м — напор (положительный), обеспечиваемый магистралью, к которой подключена АУПТ;

$H_d = 8,12$ м — напор на входе в расчетную площадь орошения.

Минимальный потребный напор, который должна обеспечивать насосная установка с некоторым коэффициентом запаса $\varphi = 1,2$, составляет:

$$H = \varphi (H_d + \Delta h_{d-e} + \Delta h'_{e-f} + \Delta h_{f-g} + \Delta h'_{g-h} + \Delta h'_{h-i} + \Delta H_{f-g} - H_i) = 1,2 \cdot (8,12 + 1,25 + 0,04 + 0,75 + 1 + 4 + 12 - 20) = 8,59 \text{ м}.$$

Требуемому напору и расходу удовлетворяет с запасом насос центробежный консольный для воды

Таблица 1. Распределение напоров и расходов воды по участкам и ветвям ТП при скорости ~2,5 м/с

Элемент ТП		Размеры трубы участка		Номер оросителя	Напор перед оросителем, м	Расход воды, л/с		Скорость воды на участке, м/с	Потери напора на участке, м
Ветвь	Участок	$D_n \times \delta$, мм	Длина, м			через ороситель	на участке		
1-a	1-2	27 × 2,5	3,0	1	5,00	0,95	0,95	2,50	1,33
	2-a	38 × 3,0	1,5	2	6,33	1,07	2,02	2,51	0,48
3-a	3-4	27 × 2,5	3,0	3	5,00	0,95	0,95	2,50	1,33
	4-a	38 × 3,0	1,5	4	6,33	1,07	2,02	2,51	0,48
-	a-b	53 × 3,5	4,0	-	-	-	4,04	2,43	0,69
5-b	5-6	28 × 2,5	3,0	5	5,80	1,02	1,02	2,46	1,24
	6-b	38 × 2,5	1,5	6	7,04	1,13	2,15	2,52	0,49
7-b	7-8	28 × 2,5	3,0	7	5,80	1,02	1,02	2,46	1,24
	8-b	38 × 2,5	1,5	8	7,04	1,13	2,15	2,52	0,49
-	b-c	73 × 4,0	4,0	-	-	-	8,35	2,51	0,49
9-c	9-10	28 × 2,5	3,0	9	6,20	1,06	1,06	2,55	1,30
	10-c	38 × 2,5	1,5	10	7,50	1,16	2,22	2,60	0,54
11-c	11-12	28 × 2,5	3,0	11	6,20	1,06	1,06	2,55	1,30
	12-c	38 × 2,5	1,5	12	7,50	1,16	2,22	2,60	0,54
-	c-d	89 × 4,0	1,0	-	-	-	12,79	2,48	0,08

Примечания:

1. Рассматривалась АУПТ с такими же спринклерами (оросителями), как и в предыдущей публикации [2]: коэффициент расхода (К-фактор) составляет 80,7 л/(мин·атм^{0,5}).
2. Размеры таблицы не позволили поместить всю информацию о поведении трубной системы; дополнительно можно сообщить о распределении напоров воды в особых точках системы — по оси центрального ТП: $H_a = 6,81$ м, $H_b = 7,50$ м, $H_c = 8,04$ м, $H_d = 8,12$ м.
3. Конечные результаты расчета (вход потока в расчетную площадь орошения — точка d): расход — 12,79 л/с; напор — 8,12 м; размер трубы — $\varnothing 89 \times 4$; скорость — 2,48 м/с.
4. В действительности насосная установка должна подавать в случае пожара не 12,79 л/с, а больше на 2,5 л/с (расход на один пожарный ствол), т. е. не менее 15,29 л/с, для подавления огня не только АУПТ, но и системой внутреннего пожаротушения на одном из этажей здания: выполнение требований разд. 4, табл. 1 СП 10.13130.2009 [6] для общественных зданий с числом этажей до 10 и объемом от 5000 до 25000 м³.
5. Расчетная плотность орошения для первой группы помещений [1] согласно приложению Б (обязательному) должна быть больше нормативной (0,08 л/(м²·с)). По результатам расчета она составляет: 12,79 л/с : 120 м² = 0,106 л/(м²·с) >> 0,08 л/(м²·с).
6. В НПБ 88–2001* [7], посвященном установкам пожаротушения и сигнализации, расчетная площадь орошения для первой группы помещений составляет 120 м² (по табл. 1 в НПБ). В новом документе [1] она равна 60 м² (согласно табл. 5.1 [1]). Для унификации расчетов и выводов авторы статьи придерживаются прежней нормы.

типа К 100-80-125 по ГОСТ 22247–96 [8] с параметрами: расход (подача) — 27,8 л/с (100 м³/ч), развиваемый напор — 20 м при числе оборотов 2900 мин⁻¹. Масса насоса ~ 90 кг. Расчетная мощность, потребляемая электродвигателем, для такого насоса составит 7,4 кВт при КПД 74 %. Насос способен работать с подпором воды на входе до 0,2 МПа. Стоимость насоса с электродвигателем 11 кВт — 15000 руб. По нормам [1] насосная установка должна быть укомплектована двумя насосными агрегатами.

Работа системы при скорости ~10 м/с

Методический подход к получению представления о поведении системы пожаротушения при этой скорости такой же, как и в предыдущем случае; сохраняется также и объект исследования — симмет-

ричная кросс-схема АУПТ (см. рисунок). Таким же образом задается минимально необходимый для нормальной работы напор перед опорным оросителем 1, равный $H_1 = H_{\min} = 5$ м. Альтернативы такому началу решения задачи нет, поскольку другой подход означал бы попадание в область неопределенности. Если допустить, что трубная система АУПТ способна удовлетворительно работать при такой задаваемой скорости, то показатели ее работы будут такими, как в табл. 2.

Параметры насосной установки при скорости жидкости ~10 м/с могут быть определены аналогично варианту со скоростью ~2,5 м/с. Профиль питающего ТП и длины его участков обозначены на рис. 1 в статье [2]. Расчет ведется противоходом к току жидкости, начиная от точки d и до точки i по тем же формулам.

Таблица 2. Распределение напоров и расходов воды по участкам и ветвям ТП при скорости ~10 м/с

Элемент ТП		Размеры трубы участка		Номер оросителя	Напор перед оросителем, м	Расход воды, л/с		Скорость воды на участке, м/с	Потери напора на участке, м
Ветвь	Участок	$D_n \times \delta$, мм	Длина, м			через ороситель	на участке		
1-a	1-2	14 × 1,6	3,0	1	5,00	0,95	0,95	10,38	49,78
	2-a	28 × 2,5	1,5	2	54,78	3,15	4,10	9,86	10,26
3-a	3-4	14 × 1,6	3,0	3	5,00	0,95	0,95	10,38	49,78
	4-a	28 × 2,5	1,5	4	54,78	3,15	4,10	9,86	10,26
-	a-b	38 × 3,0	4,0	-	-	-	8,20	10,19	17,69
5-b	5-6	24 × 2,0	3,0	5	52,80	3,09	3,09	9,84	21,13
	6-b	33 × 2,0	1,5	6	73,93	3,66	6,75	10,21	8,79
7-b	7-8	24 × 2,0	3,0	7	52,80	3,09	3,09	9,84	21,13
	8-b	33 × 2,0	1,5	8	73,93	3,66	6,75	10,21	8,79
-	b-c	60 × 3,8	4,0	-	-	-	21,69	10,06	9,19
9-c	9-10	26 × 2,5	3,0	9	64,50	3,41	3,41	9,86	20,10
	10-c	36 × 2,5	1,5	10	84,60	3,91	7,32	9,71	7,39
11-c	11-12	26 × 2,5	3,0	11	64,50	3,41	3,41	9,86	20,10
	12-c	36 × 2,5	1,5	12	84,60	3,91	7,32	9,71	7,39
-	c-d	76 × 4,0	1,0	-	-	-	36,35	10,01	1,48

Примечания:

1. По оси центрального ТП системы, в особых точках, распределение напоров жидкости по ветвям (в узлах) будет следующим: $H_a = 65,04$ м, $H_b = 82,74$ м, $H_c = 91,93$ м, $H_d = 93,40$ м.
2. Конечные результаты расчета выделенной из системы пожаротушения площади орошения на входе потока (точка *d* на рисунке): расход — 36,35 л/с (130,86 м³/ч); напор — 93,40 м; размер трубы — Ø 76 × 4; скорость — 10,01 м/с.
3. Расход воды, который должна обеспечивать насосная установка в случае пожара с учетом расхода на внутреннее пожаротушение, должен быть больше на 2,5 л/с, т. е. 38,85 л/с (исходя из прежних посылок).
4. Расчетная плотность орошения для первой группы помещений [1] согласно приложению Б (обязательному) должна быть больше нормативной (0,08 л/(м²·с) по табл. 5.1 [1]). По результатам расчета она составляет: 36,35 л/с : 120 м² = 0,303 л/(м²·с) >> >> 0,08 л/(м²·с).
5. Приведенные в таблице данные позволяют получить также промежуточные значения, необходимые для проверки правильности сделанных расчетов по алгоритму, описанному в [2]: площади сечений по внутренним диаметрам участков, коэффициенты местных сопротивлений на переходах от диаметра к диаметру, числа подобия Рейнольдса, коэффициенты гидравлического трения по длине ТП.

Внутренний расчетный диаметр трубы *D*, для которой расход воды $G = 38,85$ л/с и номинальная скорость $w = 10$ м/с, составит:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 10^{-3} G}{\pi w}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 10^{-3} \cdot 38,85}{3,14159 \cdot 10}} = 0,070 \text{ м} = 70 \text{ мм.}$$

Отсюда действительный размер трубы питающего ТП с округлением в большую сторону по ГОСТ 10704–91 [5] будет равен Ø 83 × 5,5 (внутренний диаметр 72 мм), при этом скорость потока уменьшится с 10 до 9,54 м/с. По этой скорости будут рассчитаны потери напора на участках питающего ТП (*d-e-f-g-h-i*). Если расчет линейных потерь напора и местных потерь на повороте 90° затруднений не вызывает, то значениями местных потерь напора на участке с узлом управления АУПТ ($\Delta h'_{g-h}$) и на участке с противопожарной насосной установкой ($\Delta h'_{h-i}$) вследствие сложности их расчета приходится задаваться ориентировочно. Таким образом,

линейные и местные потери напора жидкости по участкам питающего ТП будут следующими:

$$\begin{aligned} \Delta h_{d-e} &= 25,09 \text{ м;} \\ \Delta h'_{e-f} &= 0,69 \text{ м;} \\ \Delta h_{f-g} &= 15,05 \text{ м;} \\ \Delta h'_{g-h} &= 2 \text{ м (принимается);} \\ \Delta h'_{h-i} &= 10 \text{ м (принимается).} \end{aligned}$$

Остальные составляющие балансового уравнения для потребного напора, развиваемого насосом, такие же, как и в случае варианта со скоростью ~2,5 м/с:

$$\Delta H_{f-g} = 12 \text{ м; } H_i = 20 \text{ м; } H_d = 93,40 \text{ м.}$$

Отсюда минимальный расчетный потребный напор, который должна обеспечить насосная установка с коэффициентом запаса 1,2, определится аналогично предыдущему варианту:

$$H = 1,2 \cdot (93,40 + 25,09 + 0,69 + 15,05 + 2 + 10 + 12 - 20) = 165,87 \text{ м.}$$

Подобрать тип насоса с требуемыми расчетными параметрами (расходом 38,85 л/с, или ~140 м³/ч, и напором ~166 м) по ГОСТ 22247–96 [8] для наиболее широкопотребительных и доступных по цене гидромашин невозможно из-за их невысоких параметров. Так, наиболее мощный по напору насос этой серии К 100-65-250 развивает напор 80 м и подачу 27,8 л/с (100 м³/ч) при числе оборотов 2900 мин⁻¹, чего явно недостаточно.

Попытка разрешить эту ситуацию погружает нас в оцениваемую не всегда положительно область инженерной фантазии. Например, могут быть рассмотрены следующие варианты:

а) организовать тандем из связанных последовательно двух или более одинаковых агрегатов; при этом подача не увеличивается, а напор возрастает пропорционально их количеству;

б) связать параллельно несколько агрегатов, тогда при одинаковом напоре увеличится расход;

в) собрать комбинированную последовательно-параллельную схему из нескольких насосов для увеличения обоих параметров;

г) использовать мощный многоступенчатый секционный насос, например типа ЦНС 180-170 по ГОСТ 10407, предназначенный для перекачки воды. Параметры такого насоса и стоимость к скромным отнести никак нельзя:

Подача, м ³ /ч (л/с)	180 (50)
Напор, м.	170
Мощность, кВт	118
Длина, мм	1335
Масса, кг	965
Стоимость агрегата, руб.	215000

С учетом того что для организации водяного пожаротушения требуется два насосных агрегата, один из которых резервный ([1], разд. 5.12, п. 5.10.2), капитальные затраты на АУПТ оказываются весьма существенными;

д) наконец, задать себе вопрос: а стоят ли внимания все эти ухищрения в попытке решить задачу ради нездоровой идеи пропускать воду по участкам и ветвям распределительного ТП со скоростью 10 м/с?

Проведем сравнительный анализ для систем АУПТ, следующий из рассмотрения их работы при различных скоростях.

Из взятых под “подозрение” негативных моментов, вызываемых повышением скорости воды по элементам АУПТ и сформулированных выше, в качестве серьезных недостатков могут быть рассмотрены следующие:

1. Для создания повышенной скорости необходимо обеспечить более высокий напор поступающей воды на вход в питающий ТП (~166 м при ~10 м/с и ~9 м при ~2,5 м/с), что создает проблему с подбором насосной установки.

2. Металлоемкость и стоимость трубных элементов АУПТ при скорости ~10 м/с незначительно снижаются, зато существенно возрастает металлоемкость и особенно стоимость насосного оборудования. При скорости ~2,5 м/с оказывается возможным обойтись недорогими малогабаритными консольными насосами.

3. При высокой скорости прокачки возрастают градиенты (перепады) напоров и расходов между участками и ветвями трубной системы, что приводит к неравномерности плотности орошения (см. примечания к табл. 2), необоснованно завышенной по сравнению с нормами [1]. При скорости ~2,5 м/с такой неравномерности не отмечается (см. табл. 1).

4. Уменьшение из-за высокой скорости жидкости размеров концевых участков сети АУПТ до Ø 14 × 1,6 (см. табл. 2) вызывает серьезные затруднения при монтаже оросителей. Для успешного монтажа спринклерных муфт и самих спринклеров на концевых участках должны использоваться трубы размером не менее Ø 25 × 2,5, что следует из данных табл. 1 для скорости воды ~2,5 м/с.

Выводы

1. Неаргументированное значительное превышение скорости прокачки жидкости по элементам трубной системы АУПТ по сравнению с общепринятой эксплуатационной нормой не только не имеет каких-либо преимуществ, но и приводит к существенным техническим и экономическим просчетам.

2. Такой подход противоречит как ограничениям по скорости, действующим в технологических производствах, так и мнению специалистов в области противопожарного водоснабжения: “Наибольшая скорость потока воды в трубах не должна превышать 2–2,5 м/с” [9].

3. Предложить авторам приложения В [1] пересмотреть норматив по скорости для АУПТ, равный 10 м/с, как ошибочный и найти способ дезавуировать методику расчета, чтобы не вводить в заблуждение специалистов в области пожарной безопасности.

4. Вопрос о числовой оптимизации скорости воды по трубным элементам АУПТ требует отдельного рассмотрения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 5.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования : утв. Приказом МЧС РФ от 25.03.2009. № 175 : введ. в действие 01.05.2009. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.
2. Фролов В. Н., Лазарев С. М., Павлова С. В. Гидромеханика систем пожаротушения // Пожаровзрывобезопасность. — 2009. — Т. 18, № 3. — С. 67–78.
3. Примеры расчетов по гидравлике / Под ред. А. Д. Альтшуля. — М. : Стройиздат, 1977. — 255 с.
4. СНиП 2.04.01–85*. Внутренний водопровод и канализация зданий : утв. Госстроем СССР 04.10.1985 : введ. в действие 01.07.1986. — М. : ГУП ЦПП, 1997.
5. ГОСТ 10704–91. Трубы стальные электросварные прямошовные. Сортамент : утв. Госстандартом СССР 15.11.1991 : введ. в действие 01.01.1993. — М. : Изд-во стандартов, 1997.
6. СП 10.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Внутренний противопожарный водопровод. Требования пожарной безопасности : утв. Приказом МЧС РФ от 25.03.2009. № 180 : введ. в действие 01.05.2009. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.
7. НПБ 88–2001*. Нормы пожарной безопасности. Установки пожаротушения и сигнализации. Нормы и правила проектирования : утв. МЧС России 18.06.2003 : введ. в действие 01.01.2002. — М. : ВНИИПО, 2003. — 130 с.
8. ГОСТ 22247–96. Насосы центробежные консольные для воды. Основные параметры и размеры. Требования безопасности. Методы контроля : утв. Постановлением МНТКС от 12.04.1996 № 9-96 и Постановлением Госстандарта РФ от 06.02.1997 № 37 : введ. в действие 01.01.1997. — М. : ИПК "Изд-во стандартов", 1997.
9. Иванов Е. Н. Противопожарное водоснабжение. — М. : Стройиздат, 1986. — 316 с.

*Материал поступил в редакцию 20 июля 2010 г.
Электронный адрес авторов: avtomatica@mail.ru.*



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет новую книгу

ОГNETУШИТЕЛИ. УСТРОЙСТВО. ВЫБОР. ПРИМЕНЕНИЕ

Д. А. Корольченко, В. Ю. Громовой



В учебном пособии приведены классификация огнетушителей и конструкции основных их типов, средства тушения, используемые для зарядки огнетушителей, виды огнетушителей и правила их применения для ликвидации загораний различных веществ, рекомендации по расчету необходимого количества огнетушителей для разных объектов, по их размещению, хранению и техническому обслуживанию.

Рекомендации, содержащиеся в книге, разработаны на основе современных нормативных документов, регламентирующих конструкцию, условия применения, правила эксплуатации и технического обслуживания огнетушителей.

Учебное пособие рассчитано на широкий круг читателей: инженерно-технических работников предприятий и организаций, ответственных за оснащение объектов огнетушителями, поддержание их в работоспособном состоянии и своевременную перезарядку; преподавателей курсов пожарно-технического минимума и дисциплины "Основы безопасности жизнедеятельности" в средних и высших учебных заведениях; частных лиц, выбирающих огнетушитель для обеспечения безопасности квартиры, дачи или автомобиля.

121352, г. Москва, ул. Давыдовская, д. 12, стр. 7;
тел./факс: (495) 228-09-03; e-mail: mail@firepress.ru



А. В. Беловошин
адъюнкт Академии ГПС МЧС РФ,
г. Москва, Россия



С. А. Смирнов
аспирант Ивановского государственного
химико-технологического университета,
г. Иваново, Россия

УДК 614.842.611:006.354

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ К СОЗДАНИЮ ОГNETУШАЩИХ ПОРОШКОВ, ОБЛАДАЮЩИХ ПОВЫШЕННОЙ ОГNETУШАЩЕЙ И ТЕПЛОИЗОЛИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТЬЮ

Проведен анализ химического состава существующих огнетушащих порошков и огнезащитных составов. Показана принципиальная возможность придания огнетушащим порошкам некоторых свойств огнезащитных составов. Создан ряд экспериментальных огнетушащих порошковых смесей, обладающих адгезией и способностью вспениваться на нагретых поверхностях. Проведен ряд испытаний по сравнительной оценке огнетушащей способности созданных порошковых смесей.

Ключевые слова: огнетушащий порошок; огнезащитные составы; химический состав; лабораторные испытания.

Научно-технический прогресс сопровождается ростом пожарной опасности на промышленных предприятиях, что связано с появлением в технологических процессах новых веществ и материалов, тушение возможных пожаров которых не может быть обеспечено с помощью таких традиционных огнетушащих веществ, как вода и пена. Особенно остро эта проблема ощущается для отраслей химической, нефтехимической, нефтеперерабатывающей промышленности, а также для транспортных средств.

Поиск более эффективных веществ, применимых для тушения сложных пожаров, привел к созданию и внедрению в практику пожаротушения огнетушащих порошков. Порошковые составы благодаря своей высокой огнетушащей способности и универсальности все шире используются для тушения пожаров. Однако эффективность огнетушащих порошков в значительной мере зависит от их свойств и химического состава.

Авторы источников [1, 2] утверждают, что огнетушащие порошки представляют собой мелко измельченные минеральные соли с различными добавками, препятствующими слеживанию и комкованию. Огнетушащие порошки обладают рядом преимуществ по сравнению с другими средствами:

- исключительно высокой огнетушащей способностью, в несколько раз превышающей способность таких сильных ингибиторов горения, как галоидуглеводороды, особенно при тушении лег-

ковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ) на открытой площади;

- универсальностью применения, так как подавляют горение материалов, которые невозможно потушить водой и другими средствами (например, металлов и некоторых металлсодержащих соединений), а также электроустановок, находящихся под напряжением;
- отсутствием токсичности;
- возможностью применения при температурах от -50 до $+60$ °С;
- разнообразием способов пожаротушения, в том числе применением для предупреждения (флегматизации) и подавления взрыва.

Наряду с достоинствами огнетушащий порошок обладает и рядом недостатков. Наиболее характерным из них является отсутствие охлаждающего эффекта нагретых поверхностей при тушении, что создает возможность повторного воспламенения горючей нагрузки и, таким образом, сужает область применения данного огнетушащего вещества.

Для лучшего понимания условий и возможностей по приданию огнетушащим порошковым составам свойств, позволяющих минимизировать их основной недостаток, рассмотрим подробнее механизм огнетушащего действия порошковых составов.

Работы по изучению механизма огнетушащего действия порошковых составов показывают, что их суммарный огнетушащий эффект объясняется сле-

дующими факторами: разбавлением горючей среды газообразными продуктами разложения порошка или порошковым облаком; охлаждением зоны горения; возникновением эффекта огнепреграждения, обусловленным прохождением пламени через узкие каналы между частицами порошка, а также ингибированием химических реакций в пламени. Последнее может происходить как в газовой фазе, так и на поверхности частиц.

Рассмотрим каждый из этих эффектов более подробно.

Ингибирование химических реакций. Ряд исследователей [3] считают, что гашение пламени обусловлено гомогенным ингибированием, заключающимся во взаимодействии с активными центрами газообразных частиц, образующихся при испарении и разложении порошков. Другая, наиболее многочисленная, группа [4, 5] связывает гашение пламени с гетерогенной рекомбинацией радикалов и атомарных частиц на поверхности порошков, и, наконец, третья группа [6, 7] полагает, что при гашении пламени происходит как гомогенное, так и гетерогенное ингибирование.

Охлаждение и разбавление газообразными продуктами разложения порошка. Сторонники теплового механизма подавления горения порошковыми составами [8, 9] пришли к выводу, что имеет место не эффект ингибирования, а охлаждение и разбавление (флегматизация) очага газообразными продуктами разложения порошков.

В работе [10] говорится о том, что реальный охлаждающий эффект порошкового облака составляет не более 20 % тепла очага, что не позволяет говорить о чисто тепловом механизме действия порошков. При этом нагревание частиц происходит за счет не только конвекции и радиации, но и “отъема” кинетической энергии налетающих активных центров пламени в акте гетерогенного ингибирования. Кроме того, по мнению автора работы [10], при порошковом пожаротушении эффект разбавления (флегматизации) горючей среды незначителен. Так, если даже полностью разложить огнетушащую дозу (150 г/м^3) NaHCO_3 , то выделившийся CO_2 (около 20 л/м^3) составит лишь 2 % от объема защищаемой среды.

Изоляция твердой тлеющей поверхности. Как показано в работе [10], перекрыть или затруднить доступ кислорода к очагу горения можно лишь при тушении твердых углеродсодержащих материалов (или металлов типа магниевых сплавов), так как при попадании на горящую (тлеющую) поверхность некоторые типы порошков образуют на ней вязкую полимерную пленку плава, затрудняющую доступ кислорода воздуха к горячей поверхности.

Разбавление порошковым облаком. При вдувании порошковых частиц в очаг пожара в количестве, соответствующем их огнетушащей концентрации ($0,05\text{--}0,5 \text{ кг/м}^3$), существенного разбавления газовой среды не происходит. Так, при истинной плотности порошка 2000 кг/м^3 даже $0,5 \text{ кг}$ его займет в 1 м^3 объема всего лишь $0,025 \%$. А для того чтобы понизить объемную долю кислорода до значения, при котором невозможна реакция горения, необходимо за доли секунды распылить (и не дать им осесть) сотни килограммов порошка на 1 м^3 объема пламени очага горения, что технически трудно выполнимо, а экономически бесперспективно.

Таким образом, механизм тушения огнетушащим порошком представляет собой сложный процесс, включающий в себя многофакторный механизм, в котором в зависимости от вида горючего материала (ЛВЖ или твердые горючие материалы) определяющим становится тот или иной фактор: например, при тушении пожара класса А — ингибирование цепных реакций горения и изоляция поверхности, класса В — ингибирование цепных реакций горения, класса Д — изоляция поверхности. Исходя из этого, производители предлагают на рынке различные марки огнетушащих порошков: универсальные огнетушащие порошки, предназначенные для тушения пожаров классов А, В, С, Е, специальные огнетушащие порошки — для тушения пожаров классов В, Д, а также порошки для тушения пожаров классов В, С.

Необходимо отметить, что, несмотря на высокую огнетушащую способность порошков, риск повторного воспламенения постоянно присутствует. Это обусловлено тем, что огнетушащий порошок хотя и подавляет легко цепные реакции горения и убирает видимое пламенное горение, но, обладая низким теплосъемом, не может охладить нагретые поверхности. Данный недостаток в настоящее время компенсируется увеличением времени работы средств порошкового пожаротушения, что зачастую нецелесообразно и экономически невыгодно. Увеличить охлаждающую способность порошковых составов с химической точки зрения, сохранив все их эксплуатационные характеристики, — весьма сложная задача. Более достижимым представляется решение задачи по приданию огнетушащим порошкам повышенных теплоизолирующих свойств за счет использования известных механизмов, присутствующих в огнезащитных составах.

Рассмотрим существующие виды и свойства огнезащитных составов для выявления возможности придания огнетушащим порошкам некоторых свойств огнезащитных составов.

Огнезащитные покрытия подразделяются на следующие виды [11]:

- пропиточные составы и антипирены;
- обмазки;
- краски и лаки.

Наиболее распространенным способом огнезащиты металлических конструкций является нанесение на них вспучивающихся составов (красок). Огнезащитные краски, лаки, эмали задерживают воспламенение материалов, снижают скорость распространения пламени по поверхности материалов.

Огнезащитные краски и лаки, в свою очередь, подразделяются на две группы — невспучивающиеся и вспучивающиеся. Невспучивающиеся краски при нагревании не увеличивают толщину слоя и при защите металлических конструкций малоэффективны. В нашем случае наиболее эффективны и тем самым интересны вспучивающиеся краски, которые при нагревании увеличивают толщину слоя в 10–40 раз за счет образования вспененного угольного слоя, представляющего собой закоксовавшийся расплав некоторых веществ. Образование этого слоя обусловлено воздействием повышенной температуры на покрытие, что приводит к разложению химических компонентов покрытия с выделением газа, который и вспенивает вязкий слой. Далее происходит обугливание вспененного слоя. Образовавшийся угольный слой обладает высокими теплоизолирующими качествами.

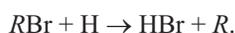
Огнезащитные краски и лаки, используемые для защиты целлюлозосодержащих материалов (древесины, древесно-волоконистых плит и т. п.), заслуживают отдельного внимания. Они интересны механизмом огнезащитного действия [12], который включает в себя:

- ингибирование горения в газовой фазе;
- огнезащитное действие в твердой фазе.

Ингибирование горения в газовой фазе. Из всех газов, препятствующих горению, наиболее эффективен аммиак [12]. Для огнезащитной обработки древесины широко применяют соли аммония, которые при нагревании разлагаются с выделением аммиака. По своему защитному действию газы в порядке снижения эффективности могут быть расположены следующим образом [14]:



Окисление в газовой фазе — свободно-радикальный процесс. Соединения, способные реагировать с образованием свободных радикалов, оказываются эффективными в ингибировании горения, например соединения брома:



Образующийся радикал R должен быть менее активен, чем H . Галогеноводороды реагируют пре-

имущественно гидроксильными радикалами и непрерывно восстанавливаются. В этих условиях скорость распространения цепной реакции окисления в парогазовой смеси, представляющая собой скорость горения, снижается настолько, что становится ниже скорости выделения разогретых паров.

В ингибировании пламенного горения существенно и другое явление — так называемый эффект стенки. На границе раздела с твердым телом энергия активации частиц рассеивается за счет поглощения ее стенкой. Возможен обрыв цепи реакции горения.

Огнезащитное действие в твердой фазе. Причиной горючести целлюлозных материалов считают разложение промежуточно образующегося левоглюкозана с выделением горючих летучих продуктов. Создавая условия, задерживающие или полностью исключаящие образование левоглюкозана, можно устранить их воспламенение.

Проведя сравнение механизмов действия огнезащитных составов и огнетушащих порошков, установили, что во многом они схожи, например огнезащитным действием в твердой фазе и ингибированием горения — в газовой. Дополнительно проведенный литературный и патентный анализ в области огнетушащих порошков и огнезащитных составов за последние 20 лет показал, что и химический состав огнезащитных покрытий, используемых для защиты целлюлозосодержащих материалов, близок к химическому составу огнетушащих порошков, созданных на основе фосфорно-аммонийных соединений. Как правило, это огнетушащие порошки общего назначения.

Результаты анализа представлены в табл. 1 и 2, где приведены химические соединения, наиболее часто используемые для создания как огнезащитных составов, так и огнетушащих порошков.

На основе представленных в табл. 1 и 2 данных построена гистограмма (рис. 1), которая наглядно показывает близость химических составов огнетушащих порошков и огнезащитных покрытий.

На основе представленных данных и анализа химических составляющих можно сделать предположение, что теоретически возможно создание огнетушащего порошка с огнезащитными свойствами. Для этого в качестве одного из путей можно рассматривать введение в состав огнетушащего порошка компонентов амидной группы, используемых в огнезащитных составах для придания им эффекта вспучивания.

В качестве поисковой была поставлена цель показать на практике принципиальную возможность создания огнетушащего порошка, обладающего свойствами теплоизоляции за счет вспучивания на нагре-

Таблица 1. Результаты анализа патентной литературы в области порошковых составов

№ п/п	Название вещества	Частота использования, %
<i>Аммонийсодержащие вещества</i>		
1	Аммофос	26
2	Сульфат аммония	18
3	Диаммонийфосфат	10
4	Моноаммонийфосфат	7
5	Силикат аммония	1
6	Хлорид аммония	1
7	Аммоний азотнокислый	1
<i>Вещества на основе щелочных металлов</i>		
1	Бикарбонат натрия (Na)	10
2	Хлорид калия (K)	14
3	Хлорид натрия (Na)	1
4	Сульфат натрия (Na)	1
5	Гидрат хлорида магния (Mg)	1
<i>Другие вещества, используемые при создании порошковых композиций</i>		
1	Белая сажа (оксид кремния)	44
2	Мусковит	2
3	Химически окисленный графит	2
4	Мочевина (карбамид)	2
5	Апатит	1
6	Флоголит	1
7	Доломит	1
8	Шунгит	1
9	Аминопласт	1
10	Каолиношамот	1
11	Тальк	2
12	Гидрофобизатор жидкий	1

Таблица 2. Результаты анализа патентной литературы в области огнезащитных составов

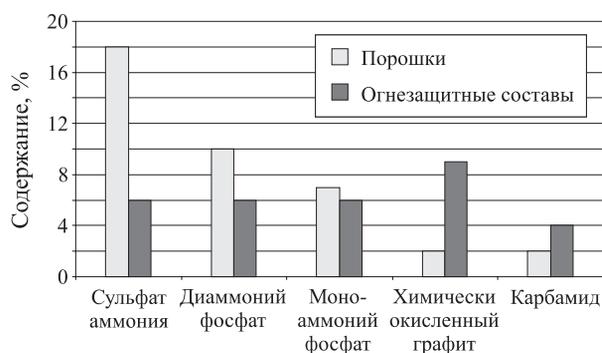
№ п/п	Название вещества	Частота использования, %
<i>Вещества на основе аммония</i>		
1	Полифосфат аммония	12
2	Сульфат аммония	6
3	Моноаммонийфосфат	6
4	Диаммонийфосфат	6
<i>Другие вещества, используемые в качестве основного компонента</i>		
1	Оксид сурьмы, магния, цинка	17
2	Пентаэритрит	10
3	Химически окисленный графит	9
4	Коалин	8
5	Тетраборат натрия (Na)	8
6	Тальк	6
7	Пентаэритрит	5
8	Дициандиамид	5
9	Мочевина (карбамид)	4
10	Мочевиноформальдегидная смола	3
11	Бура	3
12	Аэросил (диоксид кремния)	3
13	Мочевиномеламинформальдегидная смола	2
14	Хлорсульфированный полиэтилен	2
15	Карбамид кальция (Ca)	2
16	Гидроксид алюминия	2
17	Меламин	2
18	Дифинилгуанидин	2
19	Пентрол	2
20	Триаминогептазин	2
21	Гидрофосфат натрия (Na)	1

тых поверхностях, что позволит изолировать источник потенциального загорания от горючей среды.

Было создано четыре экспериментальных порошковых смеси на основе фосфорно-аммонийного огнетушащего порошка марки “Вексон ABC 25” и “Вексон ABC 50” производства ЗАО “Экохиммаш” (г. Буй Костромской обл.), в который вводились химические компоненты амидной группы, используемые для создания вспучивающихся огнезащитных составов.

Был проведен ряд экспериментов по определению возможности вспучивания созданных экспериментальных смесей. Испытания показали, что в результате теплового воздействия смесь, предварительно нанесенная на металлическую пластину, вспучивается (рис. 2). Высота вспученного слоя варьируется от 6 до 10 мм в зависимости от количества введенной добавки.

Таким образом, была показана принципиальная возможность вспучивания порошковых смесей на нагретых поверхностях. Данный факт свидетельст-

**Рис. 1.** Гистограмма химических компонентов, используемых для создания как порошков, так и огнезащитных составов

ует о том, что создание огнетушащих порошков, обладающих свойствами теплоизоляции нагретых поверхностей, практически возможно.

Далее был проведен ряд предварительных лабораторных испытаний по определению сравнительной огнетушащей способности созданных экспери-

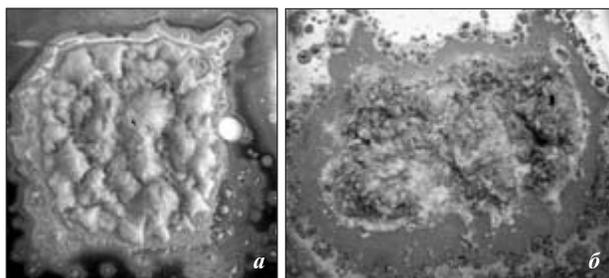


Рис. 2. Результаты испытаний порошковых смесей на способность вспучивания: а — Вексон ABC 50 + 30 % добавки; б — Вексон ABC 25 + 30 % добавки

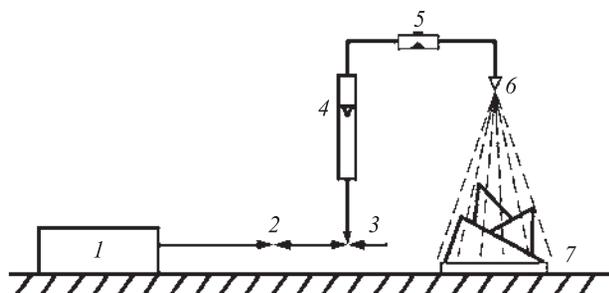


Рис. 3. Схема лабораторной установки: 1 — компрессор; 2 — газовый вентиль; 3 — газовый трехходовой электроклапан; 4 — газовый ротаметр; 5 — металлическая кювета; 6 — распылитель порошка; 7 — модельный очаг пожара

ментальных смесей. При испытаниях использовалась лабораторная установка, принципиальная схема которой представлена на рис. 3. Перед проведением опытов навеска испытуемой порошковой смеси загружалась в кювету 5, снабженную сифонной трубкой и обратным клапаном. При этом регистрировалась масса навески. Далее от компрессора 1 через трехходовой электроклапан 3 воздух поступал в кювету, а затем порошково-воздушная смесь подавалась через распылитель порошка на модельный очаг пожара 7 — бензин. Результаты испытаний представлены в табл. 3.

В ходе испытаний установлено, что экспериментальные порошковые смеси (Вексон ABC 25 + 30 % добавки и Вексон ABC 50 + 30 % добавки) показали повышение огнетушащего эффекта на 25–30 % по сравнению с исходными порошками “Вексон ABC 25” и “Вексон ABC 50”.

Был также проведен ряд предварительных полигонных экспериментов по тушению пожара модельного очага класса А1 по методике ГОСТ Р 53280.4–

Таблица 3. Результаты предварительного эксперимента по тушению октана (очага) смесью порошка с добавкой

Порошковая смесь	Масса навески порошка, загружаемой в лабораторную установку, г				
	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30
Вексон ABC 25 + 30 % доб.	–	–	+	+	+
Вексон ABC 25 + 50 % доб.	–	–	–	–	+
Вексон ABC 50 + 30 % доб.	–	+	+	+	+
Вексон ABC 50 + 50 % доб.	–	–	–	+	+
Вексон ABC 25	–	–	–	–	+
Вексон ABC 50	–	–	–	+	+

Примечания:
 1. “+” — потушено, “–” — не потушено.
 2. Во всех опытах тушение достигалось менее чем за 1 с.



Рис. 4. Результаты полигонных испытаний порошковых смесей

2009 [14]. Полигонные испытания подтвердили факт повышения огнетушащего эффекта порошковых смесей. Фотографии полигонных испытаний представлены на рис. 4.

Таким образом, было установлено, что имеются теоретические и практические предпосылки для создания огнетушащих порошков, обладающих повышенной теплоизолирующей и огнетушащей способностью.

Результаты предварительных испытаний показали, что экспериментальная порошковая смесь по эффективности тушения на 30 % превосходит исходный огнетушащий порошок.

В дальнейшем целесообразно продолжить работы в данном направлении в целях создания и изучения новых свойств огнетушащих порошковых составов, обладающих повышенной огнетушащей способностью и эффектом теплоизоляции нагретых поверхностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Собинина О. Ю. Оптимальные характеристики огнетушащих порошков и параметры их подачи для импульсных модулей порошкового пожаротушения. — М. : АГПС МЧС России, 2008. — С. 4–20.
2. Баратов А. Н., Вогман Л. П. Огнетушащие порошковые составы. — М. : Стройиздат, 1982. — 72 с.

3. Rosser W., Jnami S., Wise H. // Comb. Flame. — 1963. — Vol. 7. — P. 103.
4. Burke R., van-Tuggelen A. // Bull. Soc. Chim. Belge. — 1965. — Vol. 74. — P. 26.
5. Баратов А. Н. и др. Горючесть веществ и химические средства пожаротушения. Вып. 2. — М. : ВНИИПО, 1974. — С. 4.
6. Hofman W. // Chem. Ind. Techn. — 1971. — Bd. 43. — S. 556.
7. Birchall Y. // Comb. Flame. — 1970. — Vol. 14. — P. 85.
8. Свидетельства в пользу теплового механизма тушения пламени / Ewing G. T., Fatch F. R. // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. — 1990. — Вып. 3. — С. 81–84.
9. Научно-технический прогресс в пожарной охране / Под ред. Д. И. Юрченко. — М. : Стройиздат, 1987. — С. 147–159.
10. Краснянский М. Е. Порошковая пожаровзрывозащита. — Донецк, 1994. — 152 с.
11. Огнезащита материалов и конструкций : справочник. — М. : Спецтехника, 2002. — С. 21.
12. Леонович А. А., Шалун Г. Б. Огнезащита древесных плит и слоистых пластиков. — М. : Лесная промышленность, 1974. — С. 13.
13. Бильгер К., Мангени Г. Получение фосфор- и азотсодержащих огнестойких целлюлозных материалов // Химия и технология полимеров. — 1966. — № 4. — С. 73–88.
14. ГОСТ Р 53280.4–2009. Установки пожаротушения автоматические. Огнетушащие вещества. Часть 4. Порошки огнетушащие общего назначения. Общие технические требования и методы испытаний : утв. Ростехрегулированием 18.02.2009 : введ. в действие 01.05.2009. — М. : Стандартинформ, 2009.

*Материал поступил в редакцию 5 июля 2010 г.
Электронный адрес авторов: Belovoshin@mail.ru.*



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет новую книгу

А. А. Антоненко, Т. А. Буцынская, А. Н. Членов.
ОСНОВЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ КОМПЛЕКСНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ : учебно-справочное пособие /
Под общ. ред. д-ра техн. наук А. Н. Членова. —
М. : ООО “Издательство “Пожнаука”, 2010. — 210 с.



В учебно-справочном пособии изложены основы современного подхода к проблеме комплексного обеспечения безопасности объектов хозяйствования с помощью технических средств и систем; приведены сведения о технической эксплуатации комплексных систем безопасности, а также справочно-методическая информация для решения практических задач по эксплуатации. Дано основное содержание эксклюзивной разработки — ГОСТ Р 53704–2009 “Системы безопасности комплексные и интегрированные”, входящего в отраслевой комплект нормативно-технической документации по данной проблеме.

Книга предназначена для практических работников в области систем безопасности и может быть использована как учебное пособие для подготовки и повышения квалификации специалистов соответствующего профиля.

121352, г. Москва, ул. Давыдовская, д. 12, стр. 7;
 тел./факс: (495) 228-09-03; e-mail: mail@firepress.ru



ООО “Издательство “Пожнаука”
 121352, г. Москва, ул. Давыдовская, д. 12, стр. 7
 тел./факс: (495) 228-09-03, 445-42-34
 e-mail: mail@firepress.ru, izdat_pozhnauka@mail.ru
<http://www.firepress.ru>

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

ООО “Издательство “Пожнаука” более 15 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 г. Периодичность — 12 номеров в год. С октября 2001 г. журнал включен в Перечень периодических научных и научно-технических изданий РФ, рекомендуемых для публикации основных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора наук. В статьях журнала рассматриваются теоретические вопросы и способы практического обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений, технологических процессов и оборудования.

Журнал “Пожарная безопасность в строительстве”

Издается с декабря 2004 г. 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 — 28 000 руб. + 1 черно-белая полоса бесплатно;
 - 3-я полоса — 25 000 руб. + 1 черно-белая полоса бесплатно;
 - 4-я полоса — 35 000 руб. + 2 черно-белых полосы бесплатно.
2. Рекламная статья: 1/1 черно-белой полосы — 15 000 руб.
3. Статья обзорно-аналитического, проблемного, научно-технического характера — бесплатно.
4. Рекламные вклейки:

Размер модуля	Стоимость полноцветного модуля, руб.
1/1 полосы (215 × 300 мм)	28 000
1/2 полосы (190 × 137 мм)	15 000

5. Реклама справочного характера (название компании, контактные данные, перечень предлагаемых услуг и продукции — 500 печатных знаков) — 2300 руб.

Тираж: 5000 экз.

Спецпредложение!

Для наших рекламодателей мы предоставляем возможность бесплатного распространения буклетов и листовок на выставках в г. Москве, в которых данный номер журнала будет принимать участие.

ПРЕДЛАГАЕМ ВАМ СЛЕДУЮЩИЕ ИЗДАНИЯ В СФЕРЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Ноябрь 2010 г.

Авторы	Наименование	ISBN	Цена, руб./экз.
НОВИНКИ			
<i>Книги написаны с учетом требований Федерального закона № 123-ФЗ “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности”!</i>			
	Свод правил. Системы противопожарной защиты. — 2009. — 618 с.	Электронная версия	500
	Федеральный закон “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности”. — 2010. — 150 с.		220
<i>Антоненко А. А., Буцынская Т. А., Членов А. Н.</i>	Основы эксплуатации систем комплексного обеспечения безопасности объектов: учебно-справочное пособие. — 2010. — 220 с.	978-5-91444-017-3	380
<i>Бабуров В. П., Бабурич В. В., Фомин В. И.</i>	Автоматические установки пожаротушения: учебно-справочное пособие. — 2010.	Готовится к выпуску	
<i>Корольченко А. Я.</i>	Пожарная опасность материалов для строительства: учебное пособие. — 2009. — 217 с.	978-5-91444-013-5	350
<i>Корольченко А. Я., Загорский Д. О.</i>	Категорирование помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности. — 2010. — 118 с.	978-5-91444-015-9	250
<i>Корольченко А. Я., Корольченко О. Н.</i>	Средства огне- и биозащиты. — Изд. 3-е, перераб. и доп. — 2010. — 250 с.	БЕСПЛАТНО	
<i>Корольченко Д. А., Громовой В. Ю.</i>	Огнетушители. Устройство. Выбор. Применение. — 2010. — 94 с.	978-5-91444-014-02	140
<i>Пиллюгин Л. П.</i>	Прогнозирование последствий внутренних аварийных взрывов. — 2010. — 380 с.	978-5-91444-016-6	450
<i>Смелков Г. И.</i>	Пожарная безопасность электропроводок. — 2009. — 328 с.	978-5-9901554-2-8	540
<i>Черкасов В. Н., Зыков В. И.</i>	Обеспечение пожарной безопасности электроустановок: учебное пособие. — 2010. — 430 с.	978-5-91444-020-3	470
<i>Членов А. Н., Буцынская Т. А., Дровникова И. Г., Бабуров В. П., Бабурич В. В., Фомин В. И.</i>	Технические средства систем охранной и пожарной сигнализации: учебно-справочное пособие: в 2 ч. — 2009. — Ч. 1. — 316 с.; Ч. 2. — 300 с.	978-5-91444-008-1	950
СУПЕРСКИДКИ			
<i>Баранин В. Н.</i>	Экономика чрезвычайных ситуаций и управление рисками. — 2004. — 332 с.	5-901-283-02-5	70
<i>Собурь С. В.</i>	Пожарная безопасность: справочник. — Изд. 2-е, с изм. — 2005. — 292 с.	5-98629-001-1	50
<i>Собурь С. В.</i>	Пожарная безопасность сельскохозяйственных предприятий: справочник. — 2005. — 88 с.	5-98629-004-6	36
<i>Собурь С. В.</i>	Установки пожаротушения автоматические: справочник. — Изд. 4-е, с изм. — 2004. — 408 с.: ил.	5-98629-008-9	50
<i>Теребнев В. В., Артемьев Н. С., Грачев В. А.</i>	Транспорт: наземный, морской, речной, воздушный, метро: учебное пособие. — 2007. — 383 с.	5-903049-09-5	280
<i>Теребнев В. В., Артемьев Н. С., Подгрудный А. В.</i>	Леса, торфяники, лесосклады. — 2007. — 358 с.	5-903049-12-5	280

Авторы	Наименование	ISBN	Цена, руб./экз.
<i>Теребнев В. В., Артемьев Н. С., Подгруппин А. В.</i>	Объекты добычи, переработки и хранения горючих жидкостей и газов: учебное пособие. — 2007. — 325 с.	5-903049-11-7	280
<i>Шароварников А. Ф., Шароварников С. А.</i>	Пенообразователи и пены для тушения пожаров. Состав. Свойства. Применение. — 2005. — 335 с.	5-903049-02-X	120
<i>Бондарь В. А.</i>	Электрооборудование для взрывоопасных и пожароопасных зон производств различных отраслей промышленности. — 2009. — 126 с.	978-5-91444-004-3	220
<i>Брушлинский Н. Н., Корольченко А. Я.</i>	Моделирование пожаров и взрывов. — 2000. — 492 с.		540
<i>Грачев В. А., Собурь С. В.</i>	Средства индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД): пособие. — Изд. 2-е, с изм. и доп. — 2007. — 224 с.: ил.	5-98629-006-2	345
<i>Грачев В. А., Поповский Д. В., Теребнев В. В.</i>	Газодымозащитная служба: учебно-методическое пособие. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — 2009. — 328 с.	978-5-91444-007-4	350
<i>Корольченко А. Я.</i>	Процессы горения и взрыва: учебник. — 2007. — 266 с.: ил.	978-5-91444-001-2	450
<i>Корольченко А. Я., Корольченко Д. А.</i>	Основы пожарной безопасности предприятия. Полный курс пожарно-технического минимума: учебное пособие. — 2008. — 314 с.	5-903049-10-9	300
<i>Корольченко А. Я., Корольченко Д. А.</i>	Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справочник: в 2 ч. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — 2004. — Ч. I. — 713 с.; Ч. II. — 774 с.	5-901283-02-3	2500
<i>Корольченко А. Я., Корольченко О. Н.</i>	Средства огнезащиты. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — 2009. — 560 с.: ил.	978-5-91444-010-4	540
<i>Корольченко А. Я., Трушкин Д. В.</i>	Пожарная опасность строительных материалов: учебное пособие. — 2006. — 232 с.	978-5-91444-006-7	250
<i>Пиллюгин Л. П.</i>	Обеспечение взрывоустойчивости зданий с помощью предохранительных конструкций. — 2000. — 224 с.: ил.	5-901283-03-1	240
<i>Собурь С. В.</i>	Заполнение проемов в противопожарных преградах: пособие. — Изд. 2-е, с изм. и доп. — 2006. — 168 с.	5-98629-005-4	90
<i>Собурь С. В.</i>	Краткий курс пожарно-технического минимума: учебное пособие. — Изд. 4-е, с изм. и доп. — 2010. — 320 с.: ил.	978-5-98629-016-4	180
<i>Собурь С. В.</i>	Пожарная безопасность общественных и жилых зданий: справочник. — Изд. 3-е, с изм. и доп. — 2007. — 192 с.: ил.	978-5-98629-014-0	125
<i>Собурь С. В.</i>	Пожарная безопасность промпредприятий: справочник. — Изд. 2-е, с изм. — 2007. — 176 с.	5-98629-013-5	110
<i>Собурь С. В.</i>	Пожарная безопасность: справочник. — Изд. 3-е, с изм. и доп. — 2007. — 272 с.	5-98629-012-7	145
<i>Собурь С. В.</i>	Установки пожарной сигнализации: учебно-справочное пособие. — Изд. 5-е, с изм. и доп. — 2006. — 280 с.	5-98629-003-8	150
<i>Теребнев В. В., Артемьев Н. С., Грачев В. А.</i>	Справочник спасателя-пожарного: справочник. — 2006. — 528 с.	5-91017-019-8	385
<i>Теребнев В. В., Артемьев Н. С., Шадрин К. В.</i>	Основы пожарного дела: учебное пособие. — 2006. — 328 с.	5-91017-016-3	390
<i>Теребнев В. В., Грачев В. А., Теребнев А. В.</i>	Организация службы начальника караула пожарной части: пособие. — 2007. — 216 с.: ил.	5-901520-06-8-006-2	340

Авторы	Наименование	ISBN	Цена, руб./экз.
Теребнев В. В., Грачев В. А., Шехов Д. А.	Подготовка спасателей-пожарных. Пожарно-стро- евая подготовка: учебно-методическое пособие. — 2008. — 350 с.	5-91017-019-9	460
Теребнев В. В., Подгрушный А. В.	Пожарная тактика. Основы тушения пожаров. — 2008. — 512 с.	5-91017-019-8	595
Теребнев В. В., Теребнев А. В., Грачев В. А., Шехов Д. А.	Организация службы пожарной части: учебное по- собие. — 2008. — 344 с.	5-98629-305-8	460
Теребнев В. В., Шадрин К. В.	Подготовка спасателей-пожарных. Пожарно-про- филактическая подготовка: учебное пособие. — 2007. — 270 с.	5-91017-019-8	420
	Электронная версия комплекта типовых инструк- ций по пожарной безопасности для руководителя предприятия		980

ВНИМАНИЮ ПОДПИСЧИКОВ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДАНИЙ!

**ООО “Издательство “Пожнаука” предлагает подписку на 2011 г.
на комплект журналов “Пожаровзрывобезопасность”
и “Пожарная безопасность в строительстве”.**

	Стоимость, руб.
ПОЛУГОДИЕ	
Комплект журналов “Пожаровзрывобезопасность” (6 номеров) и “Пожарная безопасность в строительстве” (3 номера)	3790
Журнал “Пожарная безопасность в строительстве” (3 номера)	1140
ГОД	
Комплект журналов “Пожаровзрывобезопасность” (12 номеров) и “Пожарная безопасность в строительстве” (6 номеров)	7080 (экономия 500 руб.)
Журнал “Пожарная безопасность в строительстве” (6 номеров)	2080 (экономия 200 руб.)

Подписка осуществляется через следующие агентства:

Название организации	Телефон/факс	Адрес	Индекс в каталоге
Агентство подписки и розницы “АПР”	(495) 974-11-11	123995, г. Москва, просп. Маршала Жукова, д. 4	83647
Агентство “РОСПЕЧАТЬ”	(495) 921-25-50	123995, г. Москва, просп. Маршала Жукова, д. 4	83340
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, ул. Нижняя Масловка, д. 11-13	—
Агентство “Артос-ГАЛ”	(495) 981-03-24	г. Москва, ул. 3-я Гражданская, д. 3, стр. 2	107564
ООО “Информнаука”	(495) 787-38-73, 152-54-81	125190, г. Москва, ул. Усиевича, д. 20	—
ЗАО “МК-ПЕРИОДИКА”	(495) 672-70-12, 672-72-34	111524, г. Москва, ул. Электродная, д. 10	—

Образец заявки для оформления заказа на литературу

Название организации (полностью), реквизиты (ИНН/КПП обязательно)
Наименование и количество заказываемой литературы
Вид доставки: • самовывоз; • почтовая (ВНИМАНИЕ! + 25 % от стоимости заказа)
Почтовый адрес, тел./факс, e-mail, контактное лицо

Для БЕСПЛАТНОГО получения справочника “СРЕДСТВА ОГНЕ- И БИОЗАЩИТЫ”:

1. Заполните все поля анкеты:

Название организации	
Профиль деятельности	
Почтовый адрес (индекс)	
Контактное лицо	
Должность	
Телефон рабочий	Код ()
Факс	Код ()
Способ получения (нужное отметить)	<input type="checkbox"/> Наложным платежом (Вы оплачиваете только стоимость пересылки из г. Москвы до вашего города) <input type="checkbox"/> Курьером (по г. Москве) — стоимость 150 руб. <input type="checkbox"/> Самовывоз (со склада издательства “Пожнаука” в г. Москве)
Откуда узнали о справочнике (нужное отметить)	<input type="checkbox"/> Из журнала <input type="checkbox"/> Из интернет-рассылки <input type="checkbox"/> На выставке <input type="checkbox"/> На сайте издательства <input type="checkbox"/> Другое

2. Пришлите анкету удобным для Вас способом — по факсу или электронной почте.

Желающие сделать заказ в “Издательстве “Пожнаука” (г. Москва) могут отправить заявку в отдел распространения:

- по почте: 121352, г. Москва, ул. Давыдовская, д. 12, стр. 7;
- по тел./факсу: (495) 228-09-03, 445-42-15, 445-42-34;
- по e-mail: mail@firepress.ru, izdat_pozhnauka@mail.ru



К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

Направляемые в журнал “ПОЖАРОВЗРЫВБЕЗОПАСНОСТЬ” статьи должны представлять собой результаты научных исследований и испытаний, описания технических устройств и программно-информационных продуктов, проблемные обзоры и краткие сообщения, комментарии и собственно нормативно-технические документы, справочные материалы и т. п. Методы расчета и экспериментальные данные автора должны быть оформлены в соответствии с рекомендациями КОДАТА. Остальные численные данные, за исключением общеизвестных величин, следует снабжать ссылками на первоисточник. Научные статьи должны иметь практическую направленность. В начале работы (например, во введении) целесообразно кратко изложить состояние проблемы и место в ней данной задачи. В конце публикации желательны краткие выводы с указанием научной новизны и практической полезности материала.

Редакция просит авторов при подготовке рукописи руководствоваться изложенными ниже правилами.

1. Статья должна быть представлена на бумажном и магнитном носителях или может быть послана в редакцию по электронной почте (mail@firepress.ru). Статья должна быть ясно изложена, тщательно отредактирована и подписана авторами.

2. Текст статьи должен быть напечатан через 2 интервала без помарок и вставок на одной стороне стандартного листа формата А4 с левым полем 3 см. При первой ссылке на рисунки и таблицы в тексте на полях проставляются их номера.

3. Материал статьи излагается в такой последовательности:

- номер УДК (универсальная десятичная классификация);
- название статьи (на русском и английском языках);
- имена, отчества и фамилии всех авторов (полностью), должности, степени, звания и название организации (полностью) (на русском и английском языках), фотографии авторов, контактные телефоны, почтовый и электронный адреса. Число авторов — не более трех от одной организации и не более четырех от разных организаций. Авторами являются лица, принимавшие участие во всей работе или ее главных разделах. Лица, участвовавшие в работе частично, указываются в сносках;
- аннотация (на русском и английском языках);
- ключевые слова (на русском и английском языках);
- текст статьи;
- цитируемая литература;
- рисунки и подписи к ним.

4. Сокращения и условные обозначения физических величин должны соответствовать действующим международным стандартам. Формулы и буквенные обозначения должны быть четкими и ясными. При возможности неоднозначного понимания формул и обозначений: показатели и другие надстрочные знаки отмечаются простым карандашом дугой \cup , а подстрочные — дугой \cap ; заглавные буквы подчеркиваются двумя черточками снизу, строчные — сверху (например, \underline{Q} и \bar{o}); греческие буквы подчеркиваются красным карандашом. Все буквенные обозначения, входящие в формулы, должны быть расшифрованы с указанием единиц измерения. Размерность всех характеристик должна соответствовать системе СИ.

5. Иллюстрации (на бумажном носителе и электронные версии) прилагаются отдельно. Фотографии должны быть сделаны с хорошего негатива контрастной печатью (файлы растровых изображений представляются с разрешением не менее 300 dpi, черно-белая штриховая графика — 600 dpi). Файлы векторной графики предоставляются в формате той программы, где они созданы. Все иллюстрации должны иметь сквозную нумерацию. Чертежи в качестве иллюстраций не приемлемы.

6. Таблицы должны быть составлены лаконично и содержать только необходимые сведения, однотипные таблицы строятся одинаково. Цифровые данные следует округлять в соответствии с точностью эксперимента. Сведения в таблицах и на рисунках не должны повторяться.

7. Цитируемая литература должна быть оформлена в виде общего списка в порядке цитирования или по алфавиту. В тексте ссылка на литературу отмечается порядковой цифрой в квадратных скобках, например [1]. Литература в списке дается на языке оригинала. Библиографические данные приводятся по титульному листу издания. Порядок изложения элементов библиографического описания определяется требованиями ГОСТ 7.1–2003 и ГОСТ Р 7.0.5–2008.

8. Отклоненные статьи автору не возвращаются. Просьба редакции о переработке материала не означает, что он принят к печати.

9. Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Приглашаем Вас к сотрудничеству на страницах нашего журнала.

“Bad” Mark Again

Zhukov V. V., Independent Expert, Head of Department of Moscow Branch of Insurance Company

In connection with changes in social-economic system of Russia it must be change working methods of State fire inspectorate bodies. However it wasn't be, that's why at latest 20 years situation with fires and fire inspection was going bad. At latest years minister S. K. Shoygu was beginning a fire safety system reform. Undoubtedly, it's great forward step. But it wasn't taking into account that safety can be increase if legislation'll regulate the management processes of fire safety ensuring “inside” organization. Main causes of non-compliance with the regulations of State fire inspectorate bodies aren't eliminated by reform are detected. Main shortcoming of reform is total monopolistic participation in fire safety system.

Key words: declaration; fire safety; State fire oversight bodies; public prosecution; economical efficiency; adjudication; state inspector; private inspector; methodology; fire risk calculation; fire prevention work; authority.

On the Influence of the Structure “Hot” Particles on Ignition Conditions for Liquid Propellants

Kuznetsov G. V., Dr. of Physics-Mathematics, Professor of National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

Zakharevich A. V., Cand. of Physics-Mathematics, Chief Lecturer of National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

Maksimov V. I., Cand. of Technics, Associated Professor of National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

The results of an experimental study of laws governing the ignition of liquid propellants (kerosene, diesel fuel and petroleum residue) by a particle formed after welding are stated heated to high temperatures are presented. Is carried out the comparison of the ignition delay times of the investigated flammable substances by the monolithic (sphere and a disk) and a porous particles is spent. It is established that the delay time of the distillate fuels ignition with particles after metal welding is substantially less than with the ignition of the same fuels by monolithic particles.

Key words: experimental researches; liquid fuel; ignition delay time; particle temperature; porous particle.

The Influence of Fire Protection Coating on Electrophysical Characteristics for Wood

Filippovich G. A., Cand. of Technics, Associated Professor, Professor of Radiolocation and Transmitter-Receiver Systems Chair of Military Academy of the Republic of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

Kudryashov A. N., Head of the Research Institute of Fire Safety and Emergencies of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

Yatsukovich A. G., Head of the Testing Department of the Research Institute of Fire Safety and Emergencies of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

Denisevich A. P., Senior Specialist of the Testing Department of the Research Institute of Fire Safety and Emergencies of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

A method to study electrophysical characteristics of wood treated with flame retardants has been developed. The procedure is based on the measurement of complex permittivity of the untreated and

wood treated with various flame retardants. As the measured parameters there were used capacity, conductivity and energy factor of wooden samples placed between the capacitor plates of the measuring probe. The relative dielectric constant and dielectric dissipation were assessed by the results of measurements. The numerical values of the dielectric characteristics of the wood which was treated with different fire retardants that are used in Belarus were obtained. The possibility for identification and control of fire retardants consumption during wood treatment was determined from measuring of dielectric parameters of the fire protected wood.

Key words: fire protection of wood; fire protection coating; electro-physical characteristics; dielectric characteristics.

Terms of Origin and Development of Burning Heat Insulation of Industrial Pipelines

Fahrislamov R. Z., Cand. of Technics, Associate Professor of Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

Belykh A. F., Postgraduate Student of Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

Korolchenko A. Yu., Dr. of Technics, Professor, Head of a Chair of Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

Kuznetsov S. Yu., General Director of “Énergoberezhenie” Ltd, Yaroslavl, Russia

The physical model of ignition and flame propagation structural thermal insulation pipeline is researched. The mathematical description of the processes of ignition and flame propagation is considered. The relations for the velocity of flame propagation on the horizontal surface of the thermally thick and thin polymer and for the critical stall speed of burning on their surface are demonstrated.

Key words: flammability risk; ignition; thermal insulation; pipes; polymers; diffusion; flame; burning.

The Numerical and Analytical Decision Mathematical Model for Ground Fire Including Slope Angle Influence

Kataeva L. Yu., Dr. of Physics-Mathematics, Professor of Nizhny Novgorod State Technical University, Nizhny Novgorod, Russia

Belotserkovskaya I. E., Assistant of the Department of Applied Mathematics of Nizhny Novgorod State Technical University, Nizhny Novgorod, Russia

Maslennikov D. A., Postgraduate Student of Nizhny Novgorod State Technical University, Nizhny Novgorod, Russia

Kurkin A. A., Dr. of Physics-Mathematics, Professor of Nizhny Novgorod State Technical University, Nizhny Novgorod, Russia

This article deals with analytical and numeric solution of mathematical model for ground forest fire including slope angle influence. The results for flat surface conforming with Grishin's model, and for monotonic surface conforming with known theoretical [1, 5, 6] and experimental [3] data.

Key words: mathematical modeling; forest fires; numeric and analytical solution.

Calculation of Fire Risks Objects of Fuel and Energy Complex

Hafizov F. Sh., Dr. of Technics, Professor, Head of Department of SEI of HPE “Ufa State Petroleum Technological University”, Ufa, Republic Bashkortostan

Bakirov I. K., Chief Lecturer of SEI of HPE "Ufa State Petroleum Technological University", Ufa, Republic Bashkortostan

The notion of risk and the level of fire safety protection facilities are demolished, an approach for determining the level of fire safety is proposed on the example of one of the downstream factories in Russia, due to the old concept of fire safety facility and a new concept of fire risk in quantitative terms.

Key words: the level of fire danger; the level of fire safety; acceptable risk of fire.

About Burning Out of the Gas-Air Mix in the Closed Volume

Polandov Yu. Kh., Dr. of Technics, Orel State Technical University, Orel, Russia

Babankov V. A., Postgraduate Student of Orel State Technical University, Orel, Russia

It is shown that at computer modeling of explosion of a gas-air mix in the closed volume it is rather productive to analyze physical process, using concept of speed and burning out time. So, it is received that displacement of a place of ignition of a mix it is possible to change time of burning out within 33 %, and the partition device (2...2,5 time). Last effect is a consequence of occurrence of streams, moving with a speed, which more than average speed of a mix, and "carrying" on volume of a mix the burning centers.

Key words: gas explosion; closed volume; time burn out; influence of the volume forms.

Research of Jet Forming Device Operation

Brushlinskiy N. N., Dr. of Technics, Professor, Head of SRC of Complex Systems Control of Academy of Fire Fighting Service of Emercome RF, Moscow, Russia

Shimko V. Yu., Seeker of Academy of Fire Fighting Service of Emercome RF, Moscow, Russia

Karpov V. L., Dr. of Technics, Senior Research Assistant of FSE All-Russian SRFS Emercome RF, Balashikha, Russia

Usmanov M. Kh., Cand. of Physics-Mathematics, Associate Professor, Chief of CRI of Fire Safety Problems of Fire Safety High Technical School MIA RUz, Tashkent, Republic of Uzbekistan

Semyonov V. P., Engineer of Fire Safety High Technical School MIA RUz, Tashkent, Republic of Uzbekistan

Djurayev S. M., Head of Fire-Technical Laboratory of Fire Safety Main Authority MIA RUz, Tashkent, Republic of Uzbekistan

Prototype jet forming device with variable angle of setting of jet former (plate) against water jet axle supplied from All-Russian SRFS pipe is developed. Dependence of jet length from pipe spring diameter, pressure on the pipe and angle of jet former is experimentally studied.

Key words: jet forming device; fire extinguishing substance; jet; fire pipe; pipe spring diameter.

Working out Special Nozzles for Delivering Temperature-Activated Water to Extinguish Fires with Zero Nozzle Recoil and Complete Spray Opening When Using Multi-Purpose Fire Appliance

Khrantsov S. P., Senior Research Assistant of Academy of State Fire Fighting Service of Emercome RF, Moscow, Russia

Pryanichnikov A. V., Lecturer-Methodologist of Academy of State Fire Fighting Service of Emercome RF, Moscow, Russia

Nikishin P. V., Chief of the Military Representative № 1 of Military Representatives Authority of Activity Support Center FFS Emercome RF, Moscow, Russia

Karmes A. P., Senior Electronics Engineer of Academy of State Fire Fighting Service of Emercome RF, Moscow, Russia

The scientists of the State Fire Academy of Emercome of Russia have carried out research and have worked out application nozzle for delivering temperature-activated water. The use of these nozzles will make it possible to reduce the reaction of nozzles and also spread the spray at 180°. When applied to fires such nozzles can significantly extend the tactics of multi-purpose fire appliance and ensure firemen protection from heat currents.

Key words: multi-purpose fire appliance; temperature-activated water; the reaction of a nozzle; explosion foaming; application nozzle.

Water-Velocity Conditions of Extinguishing Systems

Frolov V. N., Cand. of Technics, Engineer of "Avtomatica Co." Ltd, Samara, Russia

Lazarev S. M., Director of "Avtomatica Co." Ltd, Samara, Russia

Pavlova S. V., Engineer of "Avtomatica Co." Ltd, Samara, Russia

Appearance of the new regulatory base (such as "Technical enactment about fire safety requirements" and Sets of rules "Fire protection systems") is aroused a heightened attention. It caused by necessity to concentrate the fire safety requirements in a small number of documents for not to retrieve them from numerous SNiPs, GOSTs, NPB, PPB, SP, SEV standards, methods and appendixes to the main documents. That's why apart from impediments in search of necessary information sometimes it can spring up different interpretations of some requirements and their discrepancy. And if strategic way of technical legislative body stated fire safety requirements in a new compact form must be admitted as undoubtedly write, professionally interested user must pay attention and respond to several nuances realizing a feedback with authors.

Key words: firefighting; velocity; installations; parameters; comparison.

Scientific-Research Preconditions to Creation of Fire Extinguishing Powders Having the Heightened Extinguishing and Heat-Insulating Ability

Belovoshin A. V., Postgraduate Student of Academy of State Fire Fighting Service of Emercome RF, Moscow, Russia

Smirnov S. A., Postgraduate Student of the Ivanovo State Chemical-Technological University, Ivanovo, Russia

The analysis of the chemical composition of the existing fire extinguishing powders and flame retardants. The principal possibility of making fire-extinguishing powder of some properties of flame retardants. A number of experimental fire extinguishing powder mixtures with adhesion and the ability to froth at the heated surfaces. A series of tests on the comparative assessment of fire extinguishing ability to create powder mixtures.

Key words: extinguishing powder; flame retardants; chemical composition; laboratory tests.

Ведущий 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 Н. М. Барбин
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
Н. Н. Соколова
Редакторы:
Л. В. Крылова, Т. В. Сергунина
Отдел рекламы и распространения:
Е. В. Майорова

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 N. M. Barbin
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
N. N. Sokolova
Editors:
L. V. Krylova, T. V. Sergunina
PR and Subscription Section:
E. V. Maiorova

Учредитель – ООО “Издательство “Пожнаука”

Тел./факс: (495) 228-09-03, 445-42-34
121352, г. Москва, ул. Давыдовская, д. 12, стр. 7
E-mail: mail@firepress.ru, izdat_pozhнаука@mail.ru
http://www.firepress.ru

ISSN 0869-7493



9 770869 749006

Подписано в печать 08.11.10.
Формат 60×84 1/8. Тираж 5000 экз.
Бумага офсетная №1. Печать офсетная.
Отпечатано в типографии “ГранПри”, г. Рыбинск

Здравствуйте, наши дорогие читатели!

Издательство “Пожнаука” предлагает Вам оформить годовую или полугодовую подписку на журналы “Пожаровзрывобезопасность” и “Пожарная безопасность в строительстве” на 2011 г.

Подписка на полугодие включает в себя шесть номеров журнала “Пожаровзрывобезопасность” и три номера журнала “Пожарная безопасность в строительстве”. Стоимость полугодовой подписки на комплект составляет 3790 руб. (в том числе НДС — 18 %).

Годовая подписка включает в себя двенадцать номеров журнала “Пожаровзрывобезопасность” и шесть номеров журнала “Пожарная безопасность в строительстве”. Стоимость годовой подписки на комплект составляет 7080 руб. (в том числе НДС — 18 %).

ПЕРСОНАЛЬНАЯ ПОДПИСКА

на журнал

пожаровзрыво-
БЕЗОПАСНОСТЬ

КУПОН '2011

Издание	Цена подписки, руб., включая НДС	Количество экземпляров	Стоимость подписки, руб.
Комплект журналов “Пожаровзрывобезопасность” и “Пожарная безопасность в строительстве”: полугодие год	3790 7080		
Журнал “Пожарная безопасность в строительстве”: полугодие год	1140 2080		

- Укажите в таблице количество экземпляров, которое Вам необходимо. В связи с введением обязательного составления счетов-фактур при совершении операций по реализации просим заполнить карточку на обороте купона. Эти сведения необходимы для подготовки и высылки Вам счета-фактуры.
- Заполненный купон и копию платежного поручения вышлите по тел./факсу (495) 445-42-34 или по e-mail: mail@firepress.ru в отдел распространения. Проследите, пожалуйста, чтобы были высланы **обе стороны** купона.
- Оплату за подписку Вы можете произвести по следующим реквизитам:
ООО “Издательство “ПОЖНАУКА”
Почтовый адрес: 121352, г. Москва, ул. Давыдовская, д. 12, стр. 7
ИНН 7722589941 КПП 772201001
Р/с 40702810060120585901 в ОАО “ПРОМСВЯЗЬБАНК” г. Москва
БИК 0445583119
К/с 30101810600000000119
Генеральный директор — *Корольченко Александр Яковлевич*

**По вопросам подписки просьба обращаться по телефонам
(495) 228-09-03, 445-42-34**

ПОДПИСКА:

через редакцию журнала “Пожаровзрывобезопасность”;
через агентство “РОСПЕЧАТЬ”, индекс 83340;
через агентство “АПР”, индекс 83647
(в любом почтовом отделении в каталоге “Газеты и журналы”);
через подписные агентства:
ООО “Интер-почта”, ООО “Урал-Пресс ХХ1”,
ООО “Артос-ГАЛ”, ООО “Информнаука”, ЗАО “МК-ПЕРИОДИКА”

Вы можете также отдельно подписаться на журнал “Пожарная безопасность в строительстве”.

Стоимость полугодовой подписки (три номера) составляет 1140 руб. (в том числе НДС — 18 %). Стоимость годовой подписки (шесть номеров) составляет 2080 руб. (в том числе НДС — 18 %).

Расширяя тематику журнала, в 2011 г. редакция планирует увеличить количество обзоров, посвященных состоянию отечественного рынка средств обеспечения пожарной безопасности. В журнале также будут опубликованы тексты основных нормативных документов в сфере пожарной безопасности и комментарии ведущих специалистов к ним, даны необходимые пояснения.

Редакция с благодарностью примет все замечания и пожелания по тематике журнала и содержанию публикуемого материала. Надеемся на длительное и плодотворное сотрудничество!



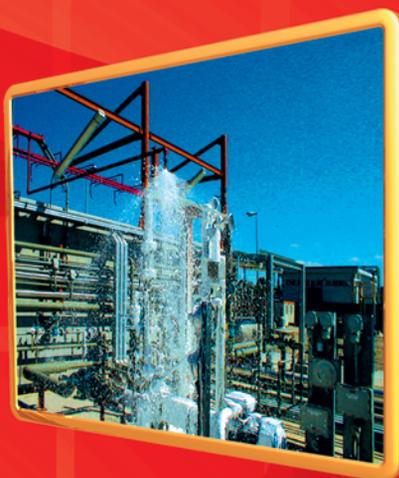
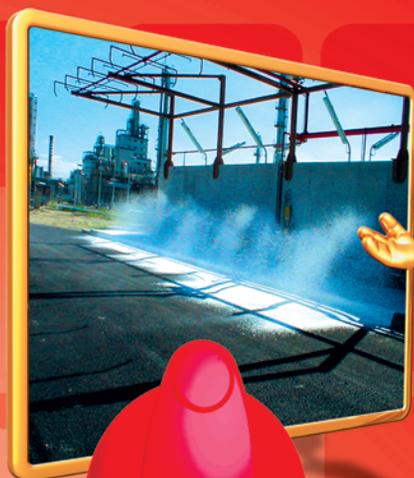
Карточка учета сведений о подписчике

Полное наименование фирмы (в соответствии с учредительными документами)	
Идентификационный номер (ИНН)	
Код отрасли по ОКОНХ	
Код отрасли по ОКПО	
Полное наименование банка	
Местонахождение банка	
БИК	
Расчетный счет	
Корсчет	
Юридический адрес (в соответствии с учредительными документами)	
Фактический адрес	
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС	
Индекс	
Область, край	
Город	
Улица	
Дом	
Телефон	
Факс	
Контактное лицо	
Телефон контактного лица	

ПЕНООБРАЗОВАТЕЛИ ДЛЯ ПОЖАРОТУШЕНИЯ

Шторм-М 3/6

**высокоэффективный
пленкообразующий
синтетический
фторсодержащий
пенообразователь
типа АFFF специального назначения
для получения пены низкой, средней
и высокой кратности.**



Низкая кратность способствует быстрому образованию водяной пленки, которая самопроизвольно растекается по поверхности. Пенообразователь может подаваться на большие расстояния и использоваться со стандартной российской техникой для получения пены средней кратности. С помощью пенообразователя можно получать пену высокой кратности на генераторах без принудительного наддува, это придает ему универсальность использования.

