

ПОЖАРОВЗРЫВО БЕЗОПАСНОСТЬ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ 4'2008

Влияние фазового состояния частиц металлов на условия зажигания пожароопасных жидкостей

Показатели воспламеняемости огнезащитенной древесины

Сравнительный анализ методов расчета массовых расходов системы дымоудаления при пожаре в помещении



Двухпараметрический критерий возбуждения взрыва зарядов высокоэнергетических материалов

Компьютерные технологии для экспертизы пожарной безопасности объектов

Пожарная опасность предремонтной подготовки резервуаров

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ

ТОМ 17 ♦ №4 ♦ 2008

FIRE & EXPLOSION SAFETY

Научно-технический журнал
ООО "Издательство "Пожнаука"

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

СОДЕРЖАНИЕ

НОВОСТИ, КОНФЕРЕНЦИИ, ВЫСТАВКИ

- 11-я специализированная выставка "АСТРАХАНЬ. НЕФТЬ И ГАЗ. ЭНЕРГО-2008". 30–31 мая 2008 г., г. Астрахань, Россия **3**
- 3-я Международная специализированная выставка "ЧЕЛОВЕК И БЕЗОПАСНОСТЬ". 11 июня 2008 г., г. Минск, Беларусь **4**

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

- Теребнёв В. В., Семёнов А. О., Тараканов Д. В.** Эволюция структуры управления силами и средствами на пожаре **10**

ПРОЦЕССЫ ГОРЕНИЯ

- Кузнецов Г. В., Стрижак П. А.** Влияние фазового состояния частиц металлов на условия зажигания пожароопасных жидкостей **17**
- Субботин А. Н.** Аналитическое решение задачи зажигания высокоэнергетических веществ проволокой, нагреваемой электрическим током **22**
- Кузнецов Г. В., Захаревич А. В., Максимов В. И.** Зажигание дизельного топлива одиночной "горячей" металлической частицей **28**

ОГНЕЗАЩИТА

- Бельцова Т. Г., Корольченко О. Н.** Показатели воспламеняемости огнезащитной древесины **31**

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЖАРОВ

- Пузач С. В., Фролов И. Е., Лебедченко О. С., Абакумов Е. С., Хай Нгуен Тхань.** Сравнительный анализ методов расчета массовых расходов системы дымоудаления при пожаре в помещении **34**
- Ильин В. В., Рыбаков А. П., Вологжанин О. Ю., Рыбаков Н. А.** Двухпараметрический критерий возбуждения взрыва зарядов высокоэнергетических материалов **42**

(продолжение на следующей странице)

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Старков Н. Н., Злодеев В. Н. Пожарная опасность предремонтной подготовки резервуаров. Перспективы развития способов очистки резервуаров **45**

Тетерин И. М., Фирсов А. В. Некоторые вопросы анализа рисков при транспортировке грузов повышенной опасности. Часть 1 **48**

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ, ОБЪЕКТОВ

Брушлинский Н. Н., Глуховенко Ю. М., Коробко В. Б., Соколов С. В. Компьютерные технологии для экспертизы пожарной безопасности объектов **53**

Бочкарев А. Н. Анализ инцидентов, связанных с пожарами в аэропортах, и методы обеспечения пожаровзрывобезопасности объектов воздушного транспорта **59**

Шмурнов П. В. Обеспечение пожарной безопасности систем воздухопроводов местных отсосов **63**

ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ, КАДРЫ

Орлова О. Н. Планирование кадрового резерва как основная часть формирования руководящего ядра органа управления **66**

ТУШЕНИЕ ПОЖАРОВ

Воевода С. С., Маркеев А. В. Влияние температуры горючего на основные параметры тушения топлив, содержащих спирты **70**

Храмцов С. П. Эколого-экономический эффект использования температурно-активированной воды при тушении пожаров **72**

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ. СПРАВОЧНИК

80

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

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

Перепечатка материалов только по согласованию с редакцией.

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



11-я специализированная выставка

АСТРАХАНЬ. НЕФТЬ И ГАЗ. ЭНЕРГО-2008

30-31 мая 2008г., г. Астрахань, Дворец спорта по ул. Победы, 16/55

С 30 по 31 мая 2008 г. Дворец Спорта в г. Астрахани ожил: здесь проводилась долгожданная 11-я специализированная выставка «АСТРАХАНЬ. НЕФТЬ И ГАЗ. ЭНЕРГО-2008».

Эта выставка стала знаменательным событием в жизни города, ведь именно Астрахань характеризуется значительными ресурсами газа. Только на Астраханском газоконденсатном месторождении сконцентрировано около 90% всех запасов газа по Южному Федеральному округу. В настоящее время топливно-энергетический комплекс Астраханской области является важнейшим инструментом экономической политики.

В связи с этим выставка «АСТРАХАНЬ. НЕФТЬ И ГАЗ. ЭНЕРГО-2008» стала не только традиционной, но и своеобразной визитной карточкой города, привлекающей представителей нефтегазового и энергетического комплексов из различных регионов России, ближнего и дальнего зарубежья.

Специализированная выставка получила поддержку от двух крупнейших министерств Астраханской области: Министерства экономического развития и Министерства по топливно-энергетическому комплексу и природным ресурсам.

Цели выставки — развитие делового сотрудничества отечественных и зарубежных партнеров в сферах топливно-энергетического комплекса, электротехнической и электронной промышленности; привлечение в отечественное производство инвестиций; внедрение передовых энергоэффективных и ресурсосберегающих технологий, нефтегазового оборудования, материалов и конструкций, современных средств автоматизации производства; стимулирование разработки конкурентоспособной продукции.

Для многих специалистов данных отраслей участие в выставке — это глобальное событие в стиле «бизнес для бизнеса» с уникальными возможностями для деловых переговоров, участия в семинарах, рабочих встречах и насыщенной деловой программой.

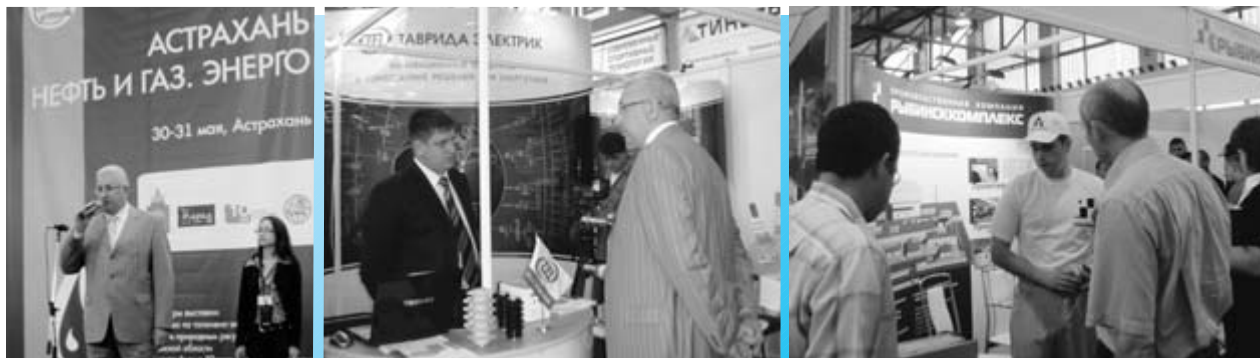
К участию в выставке приглашались производители оборудования, техники и материалов для нефтяного, газового и энергетического комплексов, промышленные и научные предприятия и организации нефтегазовой и энергетической промышленности. Тематическое содержание выставки было достаточно широким. Автоматизация процессов добычи нефти и газа, проектирование в области недропользования, спецтехника, транспортировка и хранение нефти, технологии прокладки труб, нефтяное и газовое машиностроение, диагностическое оборудование, продукты основной химии, химические реактивы, системы автоматизированного управления в нефтегазовой и химической промышленности — это лишь малый перечень разделов выставки.

На выставке 2008 г. было представлено более 100 предприятий из 17 городов России, таких как Москва, Санкт-Петербург, Пермь, Рязань, Екатеринбург, Волгоград, Ростов-на-Дону, Краснодар, Челябинск, Астрахань, Тюмень, Ярославль и др.

Тенденция развития выставочного мероприятия данной тематики показывает заинтересованность деловых кругов в расширении сотрудничества в сферах топливно-энергетического комплекса, привлечении в отечественное производство инвестиций, внедрении передовых технологий, оборудования и материалов, стимулировании разработки конкурентоспособной продукции.

Общая площадь прошедшей выставки составляла более 800 м². Ее посетило порядка 8000 человек. По итогам выставки были заключены договора о намерениях на поставку оборудования и комплектующих на сумму свыше 50 млн руб.

В рамках выставки состоялись деловые встречи, конференции, круглые столы и семинары (тематика рабочих встреч предлагалась организаторами выставки, а также самими экспонентами).





3-я Международная специализированная выставка ЧЕЛОВЕК И БЕЗОПАСНОСТЬ 11 июня 2008 г., г. Минск, Беларусь

11 июня 2008 г. в 12.00 в г. Минске состоялось торжественное открытие 3-й Международной специализированной выставки «Человек и безопасность». С приветствием к участникам и гостям обратились Н. И. Чергинец, А. П. Барсуков, В. В. Король, Д. В. Некрашевич.

Необходимым и своевременным условием усиления защиты государства, укрепления правопорядка, повышения эффективности деятельности государственных органов является обеспечение силовых структур высокоэффективной, современной техникой. Настоящим «полигоном», где закладываются параметры будущих технологий, где заключаются договора на существующие виды продукции по обеспечению безопасности, где происходит обмен опытом и знаниями, является специализированная выставка «Человек и безопасность», которая проходит каждый второй год в г. Минске.

Участие в выставке представителей силовых ведомств, негосударственных структур безопасности, общественных организаций, разработчиков и производителей технических средств позволяет объединить усилия в решении насущных проблем обеспечения национальной безопасности, рассмотреть различные аспекты этой проблемы.

На выставке традиционно демонстрируются новейшие разработки в сфере безопасности — личной, пожарной, информационной, на транспорте. В процессе обсуждения актуальных вопросов существенно повышается эффективность взаимоотношений между различными структурами.

Цели выставки: дальнейшее развитие научно-технической базы в области безопасности, повышение уровня оснащенности правоохранительных органов и спецслужб, организаций и частных лиц современными средствами охраны и защиты, информирова-

ние специалистов сферы безопасности о последних научно-технических новинках, укрепление связей между научными, промышленными и деловыми кругами.

Генеральным партнером выставки стала компания ITV — крупнейший российский разработчик цифровых систем безопасности и видеонаблюдения для объектов любого масштаба и отраслевой принадлежности.

После официальной части открытия выставки перед зрителями на открытой площадке выступил оркестр третьей отдельной бригады специального назначения Внутренних Войск Министерства внутренних дел Республики Беларусь под руководством военного дирижера Н. В. Захарова. После этого приемы самообороны продемонстрировал двукратный победитель Республиканского конкурса спортивно-боевых единоборств «Зов Беларуси» — сборная команда Академии Министерства внутренних дел по рукопашному бою и первая рота специального назначения третьей отдельной бригады специального назначения Внутренних Войск Министерства внутренних дел. А в 13.30 все желающие смогли стать зрителями показательных выступлений Кинологического клуба Вооруженных Сил.

Интервью с участниками выставки

Сергей Карпов, представитель предприятия «Мир знаков»

«Мы производим все дорожные знаки, и для г. Минска в частности. Из новинок мы хотели бы предложить дорожные знаки, сделанные из алмазной пленки. Это новая разработка известного производителя световозвращающих пленок компании «ЗМ». Данные пленки значительно превосходят по своим характеристикам самые распространенные инженерные пленки. Мы постоянно сотрудничаем с ведомствами, которые обслуживают белорусские доро-



ги. А выставка позволяет нам наглядно и своевременно проинформировать специалистов о новинках. Тем более, что знаки из алмазной пленки, на наш взгляд, должны использоваться не только дорожными службами, но и отдельными предприятиями и даже гражданами. К нам уже обращались потенциальные клиенты и это в первый день работы выставки, поэтому мы ждем от участия хороших результатов.”

Александр Лесниковский, заместитель директора ИП “Молодцов”, представитель российской компании “Бастион”

“Мы представляем источники бесперебойного питания для систем охранно-пожарной сигнализации и систем связи. Они уже успешно используются на белорусском рынке, но мы бы хотели продемонстрировать и новые разработки. Например, мы предлагаем источники бесперебойного питания для домофонов, чтобы, когда в доме пропадает свет, домофон продолжал работать. Выставка “Человек и безопасность” интересна тем, что помогает рассказать о нашей продукции большому количеству специалистов. Здесь полезно работать, потому что рынок безопасности в республике сейчас активно развивается, и всем нам еще предстоит решить много задач. А основы сотрудничества закладываются именно здесь.”

Елена Богуш, заместитель директора по финансовым вопросам компании “Металл прогресс”, и Владимир Орловский, представитель компании “Современные системы и сети” (г. Москва)

“Мы участвуем во всех выставках, где представлены разделы, посвященные дорогам и безопасности. На этой выставке мы демонстрируем все то, что связано с безопасностью пешехода — это фликеры и световозвращающие ленты. И хотя они пользуются хорошим спросом, мы все равно не упускаем шанс лишний раз продемонстрировать нашу продукцию широкой публике, закрепить имидж фирмы. К тому же выставка позволяет представить продукцию, которую раньше никто еще не видел. На нашем стенде можно увидеть ленты для спецодежды повышенной видимости, которые имеют европейские сертифика-

ты. Такая спецодежда необходима работникам дорожных служб, скорой помощи, ГАИ, МЧС. Надеемся, что эта разработка заинтересует белорусских потребителей.”

Виталий Горбашко, исполнительный директор компании “ЕВРОСЕЛ-Н”

“Наше предприятие предлагает широкий ассортимент одноразовых контрольно-пломбировочных устройств для опломбирования приборов учета электроэнергии, газа, воды, средств транспортировки груза, банковских сумок и т.д. Участие в выставке необходимо, чтобы создать положительный, дружеский имидж предприятия. Наша продукция имеет настолько широкое применение, что практически каждый посетитель может найти для себя на нашем стенде что-то интересное. А благодаря выставке он будет знать, где это можно купить. Перспектив для освоения наших устройств очень много, и мы надеемся, что выставка поможет нам продвинуть их в новые сферы. Например, опломбировка еще недостаточно используется в банковском деле.”

Кирилл Журавлев, маркетолог компании “Ровалэнт”

“Мы постоянно участвуем в выставке “Человек и безопасность” и приятно отметить, что из года в год растет число ее участников и расширяется спектр представляемой продукции и оборудования. Все больший интерес проявляют к этой сфере не только проектанты, но и обычные граждане, которые заботятся о своей безопасности, хотят охранять свои жилища. Сфера эта достаточно специфична, поэтому такие выставки нужны еще и для того, чтобы помочь разобраться частному потребителю в тонкостях охранных систем. Также выставка помогает составить представление о состоянии рынка в целом, о появившихся новинках, увидеть, чем занимаются конкуренты, обменяться мнениями. Еще один момент, отличающий эту выставку, — это сотрудничество с структурами. Мы работаем в одних интересах и взаимно дополняем друг друга. Общие точки соприкосновения помогает найти опять-таки выставка.”



ФРАЗА НОМЕРА:

“МЧС — это армия, которая занимается благородным делом, обеспечивая пожарную безопасность и защиту населения. В минувшем году МЧС России провело 16 тысяч спасательных операций, в результате которых были спасены более 107 тысяч человек. Это огромная цифра”.

Сергей Шойгу

Спасительный закон

8 июля 2008 г. в Национальном центре управления в кризисных ситуациях МЧС России прошла пресс-конференция статс-секретаря — заместителя министра *Владимира Андреевича Пучкова*.

Поводом для встречи с журналистами стало принятие Государственной Думой РФ в третьем, окончательном, чтении Федерального закона “Технический регламент в сфере пожарной безопасности”, инициатором создания которого выступило МЧС России.

Владимир Андреевич, чем вызвано появление этого документа?

Владимир Пучков: Исключительно требованиями времени. Многие нормативные акты сегодня устарели. В сфере пожарной безопасности действуют более двух тысяч различных документов, содержащих свыше 150 тысяч требований. Зачастую они противоречат или дублируют друг друга. Все это не только затрудняет их применение, но и создает поле для коррупционных проявлений. Нынешний техрегламент и еще пять основных документов заменят все существующие нормативные акты, регулирующие сегодня сферу обеспечения пожарной безопасности. Документ будет способствовать и снятию излишних административных барьеров, и снижению давления на бизнес-сообщество.

Понятно, что технический регламент — своеобразная предтеча аудита безопасности.

Действительно, принятие техрегламента создает условия для внедрения аудита безопасности, т.е. системы независимой оценки рисков. Это, в частности, повысит ответственность собственника и позволит ему самостоятельно выбирать способ пожарной охраны своего объекта.

Можно ли теперь говорить об ограниченном уровне пожарного риска для населения и промышленных объектов?

Закон регламентирует индивидуальный риск для человека — одна миллионная, т.е. в идеале при пожаре допустима (если вообще можно это слово применить к человеческой жизни) гибель не более одного человека на миллион. Для предприятий с уче-

том их особенностей этот показатель составляет одну десятичную. Такие подходы существуют в Западной Европе, Японии и США. При доскональном соблюдении всех требований пожарной безопасности и отсутствии форс-мажорных обстоятельств и иных субъективных факторов, в том числе самого человека с его зачастую непредсказуемыми действиями, эти нормы достижимы. Пока показатели нас огорчают.

Какие еще новые требования прописаны в новом законопроекте?

Впервые определено нормативное время прибытия пожарных подразделений на место возгорания. Пока действуют абстрактные радиусы выезда: в городе — 3 км, в сельской местности — 10 км. По новым нормативам пожарные подразделения должны прибыть на место происшествия и начать тушить пожар в городе за 10 мин, за городом — за 20 мин. Согласен, это очень жесткие требования, но они необходимы.

Но пробки в той же столице вряд ли позволят исполнить эти требования...

Это проблема комплексного характера, которую необходимо решать с участием органов местного самоуправления. Конечно, надо также научить наших водителей пропускать машины со спецсигналами, как бы это ни было трудно.

Как техрегламент соотносится со страхованием рисков на производстве?

Когда мы говорим об элементах выстраивания цивилизованной системы безопасности в сфере производства, речь идет в том числе и о страховании рисков опасной деятельности, особенно перед третьими лицами. Например, вы живете или работаете вблизи промышленного объекта, представляющего опасность для вашего имущества. Владелец этого объекта обязан соблюдать допустимые нормы риска и обеспечить их страхование. Страховая компания заинтересована в объективной оценке рисков и определении адекватных страховых взносов.

Когда новый документ вступит в силу?

Через девять месяцев после завершения процедуры принятия в установленном порядке. До этого предстоит внести изменения в Федеральный закон “О пожарной безопасности” и разработать ряд дру-

гих нормативных актов. На недавней встрече министра МЧС России Сергея Шойгу с представителями общероссийских общественных организаций “Опора России” и “РСПП” было принято решение создать совместную постоянно действующую рабочую группу с участием не только наших представителей, но и бизнеса, общественных организаций. Главной задачей этой группы станет формирование нормативной базы для реализации положений технического регламента и позволяющей проводить мониторинг практики его применения.

<http://www.mchs.gov.ru>

Глава МЧС России Сергей Шойгу вручил дипломы выпускникам Академии гражданской защиты МЧС России

В этом году вуз закончили 263 человека, в том числе 34 офицера из стран СНГ.

“Я уверен, что здесь они получили очень хорошее образование и всегда будут готовы к выполнению своего долга”, — сказал министр. Он подчеркнул, что попасть в Академию непросто — конкурс составляет 14–16 человек на место. “Все выпускники оправдали возложенные на них надежды, и я уверен, что оправдают их и сегодняшние курсанты”, — сказал Сергей Шойгу.

Академия гражданской защиты МЧС была образована 9 декабря 1992 г., а первый выпуск состоялся в 1998 г. Выпускники вуза принимали участие в ликвидации последствий разрушительных землетрясений в Турции, Колумбии и Индии, террористических актов в г.г. Кизляре, Москве и Волгодонске, в проведении гуманитарных операций в Югославии, Афганистане и Чечне, восстановлении г. Ленска, пострадавшего от катастрофического наводнения.

Многие выпускники Академии награждены высокими государственными наградами.

<http://www.mchs.gov.ru>

Семьи сотрудников МЧС отмечены престижной национальной премией

28 мая 2008 г. в Государственном Кремлевском Дворце прошла торжественная церемония вручения Национальной премии общественного признания “Семья России”.

В этом году престижной премии, которая вручается уже в четвертый раз Межрегиональным благотворительным фондом “Семья России” совместно с фондом “Здоровье и духовность нации”, удостоились сразу две семьи сотрудников МЧС России.



Лауреатами в номинации “Семья года” стала семья Казанковых, в этой же номинации почетного диплома удостоилась семья Филипповых.

Семья начальника отряда ГПС Приозерского района ГУ “Центр управления силами ГПС МЧС России по Ленинградской области” Вячеслава Казанкова воспитывает пятерых детей — 3 дочек и 2 сыновей. Самому младшему ребенку 8 лет.

Главе семейства, Вячеславу Казанкову, 34 года. Шестнадцать лет он служит в пожарной охране России. В 1999 г. Вячеслав стал одним из инициаторов строительства в г. Санкт-Петербурге часовни в честь иконы Богородицы “Неопалимая Купина” с мемориалом погибшим пожарным.

В настоящее время в Приозерском районе Ленинградской области воплощается еще одна задумка Казанкова — строительство загородного психолого-реабилитационного центра, а также летнего лагеря под эгидой движения “Юный спасатель”.

Вячеслав Казанков награжден медалями МЧС России “За отвагу на пожаре” и “За отличие в службе” III степени, другими ведомственными наградами.

Казанков — кандидат в мастера спорта по дзюдо, кандидат педагогических наук, докторант Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России.

Его супруга Светлана работает диспетчером 142-й ПЧ ГПС Приозерского района ГУ “Центр управления силами ГПС МЧС России по Ленинградской области”. В МЧС России с 2005 г., имеет подготовку спасателя.

Семья водителя пожарной части технической службы № 50 Государственного учреждения “Центр управления силами ФПС по Калужской области” Виктора Филиппова воспитывает 13 детей — 2 своих и 11 приемных.

В дружной семье Филипповых 5 девочек и 8 мальчиков в возрасте от 5 до 20 лет.

Сейчас Филипповы живут в г. Калуге в собственном доме с приусадебным участком.

Несмотря на материальные трудности, с которыми сталкивается, наверное, каждая многодетная семья, родители сумели дать старшим детям достойное среднее специальное образование, а младшие уже строят планы и на высшие учебные заведения.

Особо приятно, что этой престижной премии сотрудники МЧС удостоились в Год Семьи.

<http://www.parlcom.ru>

Снят с должности директор судоремонтного завода в г. Балтийске, где в результате пожара погибли 10 человек

10 июля 2008 г. в г. Балтийск прибыла комиссия Главного штаба ВМФ России, которая провела официальную процедуру снятия с должности директора ФГУП “ЗЗ Судоремонтный завод” МО РФ Владимира Лукашова, сообщил представитель заводоуправления.

“Главкомандующий ВМФ РФ адмирал Владимир Высоцкий досрочно разорвал контракт с директором завода В. Лукашовым, что и было официально объявлено комиссией ГШ ВМФ. Это напрямую связано с последствиями пожара, который произошел на предприятии в начале июня и унес жизни 10 человек”, — заявил он.

Исполняющим обязанности директора СРЗ пока будет назначен главный инженер завода, который “скорее всего вскоре уступит должность руководителя предприятия представителю из г. Москвы”. Так, ожидается, что директором станет один из руководителей научно-исследовательского института, работающего в интересах управления судоремонтными заводами ВМФ РФ.

Он отметил, что снятие с должности директора СРЗ “было ожидаемо”, так как еще в середине июня Главком ВМФ в своем приказе по итогам расследования причин пожара рекомендовал подчиненным “рассмотреть вопрос о целесообразности нахождения в должности директора завода В. Лукашова, ...назначить ревизию активов и договоров по оказанию услуг ФУГП “ЗЗ СРЗ” сторонним организациям”.

Как сообщалось ранее, 5 июня 2008 г. в г. Балтийске на гражданском сухогрузе “Енисей”, находившемся в доке “ЗЗ-го СРЗ” на ремонте, во время несанкционированных огневых работ произошел взрыв, а затем и пожар в машинном отделении и трюмных помещениях на площади около 300 м².

Число погибших достигло 10 человек, еще 3 человека получили травмы и ожоги. По факту пожара возбуждено уголовное дело по части 2 статьи 143 “Нарушение правил охраны труда, повлекшее по неосторожности смерть человека”.

Главкомандующий ВМФ РФ адмирал Владимир Высоцкий назвал главной причиной пожара грубое пренебрежение требованиями безопасности, которые были допущены со стороны администрации завода и командования судна.

В своем приказе от 11 июня 2008 г. Главком обобщил все причины пожара и наказал виновных. В результате директор завода снят с должности, а несколько адмиралов и офицеров получили предупреждение о неполном служебном соответствии.

<http://www.interfax-russia.ru>

На крышах больниц стали появляться площадки для авиации

Еще идут споры: допускать вертолеты к полетам над городом или нет. Но они уже не касаются “скорой вертолетной помощи”, для которой московское небо теперь будет открыто.

На 63-м километре МКАД, у Троице-Лыкова, начинается строительство “дома-вертолетодрома”. Он необходим для спасения пострадавших при дорожно-транспортных происшествиях. Здесь будет первая специализированная и полностью оборудованная посадочная площадка МЧС. Место для нее выбрано неслучайно.

Здесь полным ходом идет реконструкция развязки, которая обеспечит стыковку новой вылетной магистрали — Звенигородского проспекта с Новорижским шоссе. А по соседству на МКАД есть другие важные развязки с Рублевкой и Волоколамкой. “Скорая вертолетная помощь” до ближайших автобанов долетит за считанные минуты.

Между прочим, у 63-го км уже была бетонная посадочная площадка на земле. Но это прошлый век. На нее теперь даже сесть опасно.

“Рядом ставят гигантские опоры, — разъяснил ситуацию главный архитектор “Метрогипротранса” Николай Шумаков. — Чтобы избавиться от вечных пробок и обеспечить нормальный въезд и выезд из г. Москвы, здесь строится высокая эстакада. Мы должны поднять вертолетную площадку над всеми сооружениями, находящимися вблизи. Поэтому с внешней стороны МКАД спроектировали необычное здание высотой 18 м. Это круглое грибовидное сооружение, которое венчает диспетчерский пункт, и прямо над ним размещена посадочная площадка. Она рассчитана на прием крупных Ми-8, но сможет принимать вертолеты и поменьше, которые используются в санитарной авиации. Здесь предусмотрен въезд для автомобилей МЧС — карет “скорой помощи” и постоянно дежурящих пожарных машин. Есть место и для милицейского транспорта.”

Так что в скором будущем при ДТП с серьезными последствиями “вертушка” быстро доставит пострадавшего на крышу. Отсюда специальным лифтом его опускают до уровня машины, которая тут же доставит его в больницу. Но это пока проект.

А в самом центре г. Москвы, на крыше дома № 22 по Большой Полянке, уже больше полутора лет развешаются аэродромные флажки и горят навигационные лампы. Здесь находится НИИ неотложной детской хирургии и травматологии, который москвичи называют “детским Склифом” или “больницей доктора Рошалья”. Оправдала ли себя посадочная площадка на крыше НИИ? Об этом сообщил знаменитый директор — профессор Леонид Рошаль.

“Мы еще заканчивали реконструкцию хирургического корпуса, на котором впервые в городе была запланирована вертолетная площадка, — рассказывает Леонид Михайлович, — в это время выступал министр Сергей Шойгу. После пожара в московской больнице он пришел к мнению, что такие площадки должны быть на крышах большинства больниц. Действительно, трудно эвакуировать больных с верхних этажей, когда внизу полыхает огонь. Кто-то может прыгнуть, а как быть маме с больным ребенком? Ужасно. В такой ситуации наличие вертолетных площадок — выход.”

По словам Рошалья, их площадка задумывалась главным образом для экстренной госпитализации детей не только из г. Москвы, но и области, и даже более отдаленных мест, поскольку институт принимает маленьких пациентов со всей России. Бывают случаи, когда даже на реанимобиле опасно везти ребенка, который находится в тяжелейшем состоянии — на аппаратном дыхании после черепной травмы. А вертолет оборудован аппаратом искусственной вентиляции легких. Больного сопровождает реаниматолог. Через считанные минуты ребенок уже в шоковой зале — операционной. Здесь есть все необходимое: компьютерный томограф, рентген, энцефалограф, чтобы сразу провести комплексное обследование.

“Нужно по всей России развивать санитарную авиацию, которую мы фактически потеряли, — убеж-

ден доктор Рошаль. — Но в большой Москве она особенно необходима, поскольку позволяет миновать пробки, которые сегодня не только в центре, но и на выездах из города. У МЧС есть специализированные самолеты, но они очень большие. Их не всегда можно использовать. А на рейсовых самолетах летать с больными можно, но не разрешается брать с собой кислородные баллоны. Нам приходится хитрить, делать маленькие баллончики... Так мы доставляли пострадавших из Египта и Турции. Мне кажется, в нашей огромной стране должна быть государственная программа развития санитарной авиации. Например, в небольшой Швейцарии эта проблема решена.”

“За 12–15 мин вертолет может долететь до любой точки города в пределах МКАД, — объясняет Владимир Кулагин, заместитель начальника Московского авиационного центра (МАЦ). — При диаметре лопастей всего в 11,3 м сесть можно на дорогу или на относительно небольшую площадку. А размеры площадки на крыше НИИ доктора Рошалья вполне подходят: 26×26 м. В г. Москве есть еще 5 посадочных площадок при медучреждениях, например, при Институте имени Склифосовского, но все они на земле. Сейчас от медицины идет много заявок: застройка в городе плотная — нужны площадки на крышах. Хотя бы еще 10–15. Скоро такая появится на крыше Бакулевского центра сердечно-сосудистой хирургии.”

Для экстренной помощи мы используем вертолет По-105 — малозумный и экологичный. Он специально выпущен для перевозки раненых в крупных городах и используется в Европе уже более 10 лет. В нем есть вся необходимая аппаратура для оказания первой помощи. Врачи круглосуточно дежурят вместе с экипажем и сразу вылетают на место происшествия.

По-105 перевозит одного больного, а машина покрупнее — БК-117 — рассчитана на перевозку двух человек. Наш вариант такого вертолета планируется производить в казахстанском г. Темиртау.

<http://www.rg.ru>



Канд. техн. наук, доцент, профессор
Академии Государственной противопожарной службы МЧС РФ

В. В. Тербенёв



Канд. техн. наук, зам. начальника кафедры
Ивановского института Академии Государственной противопожарной службы МЧС РФ

А. О. Семёнов



Адъюнкт Академии Государственной противопожарной службы МЧС РФ

Д. В. Тараканов

УДК 614.842.83.05

ЭВОЛЮЦИЯ СТРУКТУРЫ УПРАВЛЕНИЯ СИЛАМИ И СРЕДСТВАМИ НА ПОЖАРЕ

Объектом исследования является структура управления силами и средствами на пожаре. Характеризуются основные этапы развития, подходы построения структуры управления в различные исторические промежутки времени. Выявляется схожесть эволюции структуры управления силами и средствами на пожаре с эволюцией классических организаций, представленных авторами экономических и социологических работ. Определяются особенности становления и развития структуры управления силами и средствами на пожаре. Актуальность работы состоит в исследовании эволюции структуры управления для возможности ее дальнейшего совершенствования как инструмента рационального размещения элементов системы управления силами и средствами на пожаре.

Структура управления силами и средствами на пожаре — основной элемент системы управления. Структура — это форма организации, точное упорядоченное размещение элементов управления для выполнения задач, стоящих перед системой управления. Структура управления есть способ размещения элементов управления для их рационального (оптимального) взаимодействия. Поэтому такие категории, как структура и система управления, не могут быть отделены друг от друга. Они дополняют и характеризуют управление как рациональный процесс.

Под структурой системы управления авторы работ [1, 2] понимают неизменяемую часть системы, не зависящую от ее состояния, другими словами, это реализация различных форм поведения, совершения операций и т.п. В публикации [3] дается определение системы управления как совокупности направления, регулирования, корректирования — органа управления с присущими ему техническими средствами и методами действий, объекта управления и каналов связи между ними.

В работе [4] автор дает следующее определение структуры управления — это строение и функционирование аппаратов и подразделений служб:

- работающих в аппарате (подразделениях) людей — должностных лиц;

- выполняемых ими функций (работ);
- результатов их деятельности.

В работах [5–9] структура управления представляется как комплекс взаимосвязанных и взаимодействующих элементов, а организация этого взаимодействия понимается как жесткоструктурированный инструмент системы управления, посредством которого осуществляются регуляция и воспроизводство деловых отношений и который базируется на закрепленных в документах и юридически оформленных нормах, правилах и стандартах, регулирующих деятельность работников и деловое взаимодействие.

По мнению авторов публикаций [2, 3], систему управления силами и средствами на пожаре нужно относить к сложным системам по следующим основным признакам:

- большое число взаимосвязанных между собой элементов;
- наличие сложной целенаправленной функции системы;
- возможность разделения системы на подсистемы, задачи которых подчинены общей цели функционирования всей системы;
- наличие управления, чаще всего имеющего иерархическую структуру, и интенсивных потоков информации;

- влияние случайных факторов;
- наличие черт самоорганизации, т.е. способности на основании собственной оценки взаимодействия с внешней средой путем последовательного изменения своих свойств прийти к некоторому устойчивому состоянию, когда воздействие внешней среды вызывает незначительные колебания свойств системы в определенных заданных пределах.

Таким образом, можно выделить основные признаки, характеризующие структуру управления силами и средствами на пожаре:

- внешняя среда в первом приближении есть пожар как объект управления, который производит информационное и распорядительное воздействия;
- управляющая подсистема — орган управления;
- управляемая подсистема — субъект управления;
- формальный документ, характеризующий порядок воздействия управляющей подсистемы на управляемую.

Внешняя среда, точнее пожар и все знания о нем — оперативная обстановка, производит главное воздействие на внутреннюю среду системы — это управляющая и управляемая подсистемы и юридически оформленные нормы, которые регулируют отношения во внутренней среде системы.

Задачами данной статьи являются установление эволюционных особенностей развития структуры управления на пожаре и сравнение их с особенностями развития других структур управления.

В работах, посвященных управлению в социальных и экономических системах, существуют два основных метода формирования организационных структур: структурный и динамический. В случае простой системы управления методы формирования ее структуры совпадают. При организации сложных систем управления, зависящих от многих факторов, таких как способ деления обязанностей (функций), принцип распределения власти (ответственности), время выполнения совместных действий, возможность (невозможность) дублирования функций и т.д., ситуация управления требует гибкого метода построения структуры управления, способного быстро и рационально менять расположение элементов и налаживать между ними взаимодействие. Таким методом, как правило, является динамический.

Авторы публикаций [5–9] определяют принципы формирования структур управления следующим образом. В начале своего существования любая структура носит неформальный характер, т.е. документы, регулирующие взаимодействие элементов в таких структурах, характеризуются как описательные, показывающие, как обстоят дела в

организации. Затем любая структура, как и организация, стремится к формализации, этот момент в жизненном цикле системы можно проследить появлением документа, регламентирующего взаимодействия элементов организации, в котором приводятся не описательные, а регламентирующие, руководящие нормы и правила. Формирование организационных структур до Второй мировой войны, как правило, проходило по структурному методу, в послевоенные годы — по динамическому вследствие применения различных автоматизированных технологий, упрощающих управленческий труд руководителей. Именно поэтому при исследовании развития структуры управления на пожаре авторы рассматривают ее формирование до революции 1917 г., после революции и до Второй мировой войны, а затем в послевоенный период.

Структура управления силами и средствами на пожаре до революции 1917 г.

В одной из первых работ, посвященных регулированию организации деятельности пожарных формирований, — “Практическое наставление брандмейстерам” 1818 г. [10, 11] — идет описание штатной численности пожарных команд, требований к руководителям (брандмейстерам, брандмайорам), что, в свою очередь, уже подразумевает процесс управления. В работе происходит деление ныне понимаемых участников тушения пожара, а тогда — служащих пожарных команд, работающих на пожаре, на руководителей и подчиненных, просматриваются основные принципы создания простейшей структуры управления. К таким принципам можно отнести:

- передачу полномочий по руководству действиями на пожаре старшему должностному лицу;
- организацию прообраза первой дежурной службы в лице дежурного брандмейстера, прикрепленного к обер-полицейстеру;
- организацию связи на пожаре при помощи опознавательных сигналов, как правило флагов различных цветов, свистков и других способов руководителя привлечь внимание подчиненных.

На данном этапе зарождения структуры управления происходит разделение процесса тушения пожара на управление (командование) и исполнение (непосредственное тушение). Появляются объект и субъект управления и первый иерархический принцип (принцип единоначалия, который в теории организации выделил А. Файоль [5]). В рассматриваемой работе структура носит размытый (неформальный) характер, так как еще нет ни одного юридически оформленного документа, регулирующего взаимодействие субъекта и объекта управления на пожаре, а указанное наставление носит лишь реко-

мендательный характер и направлено более на организацию службы в пожарных командах, нежели на организацию тушения пожара.

В 1907 г. выходит работа Э. Э. Лунца и П. А. Федотова “Пожарная тактика. Правила тушения пожаров в вопросах и ответах” [12, 13], которая объединила в себе одиннадцать иностранных источников по теме тушения пожаров в различных условиях. Как утверждают авторы в предисловии работы, “предлагаемые товарищам по пожарному делу наставления и краткие указания из пожарного опыта как заграничных авторитетов, так и собственного небольшого опыта, мы считаем своим нравственным долгом предупредить, что точного указания, как действовать на каждом пожаре, дать невозможно, потому что каждый пожар имеет свою собственную физиономию и массу ему одному присущих осложнений, а потому успешное тушение пожара зависит от находчивости, энергии, смелости, таланта и опытности начальника команды, степени оборудования, боевой подготовки и состава команды, наличия воды и других огнегасительных средств, имеющихся в его распоряжении. Настоящая брошюрка содержит лишь некоторые общие указания для начинающих пожарных деятелей, и мы будем очень благодарны за всякое указание на ее промахи и недостатки”.

Данное издание состоит из трех основных разделов:

- “общее правило” — в этом разделе приводятся правила тушения пожаров в общих случаях, также в нем выделяются должностные обязанности, такие как начальник команды, заведующий тылом;
- “правила тушения пожаров в частных случаях” — здесь авторы выделяют 21 частный случай тушения пожаров в зданиях и сооружениях различного назначения;
- советы лицам, начальствующим на пожаре.

В последнем разделе выделяются основные принципы управления на пожаре:

- единоначалие;
- передача полномочий на пожаре, причем данный принцип описывает передачу полномочий с двумя исходами: при передаче командования и при наблюдении старшего начальника за ситуацией, сложившейся на пожаре;
- оценка обстановки (угроза людям, животным, имуществу);
- отдача команд и приказаний;
- определение достаточности сил для тушения пожара, вызов дополнительных пожарных команд;
- отдача сигналов, обращающих внимание слушающих на руководителя на пожаре, при помощи

свистков разной громкости, причем громкость свистка тем больше, чем выше статус руководителя на пожаре;

- роспуск команд с места пожара, поощрение и нарекание по итогам тушения пожара.

Все эти принципы управления существуют и по сей день, руководители тушения пожара пользуются ими на каждом пожаре. В заключении наставления говорится, что данное издание разработано авторами по указанию комиссии Совета Императорского Российского пожарного общества, следовательно мы полноправно можем придать этому изданию юридическую силу и считать его нормативным документом, описывающим деятельность аппарата управления на пожаре того времени. Исходя из сказанного, будем считать, что первая неформальная структура управления на пожаре получила свое рождение именно в данный исторический период.

Структура управления силами и средствами на пожаре после революции 1917 г. до Второй мировой войны

Следующей, как одной из ярких, можно выделить работу Н. П. Требезова “Пожарная тактика” (1928 г.) под редакцией К. М. Яичкова [14]. Она объединила в себе знания, которыми обладали пожарные руководители того времени. Книга носит характер руководства и содержит в себе вводную статью и. о. Народного комиссара внутренних дел РСФСР В. Н. Егорова. Это одна из первых работ, посвященных пожарной тактике и ведению действий по борьбе с огнем после революции 1917 г.

В данной работе имеется целый раздел, посвященный управлению на пожаре. Во многом управление рассматривается здесь таким же образом, как и в “Пожарной тактике” Э. Э. Лунца и П. А. Федотова [13], но система управления представляется как последовательность выполнения функций, выделенных в следующие основные подразделы:

- прибытие на пожар и предварительные распоряжения;
- разведка (рекогносцировка*), меры предосторожности при разведке, выяснение степени опасности и распространения огня;
- спасение людей;
- медицинская помощь на пожарах;
- спасение домашних животных, птиц и пчел;
- разделение, распределение пожаров;
- тушение незначительных пожаров;
- требование соседних команд (дружин) на помощь;
- установка приборов водоснабжения (ручных, газовых и паровых труб, автонасосов, мото-

* Рекогносцировка — разведка водоисточников.

помп), питание их из водоемов, перекачка, высасывание, работа из чана, подвоз воды бочками и подача ведрами;

- прокладка выкидных рукавов:
 - а) виды прокладки;
 - б) расчет рукавов на прокладку;
 - в) правила прокладки рукавов;
 - г) применение разветвлений;
 - д) наблюдение за выкидными рукавами на пожаре;
- распределение боевых сил на пожаре:
 - а) работа топорников, расстановка трубников со стволами;
 - б) организация боевой связи на пожаре;
- освещение места пожара;
- командование на пожаре;
- организация тыла:
 - а) назначение начальника тыла;
 - б) направление пожарных снарядов на месте установки по указанию руководителя тушения пожара;
 - в) установка пожарных ходов в тылу и обеспечение движения в районе пожара;
 - г) обеспечение питания пожарных приборов для подачи воды;
 - д) организация тыловой связи;
 - е) отправка резервных ходов с места пожара;
- действия и распоряжения при возникновении нескольких пожаров одновременно;
- локализация пожара;
- разборка на пожаре:
 - а) вскрытие и обнажение конструкций;
 - б) обеспечение безопасности на месте пожара (сваливание дымовых труб, стен и проч.);
 - в) очистка места от пожара;
 - г) окончательный осмотр места пожара (ликвидация пожара);
- уборка пожарных снарядов и возвращение с пожара;
- караул** на месте пожара;
- подготовка к новому выезду на пожар.

Такое достаточно детальное разделение функций управления вполне обосновано состоянием структуры управления того времени. Функции управления выделяют основную черту структуры, формирование алгоритма последовательных действий, что говорит о структурном способе построения управления.

Под каждой функцией автор расписывает задачи, которые необходимо решить руководителю, и типичные способы их решения. Каждая задача проиллюстрирована конкретным примером из практи-

ки тушения пожара, что является подтверждением теоретических выкладок автора.

В настоящее время опубликована работа “Пожарная тактика в примерах”, которая объединила в себе практический аспект тушения различных пожаров [15]. В ней старший руководитель на пожаре понимается как руководитель тушения пожара, вводится полноценное понятие тыла на пожаре и вырабатывается критерий необходимости его создания. Для начальника тыла даются основные обязанности, представленные как подфункции в функции создания тыла. В этом издании также приводятся примеры карточки тушения пожара, расписание выезда, дифференциация пожаров:

- по виду — на внутренние (закрытые) и наружные (открытые);
- по степени (силе, размерам) огня — на малые, средние и большие;
- по типу построек — на пожары в каменных, деревянных, смешанных и других зданиях;
- по месту возникновения (характеру пожара) — на городские и деревенские.

Авторы настоящей статьи привели полное развернутое содержание раздела рассматриваемой работы с целью показать все этапы управления, имеющиеся на тот промежуток времени. По итогам этого можно сделать вывод, что основные функции, представленные выше, есть составные части формирования системы управления на пожаре, их можно объединить в следующие блоки:

- сбор информации о пожаре;
- определение критериев эффективности тушения пожара;
- выработка аналогий решений по управлению на пожаре;
- принятие, согласование решения;
- доведение решения до исполнителей;
- контроль за исполнением.

Перечисленные блоки, по которым осуществлялось управление на пожаре, практически без изменения дошли до сегодняшнего дня, за тем лишь исключением, что появились способы автоматизации процесса принятия управленческих решений и расширился круг задач, стоящих перед пожарными подразделениями при локализации и ликвидации пожара.

В 1938 г. выходит первый формальный руководящий документ, именуемый Боевым уставом пожарной охраны (далее — БУПО), изданный НКВД СССР [16]. С появлением данного документа будем определять структуру управления как формальный инструмент системы управления. БУПО 38 заключал в себе содержание, аналогичное работам Э. Э. Лунца, П. А. Федотова и Н. П. Требезова, но указывал не как ликвидировался пожар, а как правильно его ликвидировать.

** Караул — несение службы на месте пожара после его тушения для предотвращения последующего возгорания [14].

Таким образом, происходит полная формализация структуры управления с последующим появлением прав и обязанностей руководителей в деятельности управления на пожаре.

Вслед за рассмотренным выходит следующий БУПО 1940 г. [17], который был опубликован вследствие надвигавшейся Второй мировой войны. Оба нормативных документа практически одинаково определяют создание структуры управления на пожаре, за тем лишь исключением, что в БУПО 40 [17] в исключительно предвоенный период пожарные подразделения возглавляются начальником караула и командирами отделений — это первые штатные должности, которые после войны перейдут в должности службы, но не оперативной работы. С введением данных должностей на пожаре структура управления жестко структурируется и превращается в полностью иерархическую военную структуру, вбирающую в себя не только способы и принципы тушения пожаров, но и основные элементы защиты населения от поражений различного рода оружия. БУПО 40 [17] превращает управление силами и средствами на пожаре в действия, приближенные к боевым.

Структура управления силами и средствами на пожаре в послевоенный период

В 1953 г. выходит послевоенный БУПО [18], который представляет структуру управления как результат динамического метода ее формирования. Выделяются основные должностные лица, наделяются полномочиями и обязанностями (боец, шофер пожарного автомобиля, командир отделения, начальник караула), возникают функциональные (специальные) службы, которыми являются:

- газодымозащитная служба;
- водозащитная служба;
- служба связи;
- служба освещения.

Все эти признаки организации управления на пожаре обусловлены послевоенной обстановкой в стране. Принцип единоначалия, в отличие от работ Н. П. Требезова, начинает подразумевать военное командование начальников караулов.

Наиболее интересным с точки зрения организации структуры управления является БУПО 1970 г. [19], так как в этом нормативном документе появляются внештатные должности, которые характерны лишь при боевой работе на пожаре. К таким должностям, согласно данного документа, относятся:

- руководитель тушения пожара;
- начальник оперативного штаба тушения пожара;
- начальник тыла;
- начальник боевого участка.

Данные должности, как уже говорилось, существуют только на пожаре, они являются основными элементами аппарата управления, исходя из этого структура управления приобретает гибкость вследствие назначения штатных должностных лиц на нештатные должности. Говоря простыми словами, руководитель тушения пожара сам полностью формирует подвластную себе структуру управления. Возникновение такого органа, как штаб тушения пожара, говорит о слиянии структуры управления на пожаре с традиционными структурами, штаб начинает выполнять одну из главных функций управления — поддержку принятия управленческого решения, причем не нарушая при этом принципа единоначалия, такого, каким он был изначально сформирован Э. Э. Лунцем, П. А. Федотовым и Н. П. Требезовым. С момента введения штаба пожаротушения управление силами и средствами на пожаре понимается как процесс выработки управленческих решений, а структура управления — как инструмент управления, обеспечивающий выработку управленческого решения, доведение его до исполнителя и контроль за его реализацией.

В данном документе даются определения *первичного тактического подразделения* — отделение на автоцистерне или автонасосе, способное самостоятельно выполнять отдельные задачи по тушению пожара и спасению людей, и *основного тактического подразделения* — караул в составе двух и более отделений на основных пожарных автомобилях, способный самостоятельно решать задачи по тушению пожара и спасению людей. Таким образом, приводится элемент, на который направлено управление.

А такие функции, как:

- выезд и следование на пожар;
- разведка пожара;
- спасение людей на пожаре;
- боевое развертывание;
- тушение пожара,

уже относятся к боевым действиям. А это значит, что объектом управления теперь является не пожар, а боевые действия первичных и основных тактических подразделений. Другими словами, управление приобретает дифференциацию по уровням.

В 1985 г. выходит новый БУПО [20], в котором раздел “Руководство боевыми действиями” трактуется как управление силами и средствами на пожаре, под которыми понимают:

- силы:
 - личный состав аппаратов, подразделений, учебных центров пожарной охраны, высших и средних специальных пожарно-технических учебных заведений МВД СССР;

- члены добровольных пожарных дружин, команд и иных формирований;
- личный состав других подразделений органов внутренних дел;
- личный состав воинских подразделений;
- организованное население;
- средства:
 - пожарная техника (машины, установки пожаротушения, пожарно-техническое вооружение и др.);
 - водоподающая и другая техника народного хозяйства, приспособленная и переоборудованная для целей пожаротушения;
 - огнетушащие вещества (вода, пена, порошки, газы и др.);
 - средства связи и освещения;
 - транспортные средства;
 - инженерно-технические средства народного хозяйства.

Управление силами и средствами переходит в отдельный обособленный раздел устава и уже содержит в себе главные положения как основы управления. Сформулировав такую категорию, как силы и средства, авторы данного документа выделили управление в отдельный объект исследования, дали толчок к совершенствованию системы управления посредством исследования структуры управления.

В 1995 г. выходит последний вариант БУПО [21], который наиболее точно и грамотно описывает процесс управления боевыми действиями на пожаре. В данном документе формально говорится о структуре управления силами и средствами на пожаре, полностью описывается круг лиц, входящих в данную структуру, следующим образом.

Управление боевыми действиями на пожаре — целенаправленная деятельность должностных лиц по руководству личным составом и иными участниками тушения пожара при ведении боевых действий на месте пожара.

Управление боевыми действиями на пожаре предусматривает:

- оценку обстановки и создание соответствующей требованиям настоящего Устава нештатной структуры управления боевыми действиями на месте пожара;
- установление компетенции оперативных должностных лиц и их персональной ответственности при выполнении поставленных задач;
- планирование действий по тушению пожара, в том числе определение необходимых сил и средств, принятие решений по организации боевых действий по тушению пожара;

- постановку задач перед участниками тушения пожара, обеспечение контроля и необходимого реагирования на изменение обстановки на пожаре;
- осуществление в установленном порядке учета изменения обстановки на пожаре, применение сил и средств для его тушения, а также регистрацию необходимой информации, в том числе дежурным диспетчером и с помощью технических средств специальной службы управления гарнизона;
- проведение других мероприятий, направленных на обеспечение эффективности боевых действий по тушению пожара.

На данном этапе развития структуры управления выделяется системный подход к ее построению, а блоки, которые предусматривают управление, практически совпадают с теми, что выделены авторами данной статьи при рассмотрении работы Н. П. Требезова. Системный подход предусматривает исследование структуры управления на пожаре с разных позиций с применением знаний из различных отраслей науки, для того чтобы получить возможность совершенствовать ее новыми методами и способами.

Заключение

Исходя из понимания системы управления и комплексных подходов к ее исследованию, авторами проведена параллель между развитием системы управления на пожаре и систем управления различного назначения, представленных в работах [5–9]. К ним можно отнести структуры управления муниципальных образований, представленные в социологических работах, и структуры управления предприятием, выделенные как особый класс организаций в экономических работах. Структура управления на пожаре эволюционировала по стандартному пути. В начале своего существования была неформальным инструментом системы управления, а документы, по которым осуществлялась управленческая деятельность на пожаре, носили рекомендательный характер. Затем при развитии пожаротушения в целом возникают условия, способствующие формализации структуры управления, появляются документы, которые носят не описательно-рекомендательный характер, а являются руководством для должностных лиц управления силами и средствами на пожаре. По мнению авторов, формализация в управлении на пожаре обязательна для регулирования отношений между руководителями и подчиненными вследствие определения разумного риска, которому повседневно подвергаются все без исключения участники тушения пожара.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Брушлинский, Н. Н.** Эффективность функционирования систем организационного управления и ее оценка / *Н. Н. Брушлинский, Н. Н. Семиков, В. Л. Семиков* [и др.] // Экономика и эффективность управления: тез. докладов Всесоюзного семинара. — М., 1980. — С. 491–494.
2. **Брушлинский, Н. Н.** Человечество и пожары / *Н. Н. Брушлинский, С. В. Соколов, П. М. Вагнер*. — М.: ООО “ИПЦ Маска”, 2007. — 142 с.
3. **Теребнёв, В. В.** Управление силами и средствами на пожаре / *В. В. Теребнёв, А. В. Теребнёв*. — М.: Академия ГПС МЧС России, 2003. — 261 с.
4. **Глуховенко, Ю. М.** Совершенствование организационной структуры аппаратов и подразделений противопожарной службы на основе математического моделирования / *Ю. М. Глуховенко* // Проблемы совершенствования подготовки кадров для противопожарной службы: материалы ВНПК. — М.: ВИПТШ МВД России, 1995. — С. 135–136.
5. **Блудина, Н. А.** Методика комплексного анализа деятельности предприятия с дивизионной структурой управления: дис. ... канд. экон. наук / *Н. А. Блудина*. — М.: РГБ, 2004.
6. **Илюшин, А. В.** Информатизация процесса принятия управленческого решения: дис. ... канд. социол. наук / *А. В. Илюшин*. — М.: РГБ, 2003. — 193 с.
7. **Крынжин, Р. В.** Трансформирующаяся система управления и организационная структура предприятия: механизм системного взаимодействия: дис. ... канд. экон. наук / *Р. В. Крынжин*. — Ростов-на-Дону: РГБ, 2006. — 176 с.
8. **Шилов, Г. А.** Совершенствование организационной структуры управления и инструментария оценки ее эффективности: дис. ... канд. экон. наук / *Г. А. Шилов*. — М.: РГБ, 2006. — 158 с.
9. **Наборщикова, Ю. В.** Управление рисками в стратегии реструктуризации промышленного предприятия: дис. ... канд. экон. наук / *Ю. В. Наборщикова*. — М.: РГБ, 2006. — 174 с.
10. Практическое наставление брендмейстерам. — СПб.: Типография В. Плавильщикова, 1818. — 191 с.
11. **Чехов, А.** Исторический очерк пожарного дела в России / *А. Чехов*. — СПб.: Типо-Дитография Р. Голикс, 1892. — 151 с.
12. Пожарная тактика в вопросах и ответах. — М.: НКВД РСФСР, 1929. — 63 с.
13. **Лунц, Э. Э.** Пожарная тактика. Правила тушения пожаров в вопросах и ответах / *Э. Э. Лунц, П. А. Федотов*. — СПб.: Типография Т-ва МО Вольфь, 1907. — 48 с.
14. **Требезов, Н. П.** Пожарная тактика / *Н. П. Требезов*. — М.: НКВД РСФСР, 1928. — 360 с.
15. **Теребнёв, В. В.** Пожарная тактика в примерах / *В. В. Теребнёв, А. В. Подгрушный, В. А. Грачёв* [и др.]. — М.: Пожнаука, 2007. — 412 с.
16. Боевой устав пожарной охраны. БУПО 38. — М.: НКВД СССР, 1938. — 127 с.
17. Боевой устав пожарной охраны. БУПО 40. — М.: НКВД СССР, 1940. — 70 с.
18. Боевой устав пожарной охраны. БУПО 53. — М.: МВД СССР, 1953. — 142 с.
19. Боевой устав пожарной охраны. БУПО 70. — М.: МВД СССР, 1970. — 151 с.
20. Боевой устав пожарной охраны. БУПО 85. — М.: МВД СССР, 1985. — 181 с.
21. Боевой устав пожарной охраны. БУПО 95. — М.: МВД России, 1995. — 47 с.

Поступила в редакцию 02.06.08.



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



Аспирант Томского
политехнического университета
П. А. Стрижак

УДК 536.468

ВЛИЯНИЕ ФАЗОВОГО СОСТОЯНИЯ ЧАСТИЦ МЕТАЛЛОВ НА УСЛОВИЯ ЗАЖИГАНИЯ ПОЖАРООПАСНЫХ ЖИДКОСТЕЙ

Выполнено теоретическое исследование основных закономерностей процесса зажигания типичной пожароопасной жидкости — керосина — одиночными “горячими” металлическими частицами. Установлено влияние кристаллизации частиц на характеристики зажигания жидкого топлива. Определены минимальные значения температур частиц, при которых влияние кристаллизации источника зажигания незначительно.

Введение

Сварка и резка металлов являются одними из основных технологических процессов при изготовлении различных строительных металлических конструкций [1]. Применение в ходе этих работ мощных, высококонцентрированных, высокотемпературных источников тепла приводит к интенсивному расплавлению материалов и их значительному перегреву выше температуры плавления (1000–2500 К) [2]. При этом довольно часто сварка и резка сопровождаются образованием капель расплавленного металла (жидких частиц), имеющих температуру существенно выше температуры их плавления [3].

Строительные работы со сваркой и резкой металлоконструкций проводятся на полигонах при наличии различных горючих жидкостей, в частности жидких топлив. Вероятность воспламенения последних в таких условиях высока. Процессы взаимодействия типичных пожароопасных жидкостей с углеродистыми нагретыми до высоких температур частицами рассматривались ранее [4, 5]. В результате выполненных численных исследований установлена высокая пожароопасность этих процессов. Однако в работах [4, 5] не учитывалась вся совокупность физико-химических процессов при воспламенении жидкостей, в частности не рассматривались возможные процессы кристаллизации источника зажигания. Это обусловлено существенной сложностью механизмов тепло- и массопереноса и химических реакций окисления в рассматриваемых условиях [6]. В зависимости от

температуры частица металла может находиться в твердом или расплавленном состоянии. В этих случаях выделение теплоты кристаллизации может существенным образом повлиять на условия зажигания.

Целью данной работы является теоретическое исследование влияния процесса кристаллизации “горячей” частицы на характеристики зажигания жидких топлив.

Постановка задачи

Физическая постановка задачи предполагает, что одиночная металлическая частица падает на поверхность жидкого топлива (рис. 1, а). В зависимости от материала, размеров и температуры частицы она может частично (рис. 1, б) или полностью погрузиться в жидкость. Между частицей и поверхностью жидкости формируется паровая прослойка, характерные размеры которой зависят от теплофизических и термодимических свойств топлива, температуры, размеров и материала частицы.

Математическая постановка задачи зажигания жидкости в рассматриваемом случае (см. рис. 1) соответствует системе дифференциальных уравнений, представленной в работе [5], за исключением уравнения теплопроводности для частицы, а также граничных и начальных условий:

$$\frac{Y_1}{L} < Y < \frac{Y_2}{L}, \quad \frac{X_1}{H} < X < 1;$$

$$\frac{Y_2}{L} < Y < 1, \quad 0 < X < 1;$$

$$\frac{1}{Sh} \frac{\partial \Omega}{\partial \tau} + U \frac{\partial \Omega}{\partial X} + V \frac{\partial \Omega}{\partial Y} = \frac{1}{Re} \left(\frac{\partial^2 \Omega}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \Omega}{\partial Y^2} \right) + \frac{Gr}{Re^2} \frac{\partial \Theta}{\partial X}; \quad (1)$$

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

$$\frac{1}{Sh} \frac{\partial \Theta_5}{\partial \tau} + U \frac{\partial \Theta_5}{\partial X} + V \frac{\partial \Theta_5}{\partial Y} = \frac{1}{Re \cdot Pr} \left(\frac{\partial^2 \Theta_5}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \Theta_5}{\partial Y^2} \right) + \frac{Q_{\text{вос}} W_{\text{вос}} H}{\rho_5 C_5 \Delta T V_0}; \quad (3)$$

$$\frac{1}{Sh} \frac{\partial C_2}{\partial \tau} + U \frac{\partial C_2}{\partial X} + V \frac{\partial C_2}{\partial Y} = \frac{1}{Re \cdot Sc} \left(\frac{\partial^2 C_2}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 C_2}{\partial Y^2} \right) - \frac{W_{\text{вос}} H}{\rho_5 V_0}; \quad (4)$$

$$\frac{Y_1}{L} < Y < \frac{Y_2}{L}, \quad 0 < X < \frac{X_1}{H},$$

$$\frac{1}{Fo_2} \frac{\partial \Theta_2}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 \Theta_2}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \Theta_2}{\partial Y^2} + \frac{Q_{\text{кр}} W_{\text{кр}} H}{L_4 \Delta T \lambda_2}; \quad (5)$$

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

$$\frac{1}{Fo_3} \frac{\partial \Theta_3}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 \Theta_3}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \Theta_3}{\partial Y^2}. \quad (6)$$

Здесь ΔT — разность температур, $\Delta T = T_q - T_0$, К; T_q — начальная температура частицы, К; T_0 — начальная температура воздуха и жидкости, К; C_2 — концентрация паров жидкого горючего в воздухе, $0 < C_2 < 1$; Θ — безразмерная температура; Ω — безразмерный аналог вектора вихря; Ψ — безразмерный аналог функции тока; X и Y — безразмерные аналоги x и y ; U и V — безразмерные составляющие скорости паров горючего в проекции на ось x и y соответственно; C — удельная теплоемкость, Дж/(кг·К); λ — теплопроводность, Вт/(м·К); ρ — плотность, кг/м³; $Q_{\text{вос}}$ — тепловой эффект реакции воспламенения, МДж/кг; $W_{\text{вос}}$ — массовая скорость окисления паров горючего в среде окислителя, кг/(м³·с); V_0 — масштаб скорости конвекции паров горючего вблизи поверхности жидкости, м/с; t_0 — начальное время, с; t_3 — время задержки воспламенения, с; τ — безразмерное время; $W_{\text{кр}}$ — массовая скорость кристаллизации частицы, кг/(м²·с); $Q_{\text{кр}}$ — тепловой эффект кристаллизации источника зажигания, кДж/кг; H_c , L_c — размеры частицы, м; H , L — размеры области решения, м; Sh , Re , Gr , Pr , Sc , Fo — число Струхала, Рейнольдса, Грасгофа,

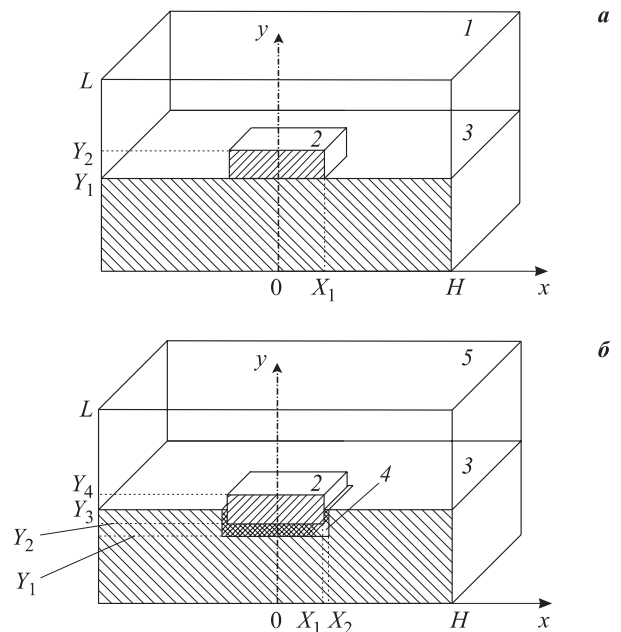


Рис. 1. Схема области решения задачи в начальный момент времени ($t = 0$) (а) и при $0 < t < t_3$ (б): 1 — воздух; 2 — частица; 3 — жидкое горючее вещество; 4 — слой паров горючего; 5 — парогазовая смесь

Прандтля, Шмидта, Фурье соответственно; индексы “1”, “2”, “3”, “4”, “5” соответствуют воздуху, частице, горючей жидкости, парам горючего вещества, смеси паров горючего с воздухом (см. рис. 1).

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

$$0 < Y < \frac{Y_1}{L}, \quad 0 < X < 1 \quad \Theta_3 = \Theta_0; \quad (7)$$

$$\frac{Y_1}{L} < Y < \frac{Y_2}{L}, \quad 0 < X < \frac{X_1}{H} \quad \Theta_2 = \Theta_4; \quad (8)$$

$$\frac{Y_1}{L} < Y < \frac{Y_2}{L}, \quad \frac{X_1}{H} < X < 1; \quad \begin{cases} \Theta_1 = \Theta_0, \\ C_2 = 0, \\ \Psi = 0, \\ \Omega = 0. \end{cases} \quad (9)$$

На границах “частица – пары горючего” ($Y = Y_2/L$, $0 < X < X_1/H$; $X = X_1/H$, $Y_2/L < Y < Y_3/L$), “частица – парогазовая смесь” ($Y = Y_4/L$, $0 < X < X_1/H$; $X = X_1/H$, $Y_3/L < Y < Y_4/L$) выставлялись граничные условия IV рода для уравнений энергии и теплопроводности, условие равенства нулю градиента соответствующих функций — для уравнений диффузии, движения, Пуассона. На границах “жидкость – пары горючего” ($Y = Y_1/L$, $0 < X < X_2/H$; $X = X_2/H$, $Y_1/L < Y < Y_3/L$), “парогазовая смесь – жидкость” ($Y = Y_3/L$, $X_2/H < X < 1$) для уравнения энергии задавались граничные условия IV рода с учетом испарения жидкости, а для уравнений диффузии, движения, Пуассона — граничные условия

II рода. На оси симметрии и границах ($Y = 0, Y = 1, 0 < X < 1; X = 1, 0 < Y < 1; Y = Y_3/L, X_1/H < X < X_2/H$) для всех уравнений принималось условие равенства нулю градиента соответствующих функций.

Массовая скорость кристаллизации частицы рассчитывалась по формуле:

$$W_{кр} = V_{кр} \rho_2, \quad (10)$$

где $V_{кр}$ — линейная скорость кристаллизации частицы, м/с.

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

$$V_{кр} = \frac{\delta(x, y, t + \Delta t) - \delta(x, y, t)}{\Delta t}, \quad (11)$$

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

Метод решения

Система уравнений (1)–(6) с соответствующими начальными и граничными условиями решена методом конечных разностей [7]. Для решения разностных аналогов дифференциальных уравнений использован локальноодномерный метод [7]. Система одномерных разностных уравнений решена методом прогонки с применением неявной четырехточечной разностной схемы [7] совместно с методом итераций [8].

Результаты и обсуждение

Численное моделирование исследуемого процесса в рамках представленной модели (см. рис. 1) выполнено при следующих значениях теплофизических и термохимических характеристик взаимодействующих веществ [9–12]:

- воздух: $C_1 = 1190$ Дж/(кг·К), $\rho_1 = 1,161$ кг/м³, $\lambda_1 = 0,026$ Вт/(м·К);
- алюминий: $C_2 = 900$ Дж/(кг·К), $\rho_2 = 2700$ кг/м³, $\lambda_2 = 98$ Вт/(м·К), $Q_{кр} = 399,4$ кДж/кг;
- сталь: $C_2 = 470$ Дж/(кг·К), $\rho_2 = 7831$ кг/м³, $\lambda_2 = 49$ Вт/(м·К), $Q_{кр} = 205$ кДж/кг;
- керосин: $C_3 = 2190$ Дж/(кг·К), $\rho_3 = 885$ кг/м³, $\lambda_3 = 0,117$ Вт/(м·К), $C_4 = 2370$ Дж/(кг·К), $\rho_4 = 2,8$ кг/м³, $\lambda_4 = 0,028$ Вт/(м·К), $Q_{вос} = 43,8$ МДж/кг, $E = 190$ кДж/моль, $k_0 = 7 \cdot 10^7$ с⁻¹, $M = 166,2$ кг/кмоль, $Q_{исп} = 26,1$ кДж/кг, $\beta = 0,00096$ °С⁻¹.

Численный анализ исследуемого процесса в рамках рассматриваемой задачи зажигания (см. рис. 1) состоял в установлении масштабов влияния процесса кристаллизации источника зажигания на время задержки воспламенения. Моделирование вы-

Таблица 1. Время задержки воспламенения в системе “алюминиевая частица – керосин – воздух” в зависимости от T_q при $H_q = 4$ мм, $L_q = 1$ мм

T_q, K	1000	975	950	925	900	875
t_3^*, c	1,866	1,981	2,347	2,714	3,426	Нет воспламенения
t_3^{**}, c	1,645	1,778	2,123	–	–	–
$\Delta, \%$	11,78	10,24	9,54	–	–	–

* — без учета кристаллизации; ** — с учетом кристаллизации; Δ — отклонение.

Таблица 2. Время задержки воспламенения в системе “стальная частица – керосин – воздух” в зависимости от T_q при $H_q = 4$ мм, $L_q = 1$ мм

T_q, K	2000	1900	1800	1700	1600	1500	1250	1000
t_3^*, c	0,639	0,718	0,833	0,987	1,012	1,116	1,425	1,603
t_3^{**}, c	0,454	0,552	0,707	0,850	0,916	–	–	–
$\Delta, \%$	28,95	23,11	15,12	13,88	9,48	–	–	–

* — без учета кристаллизации; ** — с учетом кристаллизации; Δ — отклонение.

полнено при размерах частицы $H_q = 4$ мм, $L_q = 1$ мм и области решения $H = 10$ мм, $L = 20$ мм.

В качестве иллюстрации результатов численного моделирования в табл. 1 представлена зависимость времени задержки воспламенения от начальной температуры алюминиевой частицы. В табл. 2 приведена аналогичная зависимость для стальной частицы.

Анализ полученных значений времени задержки воспламенения позволяет сделать вывод о том, что за счет дополнительного тепла, выделяемого в результате кристаллизации источника зажигания, процессы тепло- и массопереноса в системе “металлическая частица – керосин – воздух” проходят более интенсивно. При этом в случае температур частиц до 950 К время задержки воспламенения в рассматриваемой системе (см. рис. 1) уменьшается относительно слабо (см. табл. 1 и 2). При температурах алюминиевой частицы более 930 К, стальной — более 1600 К время задержки воспламенения с учетом кристаллизации источника зажигания изменяется более значительно. Полученный результат можно объяснить тем, что температура плавления стали (1570–1680 К) существенно превышает аналогичный параметр для алюминия (850–940 К) [10]. В связи с этим процессы кристаллизации алюминиевой частицы начинаются при меньших температурах источника зажигания по сравнению со стальной частицей.

Из приведенных зависимостей (см. табл. 1, 2) можно сделать вывод о том, что при температурах

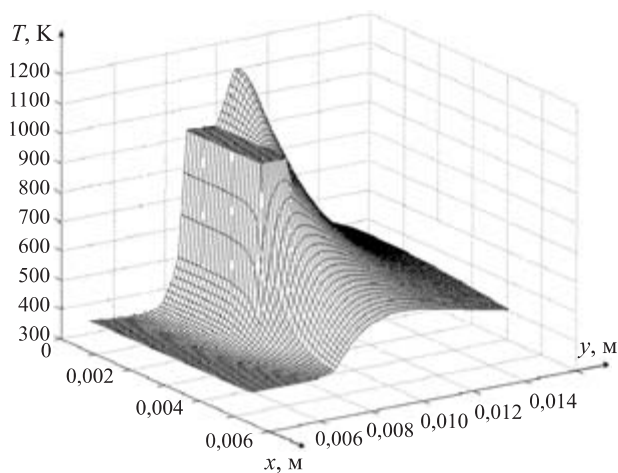


Рис. 2. Температурное поле системы “алюминиевая частица – керосин – воздух” в момент воспламенения ($t_3 = 1,645$ с) при $T_ч = 1000$ К, $H_ч = 4$ мм, $L_ч = 1$ мм

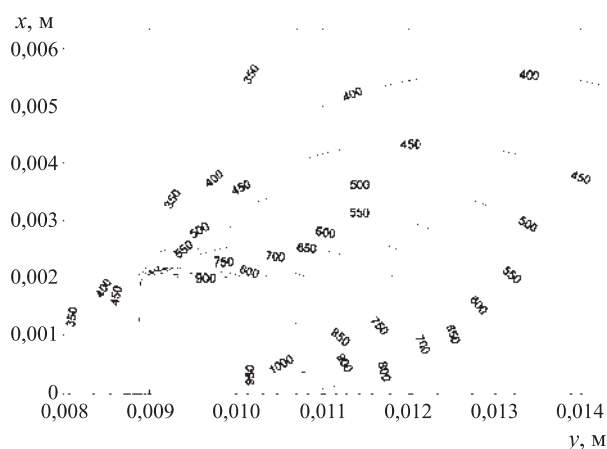


Рис. 3. Изотермы системы “алюминиевая частица – керосин – воздух” в момент воспламенения ($t_3 = 1,645$ с) при $T_ч = 1000$ К, $H_ч = 4$ мм, $L_ч = 1$ мм

металлических частиц, превышающих температуры плавления металлов, характеристики зажигания жидких топлив существенно меняются. Можно прогнозировать, что время задержки воспламенения в рассматриваемых случаях будет наименьшим при наличии не твердых нагретых до высоких температур частиц, а расплавленных металлических капель.

На рис. 2 и 3 представлены температурное поле и положение характерных изотерм в системе “алюминиевая частица — керосин — воздух” в момент воспламенения. Отчетливо видна зона воспламенения, которая располагается в газовой фазе над частицей в районе оси симметрии. В отличие от задач зажигания жидкости без учета кристаллизации “горячей” частицы [4, 5] в рассматриваемом случае (см. рис. 1) можно отметить небольшую удаленность зоны воспламенения от поверхности жидкости (см. рис. 2, 3). На рис. 2 хорошо видно изменение температуры источника зажигания с момента попадания его на поверхность жидкого топлива. Это объясняется тем, что за счет кристаллизации частицы выделяется дополнительное тепло в твердой фазе и, как следствие, температура источника зажигания увеличивается на несколько градусов.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что моделирование исследуемого процесса возможно при допущении отсутствия кристаллизации источника зажигания только при температурах частиц ниже температур плавления соответствующих металлов. Анализируя влияние кристаллизации частицы на характеристики зажигания, можно предположить, что полученные закономерности для алюминиевой и стальной частиц будут соответствовать и другим металлическим частицам.

Заключение

Результаты выполненных теоретических исследований процессов зажигания при взаимодействии нагретых металлических частиц с типичной пожароопасной жидкостью дают основания для вывода о том, что при температурах частиц, превышающих температуры плавления металлов, на характеристики зажигания жидкостей существенно влияют процессы кристаллизации источника зажигания. Представленная математическая модель достаточно полно описывает исследуемый процесс и может быть использована для решения задач зажигания различных жидких горючих веществ.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. **Хренов, К. К.** Сварка, резка и пайка металлов / К. К. Хренов. — М.: Машиностроение, 1970. — 408 с.
2. **Ерохин, А. А.** Основы сварки плавлением. Физико-химические закономерности / А. А. Ерохин. — М.: Машиностроение, 1973. — 443 с.
3. **Куликов, В. П.** Технология сварки плавлением / В. П. Куликов. — Минск: Дизайн ПРО, 2000. — 256 с.
4. **Кузнецов, Г. В.** Математическое моделирование зажигания жидкого горючего вещества нагретой до высоких температур частицей / Г. В. Кузнецов, П. А. Стрижак // Изв. вузов. Физика. — 2007. — №9/2. — С. 103–112.

5. **Кузнецов, Г. В.** Воспламенение пожароопасной жидкости одиночной “горячей” частицей / Г. В. Кузнецов, П. А. Стрижак // Пожаровзрывобезопасность. — 2007. — Т. 16, № 6. — С. 13–20.
6. **Вилунов, В. Н.** Теория зажигания конденсированных веществ / В. Н. Вилунов. — Новосибирск: Наука, 1984. — 190 с.
7. **Самарский, А. А.** Теория разностных схем / А. А. Самарский. — М.: Наука, 1983. — 616 с.
8. **Коздоба, Л. А.** Методы решения нелинейных задач теплопроводности / Л. А. Коздоба. — М.: Наука, 1975. — 227 с.
9. **Варгафтик, Н. Б.** Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей / Н. Б. Варгафтик. — М.: ООО “Старс”, 2006. — 720 с.
10. Теплотехнический справочник / Под ред. В. Н. Юренева, П. Д. Лебедева. — М.: Энергия, 1975. — Т. 1. — 743 с.
11. **Щетинков, Е. С.** Физика горения газов / Е. С. Щетинков. — М.: Наука, 1965. — 739 с.
12. **Корольченко, А. Я.** Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справочник / Под ред. А. Я. Корольченко, Д. А. Корольченко. — М.: Пожнаука, 2004. — Ч. 1. — 713 с.


Поступила в редакцию 25.04.08.

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

Издательство
«ПОЖНАУКА»
ПРЕДСТАВЛЯЕТ:

А.Я. Корольченко, Д.А. Корольченко
**Пожаровзрывоопасность веществ и материалов
и средства их тушения**

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



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



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

А. Н. Субботин

УДК 636.46:662.612.16

АНАЛИТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ЗАЖИГАНИЯ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ ПРОВОЛОЧКОЙ, НАГРЕВАЕМОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

Рассматривается математическая модель, описывающая процесс прогрева и зажигания твердого реагирующего вещества провололкой, нагреваемой разрядным током. Найдено аналитическое решение, на основе которого получены приближенные формулы для времени прогрева, температуры воспламенения, минимальной энергии, необходимой для зажигания, и минимального напряжения, при котором воспламеняется реагент. Получено согласие теоретических и известных экспериментальных данных.

Физико-математическая постановка задачи

Зажиганию конденсированных реагирующих веществ посвящено достаточно много публикаций, например [1–8] и др. Во всех этих работах, как экспериментальных, так и теоретических, исследуется зажигание нагретым телом конденсированного реагента. В статье [4] проводится исследование зажигания баллиститного пороха нагретыми провололками.

В отличие от постановки, рассматриваемой в статье [4], где напряжение и ток в цепи практически не меняются до момента зажигания, в данной работе ток и напряжение являются сильно изменяющимися функциями времени, т.е. рассматривается прямо противоположный по сравнению с публикацией [4] случай. Кроме того, в работе [4] исследуется конкретное взрывчатое вещество (ВВ) — баллиститный порох, что значительно снижает общность исследования.

Предположим, что провололка радиусом r_0 , находящаяся внутри конденсированного реагирующего вещества, включена в разрядный контур. При разрядке контура провололка нагревается и при определенных условиях может зажечь реагент. Поставим своей задачей проведение параметрического исследования критических условий зажигания провололкой, нагреваемой током: определение минимального начального напряжения конденсатора, которого достаточно для того, чтобы провололка зажгла реагирующее вещество, минимальной энер-

гии зажигания, времени и температуры воспламенения в зависимости от параметров задачи.

Пренебрегаем распределением температуры по радиусу провололки в силу высокой теплопроводности материала и вдоль ее оси, т.е. полагаем, что $L \gg r_0$ (L — длина провололки, м). Считаем, что начальные температуры провололки и реагирующего вещества одинаковы и равны T_n , реакционноспособная среда — эффективная бинарная смесь, теплофизические коэффициенты провололки и реагента постоянны, а газообразование до момента зажигания пренебрежимо мало, т.е. используется твердофазная модель зажигания. Скорость гомогенной реакции конденсированного вещества задавалась по закону Аррениуса [9].

При указанных выше предположениях математически постановка задачи будет состоять из уравнений теплопроводности и химической кинетики, которые запишем в безразмерном виде, используя преобразование [9]:

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

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

а граничные и начальные условия будут иметь вид:

$$\frac{d\theta_0}{d\tau} = \frac{2\pi c_p}{\delta} \left\{ \left. \frac{\partial \theta}{\partial x} \right|_{x=1} + \Delta i^2 R_n [1 + b(\theta_0 + \theta_n)] \right\},$$

$$\theta|_{x=x_{\infty}} = -\theta_n; \quad (3)$$

$$\theta|_{\tau=0} = \theta_0|_{\tau=0} - \theta_n, \quad \eta|_{\tau=0} = 0,$$

$$\theta|_{x=1} = \theta_0, \quad \eta|_{x=1} = \eta_0, \quad (4)$$

где $\theta_0 = \theta|_{x=1}$.

Первое граничное условие (3) представляет собой уравнение баланса энергии на границе раздела сред “проволочка – реагирующая среда”, записанное в безразмерном виде. Второй член правой части уравнения (3) — джоулева энергия, терминология взята из работы [10].

Систему уравнений (1) и (2) необходимо решать совместно с уравнениями для разрядной электрической цепи [10], которые также запишем в безразмерном виде:

$$\frac{du}{d\tau} = -gi, \quad \frac{di}{d\tau} = gu - giS_n \{R_k + R_n[1 + b(\theta_0 + \theta_n)]\}. \quad (5)$$

Систему уравнений (5) решаем при начальных условиях:

$$u|_{\tau=0} = 1, \quad i|_{\tau=0} = 0. \quad (6)$$

Первое уравнение условий (5) описывает первый закон Кирхгофа для разрядной цепи — уравнение непрерывности цепи, второе — второй закон Кирхгофа и представляет собой уравнение баланса напряжений в цепи.

При записи краевой задачи (1)–(6) в безразмерных переменных были введены следующие обозначения: $\delta = x_0^2$; $x_0 = r_0/r_*$ — безразмерный радиус проволоки; $r_* = \sqrt{\lambda RT_*^2 \exp(E/RT_*) / (qk_0 Ec_n^v)}$ — масштаб длины; r_0 — радиус проволоки, м; $x = y/r_0$ — безразмерная пространственная координата; $\tau = t/t_*$ — безразмерное время; $t_* = [c_p RT_*^2 \times \exp(E/RT_*)] / (qk_0 Ec_n^v)$ — масштаб времени, с; $\pi_{c_p} = c_p / (c_0 \rho_0)$ — безразмерная объемная теплоемкость реагента; c, ρ, λ — теплоемкость [Дж/(кг·К)], плотность [кг/м³] и теплопроводность [Вт/(м·К)] реагента соответственно; c_0, ρ_0 — теплоемкость [Дж/(кг·К)] и плотность [кг/м³] проволоки; $\gamma = c_p RT_*^2 / (q Ec_n^v)$ — безразмерные параметры; T_* — характерная температура, К; $\theta = (T - T_*)E / (RT_*^2)$, $\theta_n = (T_* - T_n)E / (RT_*^2)$ — безразмерные текущая и начальная температуры реагента; T_n — начальная температура реагента, К; $\eta = 1 - c/c_n$ — глубина превращения; c_n — начальная концентрация реагента; q — тепловой эффект реакции, Дж/кг; k_0 — предэкспоненциальный множитель, 1/с; v — порядок реакции; R — универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К); E — энергия активации, Дж/моль; $b = A(RT_*^2/E)$, $\Delta = \bar{\Delta} V_n^2$, $\bar{\Delta} = C_n R_n E / (2\pi L_n \lambda \times RT_*^2 L)$ — безразмерные параметры; A — темпера-

турный коэффициент сопротивления проволоки в диапазоне температур, 1/К; $u = V/V_n$ — безразмерное напряжение; V_n — начальное напряжение на обкладках конденсатора, В; $L_n = L_{n,np} + L_{n,k}$; $L_{n,np} = \frac{\mu_0 L}{2\pi} \ln\left(\frac{2L}{r_0} - 0,75\right)$, Гн; $L_{n,k}$ — начальная индуктивность проволоки и индуктивность подводящих шин и контура, Гн; C_n — емкость конденсатора или конденсаторной батареи, Ф; $i = \frac{J}{V_n} \left(\frac{L_n}{C_n}\right)^{0,5}$ — безразмерный ток в контуре; μ_0 — магнитная проницаемость вакуума, Гн/м; $R_n = R_{n,np} + R_{n,k}$; $R_{n,np} = \bar{\rho}_0 \frac{L}{\pi r_0^2}$ — начальное сопротивление проволоки; $R_{n,k}$ — сопротивление подводящих шин контура, Ом; $\bar{\rho}_0$ — удельное сопротивление проволоки, Ом·м; $S_n = R_n (C_n/L_n)^{0,5}$, $g = t_*/t_{эл}$ — безразмерные параметры; $t_{эл} = (L_n C_n)^{0,5}$ — характерное время разрядной цепи, с; $R_n = R_{n,np}/R_n$, $R_k = R_{n,k}/R_n$ — безразмерное начальное сопротивление проволоки и подводящих шин контура соответственно.

При решении данной задачи, так же как и в работе [8], будем использовать критерий зажигания:

$$\left. \frac{d\theta_0}{dt} \right|_{\tau=\tau_p} = 0, \quad (7)$$

где τ_p — безразмерное время прогрева.

Следовательно, необходимо определить такое значение параметра $\Delta = \Delta_*$, называемого пределом зажигания, когда при $\Delta < \Delta_*$ условие (7) не выполняется ни при каких значениях τ , а при $\Delta \geq \Delta_*$ выполняется, если $\tau = \tau_p$.

Решение задачи

Для простоты анализа пренебрегаем выгоранием реагента, считаем постоянными плотность теплового потока q_0 и сопротивление проволоки. Сопротивление проволоки можно взять в виде $\bar{R}_{n,np} = 0,5(R_{n,np} + R_{np}^*)$, где R_{np}^* — сопротивление проволоки при температуре воспламенения T_* , формула для которой будет приведена далее. Эти два допущения позволяют решать отдельно тепловую и электрическую части.

Таким образом, необходимо решить следующие две задачи:

а) уравнение теплопроводности

$$\frac{1}{\delta} \frac{\partial}{\partial x} \left(x \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) = \frac{\partial \theta}{\partial \tau} - \exp \theta \quad (8)$$

с начальными и граничными условиями

$$\theta|_{\tau=0} = \theta_0|_{\tau=0} = -\theta_n, \quad \theta|_{x=x_0} = -\theta_n,$$

$$\frac{d\theta_0}{d\tau} = \frac{2\pi_{cp}}{\delta} \left(\frac{\partial\theta}{\partial x} \Big|_{x=1} + q_0 \right); \quad (9)$$

б) систему обыкновенных дифференциальных уравнений для разрядной электрической цепи

$$\frac{du}{d\tau} = -gi, \quad \frac{di}{d\tau} = gu - gS_{ni} \quad (10)$$

с начальными условиями (6).

Решим вначале уравнение (8). Для этого перейдем к переменной $\xi = 1 - 1/x$, областью определения которой будет интервал $[0, 1]$. Необходимо заметить, что в данном случае не удастся решить задачу, используя понятие слоя конечной толщины, как это было сделано в работе [5]. По-видимому, это объясняется отсутствием теплового пограничного слоя при малых моментах времени (малых по сравнению со временем воспламенения). Поэтому решаем уравнение теплопроводности при помощи итерационно-интерполяционного метода [11], предварительно переписав краевую задачу (8) с начальными и граничными условиями (9) в виде:

$$\frac{1}{\delta} \frac{\partial^2}{\partial \xi^2} [(1 - \xi)^4 \theta] = \frac{\partial \theta}{\partial t} + \frac{1}{\delta} \left[12(1 - \xi)^2 - 7(1 - \xi)^3 \frac{\partial \theta}{\partial \xi} \right] - \exp \theta; \quad (11)$$

$$\theta|_{\tau=0} = -\theta_n, \quad \theta|_{\xi=1} = -\theta_n,$$

$$\frac{d\theta_0}{d\tau} = \frac{2\pi_{cp}}{\delta} \left(\frac{\partial \theta}{\partial \xi} \Big|_{\xi=0} + q_0 \right). \quad (12)$$

Задаем нулевое приближение линейной функцией

$$\theta^{(0)} = \theta_0 - (\theta_0 + \theta_n) \xi.$$

Подставляя нулевое приближение в правую часть уравнения (11) и интегрируя по ξ от $\xi = 0$ до $\xi = 1$, получим:

$$\frac{1}{\delta} \frac{\partial \theta}{\partial \xi} \Big|_{\xi=0} = \frac{\exp \theta_0 - \exp(-\theta_n)}{\theta_0 + \theta_n} - \frac{\theta_0}{2} - \frac{3}{4\delta} (\theta_0 + \theta_n). \quad (13)$$

Перепишем формулу (13) с учетом второго граничного условия (12):

$$\frac{\pi_{cp} + 1}{2\pi_{cp}} \theta_0 = -\frac{3}{4\delta} (\theta_0 + \theta_n) + \frac{q_0}{2} + \frac{\exp \theta_0 - \exp(-\theta_n)}{\theta_0 - \theta_n}. \quad (14)$$

Применяя к уравнению (14) условие зажигания (7), находим:

$$\delta = \frac{0,75(\theta_0 + \theta_n)^2 - (\theta_0 + \theta_n)q}{\exp \theta_0 - \exp(-\theta_n)}. \quad (15)$$

Отыскивая минимум δ , получим уравнение для определения значения $\theta_0 = \theta_{0*}$, при котором достигается минимум $\delta = \delta_*$:

$$[1,5(\theta_{0*} + \theta_n) - q_0](e^{\theta_{0*}} - e^{-\theta_n}) - [0,75(\theta_{0*} + \theta_n)^2 - (\theta_{0*} + \theta_n)q_0]e^{\theta_{0*}} = 0,$$

где δ_* — так называемый предел зажигания.

Если пренебречь членами более высокого порядка малости (член $e^{-\theta_n}$ много меньше члена $e^{\theta_{0*}}$ данного уравнения), то, решая последнее уравнение, получим:

$$\theta_{0*} = -\theta_n + 1 + \frac{2}{3}q_0 + \sqrt{1 + \frac{4}{9}q_0^2}. \quad (16)$$

В формуле (16) перед корнем взят знак плюс, в противном случае величина $\delta = x_{0*}^2$ будет отрицательной, что не имеет физического смысла.

Величина θ_{0*} есть наименьшая температура, достигаемая провололкой при зажигании.

Зная θ_{0*} , можно определить из уравнения (15) предел зажигания:

$$\delta_* = x_{0*}^2 = \frac{3}{2} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4}{9}q_0^2} \right) \times \exp \left(-\theta_n + 1 + \frac{2}{3}q_0 + \sqrt{1 + \frac{4}{9}q_0^2} \right). \quad (17)$$

Параметр θ_{0*} является безразмерной температурой воспламенения конденсированного реагирующего вещества, поэтому если в качестве характерной температуры T_* взять температуру воспламенения, то величина θ_{0*} будет равна нулю. Тогда, принимая во внимание уравнение (16), перепишем формулу (17) в виде:

$$\delta_* = x_{0*}^2 = \frac{3}{2} \theta_n - q_0 = \frac{3\theta_n^2}{4(\theta_n - 1)}, \quad (18)$$

где $q_0 = \frac{3\theta_n(\theta_n - 2)}{4(\theta_n - 1)}$, q_0 определено из уравнения (16) при $\theta_{0*} = 0$.

Таким образом, если удельный тепловой поток равен величине q_0 , определяемой по второй формуле (18), то при $x_0 < x_{0*}$ провололка не воспламенит реагент, а при $x_0 \geq x_{0*}$ — воспламенит. И наоборот, провололка радиусом $x_0 = x_{0*}$ воспламеняет реагент, если тепловой поток от проволочки больше или равен величине q_0 , определяемой формулой (18).

Формула (18) для δ_* получена в предположении, что характерная температура равна температуре воспламенения, поэтому, переходя в уравнении (18) от безразмерных величин к размерным, имеем

трансцендентное уравнение для определения размерной температуры воспламенения:

$$T_* = \frac{E}{R \ln \left\{ \frac{d_0^2 q k_0 c_n^v}{3\lambda(T_* - T_n)} \left[1 - \frac{RT_*^2}{T_* - T_n} \right] \right\}}. \quad (19)$$

Для умеренных значений τ решение уравнения (14) можно искать в виде ряда

$$\theta_0 = -\theta_n + \theta_{01}\tau + \theta_{02}\tau^2 + K \quad (20)$$

Подставляя ряд (20) в уравнение (14) и приравнявая выражения при одинаковых степенях τ , определим θ_{01} , θ_{02} ..., а решение (20) переписывается в виде:

$$\theta_0 = -\theta_n + \frac{2\pi_{cp}}{a+1} \left(\frac{q_0}{\delta} + e^{-\theta_n} \right) \tau - \frac{\pi_{cp}^2}{(a+1)^2} \left(\frac{q_0}{\delta} + e^{-\theta_n} \right) \left(\frac{3}{2\delta} + e^{-\theta_n} \right) \tau^2 + K$$

Применяя к полученному решению условие (7), определяем время прогрева:

$$\tau_p = \frac{2\delta(\pi_{cp} + 1)}{\pi_{cp}(3 - 2\delta e^{-\theta_n})}. \quad (21)$$

Формула (21) справедлива для любых значений T_* . Если взять в качестве характерной температуры T_* температуру воспламенения, определяемую по формуле (19), то, отбрасывая в (21) члены более высокого порядка малости, получим максимальное время прогрева (индукции):

$$\tau_{p \max} = \frac{\theta_n^2(a+1)}{2\pi_{cp}(\theta_n - 1)}. \quad (22)$$

Рассмотрим далее систему обыкновенных дифференциальных уравнений (10). Ее можно свести к одному характеристическому уравнению второго порядка, корни которого будут определены как:

$$\lambda_{1,2} = -\frac{gS_n}{2} \left(1 \pm \sqrt{1 - \frac{4}{S_n^2}} \right). \quad (23)$$

Поэтому решение системы (11) с учетом начальных условий (6) можно записать согласно [12], в зависимости от значения параметра S_n , в виде:

$$u = \left(\cos \frac{gS_n \sqrt{r_1}}{2} \tau + \frac{1}{\sqrt{r_1}} \sin \frac{gS_n \sqrt{r_1}}{2} \tau \right) \exp \left(-\frac{gS_n}{2} \tau \right),$$

$$i = \frac{\sin \frac{gS_n \sqrt{r_1}}{2} \tau}{\frac{S_n \sqrt{r_1}}{2}} \exp \left(-\frac{gS_n}{2} \tau \right) \quad \text{при } S_n < 2;$$

$$u = (1 + g\tau) \exp(-g\tau), \\ i = g\tau \exp(-g\tau) \quad \text{при } S_n = 2; \quad (24)$$

$$u = \left(\operatorname{ch} \frac{gS_n \sqrt{r_2}}{2} \tau + \frac{1}{\sqrt{r_2}} \operatorname{sh} \frac{gS_n \sqrt{r_2}}{2} \tau \right) \exp \left(-\frac{gS_n}{2} \tau \right),$$

$$i = \frac{\operatorname{sh} \frac{gS_n \sqrt{r_2}}{2} \tau}{\frac{S_n \sqrt{r_2}}{2}} \exp \left(-\frac{gS_n}{2} \tau \right) \quad \text{при } S_n > 2.$$

Здесь через r_1 и r_2 обозначены выражения

$$r_1 = \frac{4}{S_n^2} - 1, \quad r_2 = 1 - \frac{4}{S_n^2}.$$

Как следует из решения, точка $S_n = 2$ является особой для системы (10).

Количество тепла, которое выделяется провололкой за время прогрева, в нашем случае будет определяться по формуле:

$$Q = \Delta R_n \int_0^{\tau_p} i^2 dt.$$

Подставляя в данное уравнение i из решения системы (24), найдем количество тепла, которое выделяется провололкой за время прогрева, в зависимости от параметра S_n :

$$Q_1 = \frac{\Delta R_n}{2gS_n} \left[1 - \left(1 + \frac{2}{r_1} \sin^2 \frac{gS_n \sqrt{r_1}}{2} \tau_p + \frac{1}{\sqrt{r_1}} \sin gS_n \sqrt{r_1} \tau_p \right) e^{-gS_n \tau_p} \right], \quad S_n < 2;$$

$$Q_2 = \frac{4R_n}{4g} [1 - (1 + 2g\tau_p + 2g^2\tau_p^2) e^{-gS_n \tau_p}], \quad S_n = 2;$$

$$Q_1 = \frac{\Delta R_n}{2gS_n} \left[1 - \left(1 + \frac{2}{r_2} \operatorname{sh}^2 \frac{gS_n \sqrt{r_2}}{2} \tau_p + \frac{1}{\sqrt{r_2}} \operatorname{sh} gS_n \sqrt{r_2} \tau_p \right) e^{-gS_n \tau_p} \right], \quad S_n > 2. \quad (25)$$

Удельный тепловой поток q_0 , используемый в тепловой задаче, можно определять по формуле:

$$q_0 = \frac{\bar{Q}_j \Delta}{\tau_p}, \quad (26)$$

где $\bar{Q}_j = \frac{Q_j}{\Delta}$, $j = \begin{cases} 1, & \text{если } S_n < 2 \\ 2, & \text{если } S_n = 2 \\ 3, & \text{если } S_n > 2 \end{cases}$

Если подставить данное значение q_0 в формулу (18) для x_{0*} , то, учитывая выражение (21) для τ_p , найдем зависимость между минимальным напряжением конденсатора $V_{n \min}$ и безразмерным радиусом проволоочки x_{0*} , при котором еще возможно зажигание реагента:

$$V_{n \min} = \sqrt{\frac{(3\theta_n - 2x_{0*}^2)(\pi c_p + 1)\theta_n^2}{4a(\theta_n - 1)\bar{Q}_j \bar{\Delta}}}. \quad (27)$$

Зная радиус проволоочки r_0 , по формуле (19) определяем температуру воспламенения T_* , используя равенства (25) и (26), вычисляем \bar{Q}_j , а затем по формуле (27) находим минимальное напряжение конденсатора, необходимое для воспламенения реагента проволоочкой заданного радиуса.

На рисунке изображена зависимость температуры T_* вольфрамовой проволоочки от диаметра d_0 при воспламенении смеси перхлората аммония и крахмала, вычисленная из трансцендентного уравнения (19).

Из рисунка видно, что для проволоочек большого диаметра температура воспламенения слабо зависит от диаметра, но для них велико и время воспламенения. Следовательно, при больших временах зажигания температура воспламенения очень слабо зависит от времени зажигания. Поэтому становятся понятными результаты работы [13], в которой экспериментально исследовалось зажигание твердого горючего накаленной проволоочкой, когда времена зажигания составляли 1–18 с. На основе результатов данной работы делается вывод, что температура воспламенения проволоочкой диаметром 10^{-3} м постоянна (не зависит от времени зажигания). При более высоких скоростях нагрева, ведущих к более коротким временам зажигания, величина T_* в соответствии с теорией Н. Н. Семенова [14] должна увеличиваться. Согласно [14] эта зависимость имеет вид:

$$\ln t_z = E/RT_* + \text{const}, \quad (28)$$

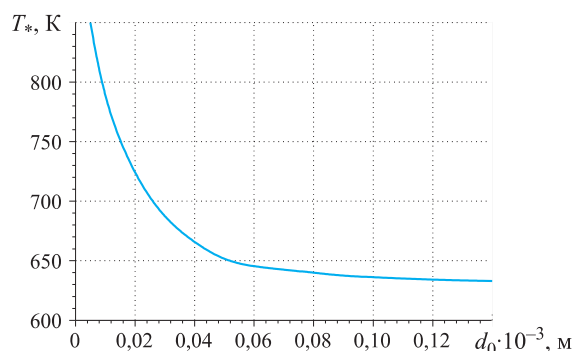
где t_z — время зажигания.

Аналогичный вывод можно сделать и из анализа рисунка. Видно, что при достаточно малых диаметрах проволоочек, т.е. при сравнительно малых временах зажигания, температура воспламенения сильно зависит от времени зажигания, а при больших — практически не зависит.

Следует заметить, что из выражения (22) получается зависимость для времени прогрева, близкая к зависимости (28):

$$\ln t_{p \max} = \frac{E}{RT_*} + \ln \frac{(\pi c_p + 1)(T_* - T_n) c_p}{2\pi c_p (1 - 1/\theta_n) q k_0 c_n^v}.$$

Анализируя рисунок, можно сделать вывод, что при зажигании смеси перхлората аммония и крах-



Зависимость от диаметра температуры вольфрамовой проволоочки при воспламенении смеси перхлората аммония и крахмала

мала принятая математическая модель справедлива для диаметров проволоочек $d_0 > 0,01 \cdot 10^{-3}$ м, так как при меньших диаметрах проволоочек температура воспламенения становится достаточно большой и необходимо учитывать выгорание реагента.

Для оценки погрешности температуры воспламенения, определяемой из уравнения (19), были проведены сравнения с известными литературными результатами. Так, в работе [4] температура проволоочки диаметром $0,2 \cdot 10^{-3}$ м в момент зажигания баллиститного пороха была равна 548–558 К. Решая же уравнение (19) при термокинетических параметрах, приведенных в работе [4], т.е. при $E = 138,27$ кДж/моль, $\lambda = 0,234$ Вт/(м·К), $qk_0 = 5,03 \cdot 10^{13}$ Вт/кг, получим $T_* = 528$ К. Таким образом, в данном случае температура проволоочки в момент воспламенения ниже экспериментальной менее чем на 5%. Это занижение можно объяснить тем, что уравнение (19) для T_* получено из критических условий и не учитывалось выгорание реагента. Следует заметить, что точность уравнения (19) понижается с уменьшением радиуса проволоочки, так как температура воспламенения становится выше и выгорание в большей степени влияет на решение. Так, например, для проволоочки диаметром $0,015 \cdot 10^{-3}$ м величина T_* , вычисленная по формуле (19) при данных Силберга [15] $T_n = 293$ К, $c = 419$ Дж/(кг·К), $\lambda = 0,0335$ Дж/(м·с·К), $\rho = 2500$ кг/м³, $q = 1,676 \cdot 10^6$ Дж/кг, $k_0 = 10^{11,05}$ 1/с, $E = 106426$ Дж/моль, равна 680 К. В работе [15] температура воспламенения равна 743 К, т.е. различие составляет уже 8,5%.

Выводы

Решена задача о зажигании конденсированного реагирующего вещества проволоочкой, нагреваемой электрическим током. Получены приближенные аналитические формулы для времени прогрева, температуры зажигания, минимальной энергии зажигания и минимального напряжения конденсатор-

ной батареи, при которых происходит зажигание. Сравнение по температуре воспламенения с известными экспериментальными результатами показало хорошее согласование теоретических и экспериментальных данных для проволочек диаметром $d_0 \geq 0,015 \cdot 10^{-3}$ м. Полученные формулы можно ис-

пользовать для оценки пожарной опасности конденсированных реагирующих веществ, контактирующих с проволочками, способными нагреваться, для оценки времени задержки зажигания конденсированных взрывчатых веществ и для расчета минимальной энергии их зажигания.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Гольдшлегер, У. И.** Зажигание конденсированных ВВ накаливаемыми сферическими частицами / У. И. Гольдшлегер, В. В. Барзыкин, Т. П. Ивлева // ФГВ. — 1973. — Т. 9, № 5. — С. 733–740.
2. **Зарко, В. Е.** Зажигание смеси перхлората аммония и крахмала накаливаемыми проволочками / В. Е. Зарко, С. С. Хлевной // ФГВ. — 1971. — Т. 7, № 4. — С. 605–606.
3. **Гольдшлегер, У. И.** Зажигание конденсированных веществ накаливаемыми телами конечных размеров / У. И. Гольдшлегер, К. В. Прибытков, В. В. Барзыкин // ФГВ. — 1973. — Т. 9, № 1. — С. 119–123.
4. **Зарко, В. Е.** Зажигание баллистического пороха накаливаемыми проволочками / В. Е. Зарко, С. С. Хлевной // ФГВ. — 1968. — Т. 4, № 2. — С. 158–170.
5. **Лоскутов, Г. С.** Сопряженная задача конвективного теплообмена между нагретой частицей и реакционноспособной средой / Г. С. Лоскутов, Т. С. Сандрыкина // Математическое моделирование аэротермохимических явлений. — М.: Изд-во ВЦ АН СССР, 1974. — С. 147–155.
6. **Исаков, Г. Н.** О воспламенении высокоэнергетических веществ при пробитии экранирующей оболочки высокоскоростным компактным телом / Г. Н. Исаков, А. Н. Субботин, Т. С. Сандрыкина // Международная научно-практическая конференция “Третьи Окуневские чтения”: Материалы докладов. — СПб.: Изд-во БГТУ “Воспмех”, 2002. — Т. 2. — С. 77–80.
7. **Кузнецов, Г. В.** Численное моделирование зажигания конденсированных веществ нагретой до высоких температур частицей / Г. В. Кузнецов, Г. Я. Мамонтов, Г. В. Таратушкина // ФГВ. — 2004. — Т. 40, № 1. — С. 78–85.
8. **Исаков, Г. Н.** Зажигание высокоэнергетических веществ нагретыми телами / Г. Н. Исаков, А. Н. Субботин // Пожарная безопасность. — 2007. — № 3. — С. 22–28.
9. **Франк-Каменецкий, Д. А.** Диффузия и теплопередача в химической кинетике / Д. А. Франк-Каменецкий. — М.: Наука, 1987. — 502 с.
10. **Дэвид, Э.** Расчет нагрева взрывающихся проволочек / Э. Дэвид // Взрывающиеся проволочки. — М.: Изд-во ин. литературы, 1963. — 341 с.
11. **Гришин, А. М.** Итерационно-интерполяционный метод и его приложения / А. М. Гришин, В. И. Зинченко, А. Н. Субботин [и др.]. — Томск: Изд-во ТГУ, 2004. — 319 с.
12. **Камке, Э.** Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям / Э. Камке. — М.: Наука, 1971. — 576 с.
13. **Альтман, Д.** Теория зажигания твердых горючих накаливаемой проволочкой / Д. Альтман, А. Грант // Вопросы горения и детонационных волн: Четвертый Международный симпозиум по вопросам горения и детонационных волн. — М.: Изд-во оборон. пром., 1958. — С. 126–129.
14. **Семенов, Н. Н.** Химическая кинетика и цепные реакции / Н. Н. Семенов. — М.: Госхимтехиздат, 1934. — 555 с.
15. **Silberg, H. L.** Numerical Calculation the Temperature Rise in Ignition by Not-Wires / H. L. Silberg, C. H. Jonansson // Arkiv for Fysik. — 1958. — В. 13, № 33. — P. 423–427.

Поступила в редакцию 24.04.08.



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

Г. В. Кузнецов



Ассистент
Томского политехнического
университета

А. В. Захаревич



Канд. техн. наук, старший
преподаватель Томского
политехнического университета

В. И. Максимов

УДК 536.468

ЗАЖИГАНИЕ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА ОДИНОЧНОЙ “ГОРЯЧЕЙ” МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ЧАСТИЦЕЙ

Излагаются методика и результаты экспериментального исследования закономерностей зажигания дизельного топлива “горячей” одиночной стальной частицей. Выявлена зависимость времени задержки зажигания этого пожароопасного вещества от начальной температуры частицы. Описан механизм взаимодействия одиночной нагретой частицы с жидким топливом.

Введение

Дизельное топливо является одной из широко используемых пожароопасных жидкостей. При этом до настоящего времени недостаточно проработаны научно-технические вопросы, связанные с проблемой воспламенения этого топлива при хранении, перегрузке и использовании. В частности, не установлены предельные условия его зажигания одиночными нагретыми до высоких температур частицами. Такие режимы зажигания возможны на практике достаточно редко, но именно они являются причиной большинства пожаров, связанных с дизельным топливом.

Целью данной работы является экспериментальное исследование процесса зажигания дизельного топлива одиночной нагретой до высоких температур стальной частицей.

Методика эксперимента

Для проведения эксперимента с данной пожароопасной жидкостью использовались экспериментальная установка и методика, описанные в публикации [1]. Частица — источник зажигания — представляла собой стальной диск диаметром d , равным $6 \cdot 10^{-3}$ м, и высотой h от $3 \cdot 10^{-3}$ до $9 \cdot 10^{-3}$ м. Высота и диаметр диска выбирались и зависели от количества жидкости таким образом, чтобы можно было варьировать площадь поверхности контакта частицы с топливом. Металлическая частица при падении в вертикальный сосуд ($h = 4 \cdot 10^{-2}$ м, $d = 5 \cdot 10^{-2}$ м) с дизельным топливом находилась в

твердом состоянии и не деформировалась. Эксперименты проводились в одинаковых и хорошо воспроизводимых условиях. Опыты выполнялись при температуре 26°C и относительной влажности 50%. Для повышения достоверности измерений опыты проводились 3–5 раз подряд в одинаковых условиях. Нагрев диска до заданной температуры осуществлялся в нагревательной печи, обеспечивающей стабильную температуру рабочего объема (до 1523 К) в течение продолжительного времени. Нагретая частица падала с фиксированной высоты 0,15 м в пожароопасную жидкость. Момент соприкосновения “горячей” стальной частицы с поверхностью дизельного топлива, находящегося в вертикальном стеклянном цилиндрическом сосуде, фиксировался датчиком воспламенения и цифровой видеокамерой. Время задержки зажигания τ_z определялось от момента контакта частицы с поверхностью пожароопасного вещества до момента появления пламени. Интервал между этими двумя моментами также фиксировался видеокамерой. Погрешность измерения начальной температуры частицы, оцениваемая по методике [2], не превышала 1–3%.

Результаты экспериментальных исследований

На рис. 1 и 2 представлены результаты экспериментов, иллюстрирующие закономерности процесса зажигания дизельного топлива одиночной нагретой до высоких температур частицей. Эксперимен-

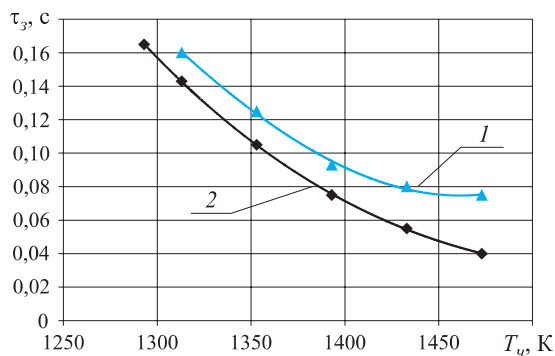


Рис. 1. Экспериментальная зависимость времени задержки зажигания τ_z дизельного топлива от начальной температуры частицы T_q ; 1 — $h = 3 \cdot 10^{-3}$ м; 2 — $h = 5 \cdot 10^{-3}$ м

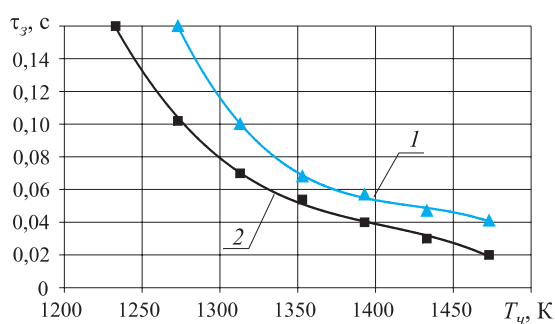


Рис. 2. Экспериментальная зависимость времени задержки зажигания τ_z дизельного топлива от начальной температуры частицы T_q ; 1 — $h = 7 \cdot 10^{-3}$ м; 2 — $h = 9 \cdot 10^{-3}$ м

ты показали устойчивый характер воспламенения исследовавшейся пожароопасной жидкости. После возникновения возгорания наблюдалось устойчивое горение топлива. Также необходимо отметить меньшие по сравнению, например, с керосином значения τ_z дизельного топлива. Времена задержки последнего не превышали во всех проведенных экспериментах 0,16 с. Для керосина эта величина составляет не менее 0,2 с.

Кривые на рис. 1 построены в результате аппроксимации экспериментальных данных. Некоторый разброс значений τ_z при $T_q = \text{const}$ связан с условиями входа частицы в дизельное топливо. Большие частицы входят в жидкость практически идеально во всех экспериментах. Маленькие же при ударе о поверхность топлива иногда отклоняются от траектории входа под прямым углом к поверхности. Чем больше масса частицы, тем более устойчиво она входит в жидкость — дизельное топливо. Наибольший разброс экспериментальных данных наблюдается у частицы диаметром $6 \cdot 10^{-3}$ м и высотой $3 \cdot 10^{-3}$ м. При $T_q > 1400$ К разброс экспериментальных значений τ_z уменьшается. Это иллюстрирует стабильное зажигание топлива вне зависимости от размера частицы. Кривые зависи-

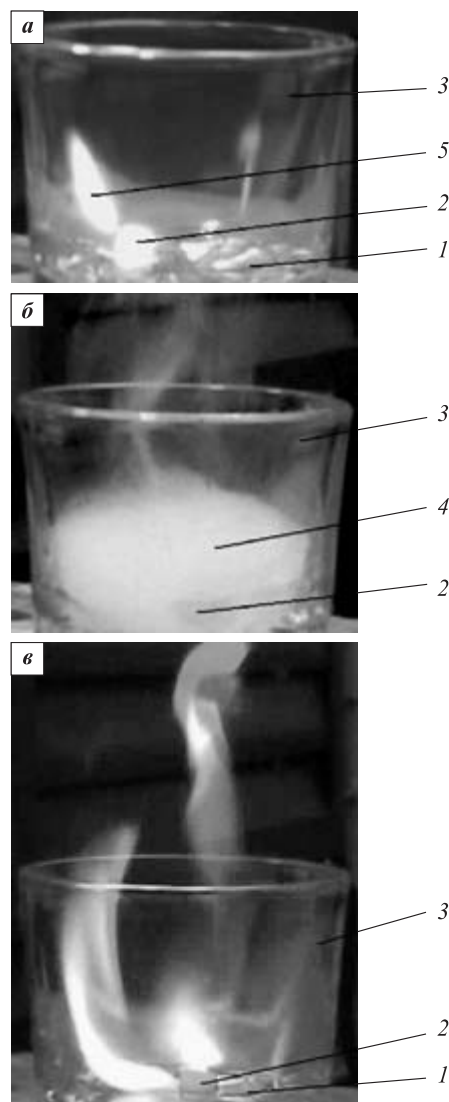


Рис. 3. Кадры видеороликов опытов с зажиганием (а), отсутствием зажигания (б) и стабильным горением (в) дизельного топлива при $h = 5 \cdot 10^{-3}$ м: 1 — дизельное топливо; 2 — металлическая частица; 3 — стеклянный вертикальный сосуд; 4 — пары дизельного топлива; 5 — пламя

мости $\tau_z(t)$ построены до значений температур, при которых происходило воспламенение. При меньших температурах воспламенение не зафиксировано. Например, при диаметре частицы-диска $6 \cdot 10^{-3}$ м и высоте $3 \cdot 10^{-3}$ м при $T_q < 1313$ К воспламенение отсутствует.

При увеличении высоты частицы-диска (при постоянном диаметре) пороговое значение T_q снижается (см. рис. 1 и 2), т.е. рост теплосодержания частицы приводит к уменьшению времени задержки воспламенения. На основании этих результатов можно сделать вывод о том, что зажигание определяется площадью поверхности контакта с пожароопасной жидкостью.

На рис. 3, а показан момент зажигания дизельного топлива стальной частицей. Оно происходит

вблизи поверхности дизельного топлива (у поверхности контакта с “горячей” стальной частицей). На рис. 3, б представлен результат опыта при относительно низкой $T_ч$ (< 1293 К). В этом случае воспламенение не произошло. Хорошо видно, что значительная часть сосуда, в котором находилось топливо, заполнена парами этой жидкости. При достигнутой температуре энергии, аккумулированной в частице, оказывается достаточно только для генерирования большого объема паров. Но температура паров недостаточна для воспламенения их смеси с воздухом. Полученные результаты показывают, что, скорее всего, зажигание дизельного топлива мелкими частицами, образующимися, например, при раздувании костров, невозможно. Температура таких частиц не превышает 1100 К. Устойчивое горение дизельного топлива после воспламенения при достаточно высокой температуре ($T_ч > 1293$ К) представлено на рис. 3, в.

Следует отметить, что механизмы воспламенения дизельного топлива и бензина существенно различаются. В описываемых экспериментах частица погружалась в жидкость до дна сосуда. Так как высота слоя топлива была меньше высоты частицы, то последняя зажигала жидкость, находясь в ней. Воспламенение же бензина в аналогичных условиях всегда происходит в паровой фазе до поверхности жидкости, т.е. частица не достигает поверхности испарения бензина. Данное различие, вероятно, обусловлено особенностями процессов фазовых переходов этих двух жидкостей. Скорость испарения бензина существенно выше, а теплота фазового перехода ниже по сравнению с дизельным топливом. Поэтому при одинаковых условиях нагрева паров бензина образуется больше, соответственно их концентрация в воздухе над поверхностью испарения существенно выше по сравнению с дизельным топливом при прочих равных условиях.

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что бензин является существенно более опасной в пожарном отношении жидкостью, так как его воспламенение может происходить и при пролете нагретой частицы над поверхностью испарения. Дизельное же топливо при малом времени задержки зажигания воспламеняется только при погружении частицы в приповерхностный слой.

Анализ полученных данных показывает, что воспламенение дизельного топлива должно происходить, например, практически при любых размерах частиц, образующихся в процессе сварки металлов на практике. Размеры этих частиц составляют обычно единицы миллиметров, но их температура существенно выше той, которая характеризовала состояние частиц в представленных экспериментах, поэтому проведение сварочных работ в непосредственной близости даже от мелких луж дизельного топлива недопустимо.

Заключение

На основании результатов проведенных экспериментальных исследований можно сделать вывод об устойчивом зажигании дизельного топлива одиночной нагретой до температур более 1320 К частицей. Воспламенение паров топлива происходит над верхней гранью частицы. Механизм воспламенения дизельного топлива существенно отличается от механизма зажигания бензина. Полученные данные позволяют также сделать вывод о высокой пожарной опасности сварочных работ в помещениях, используемых для хранения, перегрузки или переработки дизельного топлива.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. **Кузнецов, Г. В.** Зажигание жидкого пожароопасного вещества одиночной “горячей” металлической частицей / Г. В. Кузнецов, А. В. Захаревич, В. И. Максимов // Изв. вузов. Физика. — 2007. — № 9/2. — С. 90–95.
2. **Полежаев, Ю. В.** Тепловая защита / Ю. В. Полежаев, Ф. Б. Юревич. — М.: Энергия, 1976.

Поступила в редакцию 22.04.08.



Канд. хим. наук, доцент
Московского государственного
строительного университета
Т. Г. Бельцова



Соискатель
Московского государственного
строительного университета
О. Н. Корольченко

УДК 614.841.3:620.197.6

ПОКАЗАТЕЛИ ВОСПЛАМЕНЯЕМОСТИ ОГНЕЗАЩИЩЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ

Экспериментально по стандартной методике определены показатели воспламеняемости древесины, обработанной различными огнезащитными составами. Полученные данные сопоставлены с воспламеняемостью необработанной древесины. Установлен характер зависимости воспламеняемости от вида применяемых средств огнезащиты.

Группа воспламеняемости строительных материалов является одной из основных характеристик их пожарной опасности [1]. Этот показатель используется для оценки легкости возникновения пламенного горения под воздействием источника пламени и в соответствии со Строительными нормами для определения применимости материалов в различных помещениях общественных и промышленных зданий.

В соответствии со СНиП 21-01-97 [1] по воспламеняемости строительные материалы в зависимости от величины критической плотности поверхностного теплового потока (КППТП), при котором происходит их воспламенение в стандартных условиях, разделены на три группы: трудновоспламеня-

емые, умеренновоспламеняемые и легковоспламеняемые (табл. 1).

Опыты с образцами огнезащитной древесины проводились по методике, предусмотренной стандартом [2], на установке, общий вид и схема которой показаны на рис. 1.

Таблица 1. Группы воспламеняемости строительных материалов

Группа воспламеняемости	КППТП, кВт/м
V1 — трудновоспламеняемые	35 и более
V2 — умеренновоспламеняемые	От 20 до 35
V3 — легковоспламеняемые	Менее 20

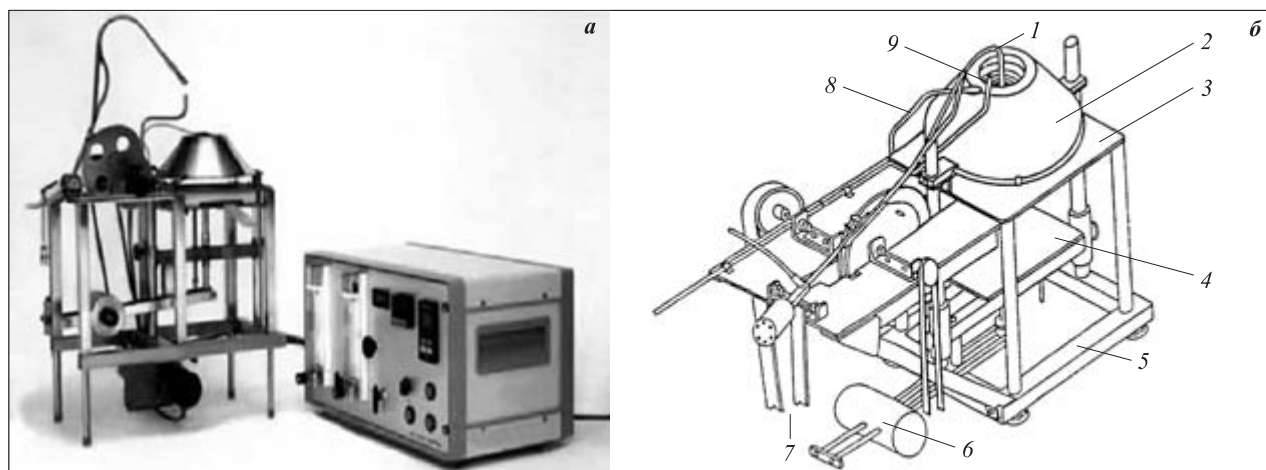


Рис. 1. Общий вид (а) и схема (б) установки для испытания строительных материалов на воспламеняемость: 1 — подвижная горелка; 2 — радиационная панель; 3 — защитная плита; 4 — подвижная платформа для образца; 5 — основание опорной станины; 6 — рычаг с противовесом; 7 — привод к электродвигателю; 8 — силовой кабель нагревательного элемента; 9 — вспомогательная горелка

Таблица 2. Испытанные огнезащитные составы

Наименование огнезащитного состава	Назначение	Внешний вид	Группа огнезащитной эффективности (при расходе, г/м ²)
Асфор	Пропитка	Прозрачная бесцветная вязкая жидкость плотностью 1,05 г/см ²	II (300)
Асфор-Экстра	Пропитка	Прозрачная бесцветная вязкая жидкость плотностью 1,2 г/см ²	I (350)
Пирилакс	Пропитка	Прозрачная слегка окрашенная жидкость плотностью 1,2 г/см ²	I (280)
Огракс ПД-1	Пропитка	Прозрачная жидкость желтого цвета	I (280)
ОЗК-45 Д	Покрытие	Водно-дисперсионная краска белого цвета	I (300)
МПВО	Покрытие	Паста серого цвета	I (700)
Огракс В-СК	Покрытие	Водно-дисперсионная краска белого цвета	I (200)
СГК-1	Покрытие	Двухкомпонентная система “лак-полуфабрикат – вспенивающийся наполнитель”	I (500)
Негорин	Огнезащитный лак	Прозрачная бесцветная жидкость	I (350)

Таблица 3. Результаты определения воспламеняемости огнезащищенной древесины

Наименование огнезащитного состава	Величина критического падающего теплового потока, кВт/м ²							
	12,5	15,0	17,5	20,0	22,5	25,0	27,5	30,0
	Время до воспламенения образца, с							
Древесина незащищенная	580	220	145	90	85	70	50	45
МПВО	нв*	140	125	120	110	100	100	90
Асфор	нв	210	150	145	120	90	70	65
Огракс В-СК	нв	нв	220	110	55	30	20	15
Негорин	нв	нв	370	60	55	50	50	45
Асфор-Экстра	нв	нв	нв	730	230	150	125	110
СГК-1	нв	нв	нв	220	120	80	60	60
Огракс ПД-1	нв	нв	нв	450	320	240	175	125
ОЗК-45 Д	нв	нв	нв	660	300	140	85	60
Пирилакс	нв	нв	нв	780	255	200	130	80

* нв — образцы не воспламенялись.

В экспериментах использовались промышленно выпускаемые огнезащитные составы. Наименования составов и их группы огнезащитной эффективности, определенные по НПБ 251–98 [3], приведены в табл. 2.

Огнезащитные составы наносились на предварительно высушенную сосновую древесину с расходами, рекомендованными фирмами-производителями для достижения заявленной группы огнезащитной эффективности (см. табл. 2).

Полученные в опытах данные представлены в табл. 3 и на рис. 2.

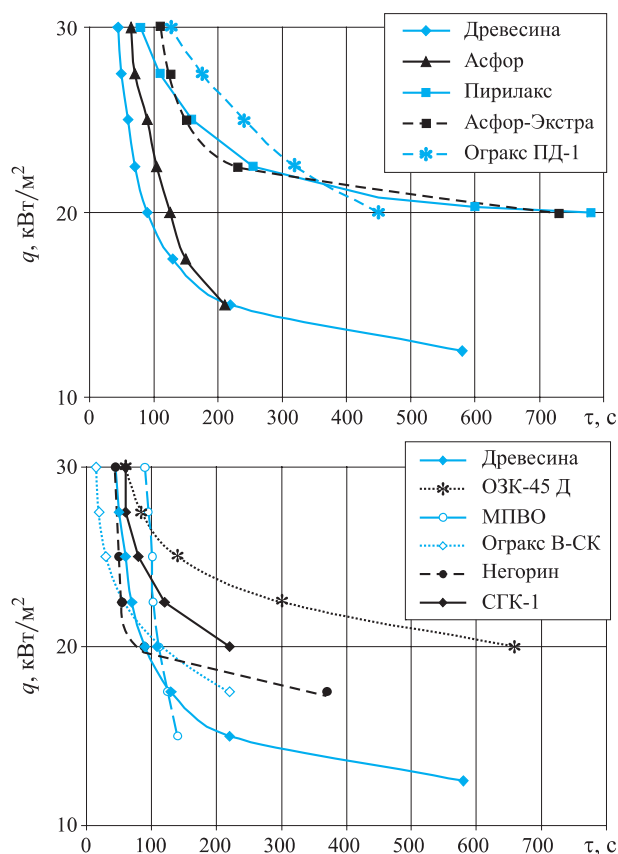


Рис. 2. Зависимость критической плотности поверхностного теплового потока q от времени воздействия на образец τ

Проанализируем полученные данные с учетом того, что процессу воспламенения древесины предшествует ее термическое разложение. При температуре до 125°С из древесины интенсивно испаряется влага, после этого она разлагается с выделением

газообразных веществ. До 200°C в продуктах термического разложения преобладают негорючие газы (главным образом, диоксид углерода), при более высоких — горючие. Поэтому обработка древесины огнезащитными составами преследует цели замедления скорости ее нагрева и препятствия выходу горючих продуктов.

Полученные результаты подтверждают известные представления о механизме действия огнезащитных составов. Во всех опытах зафиксировано увеличение поверхностной плотности падающих тепловых потоков, которые приводят к воспламенению древесины. Если незащищенная древесина воспламеняется при величине падающего теплового потока 12,5 кВт/м, то огнезащищенная — в интервале от 15 до 20 кВт/м (в зависимости от вида огнезащитного состава). При этом эффект огнезащиты проявляется в задержке времени воспламенения от начала воздействия падающего теплового потока до момента появления пламенного горения. Следует отметить, что эффект огнезащиты в реаль-

ных условиях будет проявляться в начальной стадии развития пожара, когда интенсивность горения очага пожара невелика и огнезащитные материалы сдерживают распространение огня. В развитой стадии пожара влияние огнезащитных составов невелируется.

На основании полученных данных можно сделать следующие выводы:

- обработка древесины огнезащитными составами (лаками, красками, покрытиями) сопровождается снижением ее воспламеняемости; увеличиваются критическая плотность поверхностного теплового потока и время до воспламенения;
- эффект огнезащиты проявляется в реакции древесины на воздействие малокалорийных источников зажигания;
- обработка древесины огнезащитными составами с расходами, соответствующими I группе огнезащитной эффективности по НПБ 251-98 [3], не приводит к изменению ее группы воспламеняемости.

ЛИТЕРАТУРА

1. **СНиП 21-01-97.** Пожарная безопасность зданий и сооружений.
2. **ГОСТ 30402-96.** Материалы строительные. Метод испытания на воспламеняемость.
3. **НПБ 251-98.** Огнезащитные составы и вещества для древесины и материалов на ее основе. Общие требования. Методы испытаний.

Поступила в редакцию 02.07.08.

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

Новая книга

ИЗДАТЕЛЬСТВА «ПОЖНАУКА»



А. Я. Корольченко,
О. Н. Корольченко

СРЕДСТВА ОГНЕЗАЩИТЫ. – 258 с.

Справочник предназначен для работников проектных организаций, специалистов в области огнезащиты и пожарной безопасности. В книге изложены требования нормативных документов к средствам и способам огнезащиты и проведению огнезащитных работ, в том числе по обеспечению огнестойкости и огнезащите строительных конструкций, методы испытаний огнезащитных составов, порядок лицензирования и сертификации в области огнезащиты, контроль качества и правила приемки огнезащитных работ.

В книге даны характеристики огнезащитных составов различного назначения. Рассмотрены их физические свойства, приведены огнезащитная эффективность, удельные расходы, представлены технологии нанесения, срок службы и стоимость.

В конце книги имеется перечень фирм-производителей средств огнезащиты.



Д-р техн. наук, профессор, начальник кафедры Академии Государственной противопожарной службы МЧС РФ
С. В. Пузач



Главный специалист отдела Центра обеспечения деятельности Федеральной противопожарной службы МЧС РФ
И. Е. Фролов



Канд. юрид. наук, доцент Академии Государственной противопожарной службы МЧС РФ
О. С. Лебедченко



Адъюнкт Академии Государственной противопожарной службы МЧС РФ
Е. С. Абакумов



Адъюнкт Академии Государственной противопожарной службы МЧС РФ
Нгуен Тхань Хай

УДК 614.841

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА МАССОВЫХ РАСХОДОВ СИСТЕМЫ ДЫМОУДАЛЕНИЯ ПРИ ПОЖАРЕ В ПОМЕЩЕНИИ

Проведен сравнительный анализ интегральных, зонных и эмпирических методов расчета массовых расходов системы дымоудаления при модельном пожаре в помещении. Показано, что при вдуве приточного воздуха в зону припотолочного слоя для недопущения распространения дыма в смежные помещения необходимо существенно увеличивать производительность системы дымоудаления. Отмечено, что моделирование области горения в виде точечного источника теплоты, расположенного ниже поверхности горения, дает некорректные результаты. Численные эксперименты показали необходимость проведения дальнейших исследований по учету в интегральном и зонном подходах захвата воздуха системой дымоудаления из зоны холодного воздуха через нижнюю границу припотолочного слоя вне конвективной колонки.

Эффективность работы системы дымоудаления и приточной вентиляции при пожаре в помещении определяется его объемно-планировочными решениями, геометрическими размерами и количеством дымоудаляющих и приточных отверстий, термодинамической картиной пожара и т.д.

Существующие методы расчета необходимых расходов удаляемой смеси продуктов горения, частиц дыма и приточного воздуха основаны на математических моделях расчета теплообмена при пожаре [1, 2] или на эмпирических формулах [2–4], полученных для конкретных условий проведения эксперимента и не отвечающих требованиям теории подобия процессов теплообмена [5], что ограничивает достоверность их применения.

В статье для модельного пожара проведено сопоставление результатов расчетов, выполненных по интегральной [1, 2, 6] и зонной [1–4, 7] моделям расчета термогазодинамики пожара и с использованием эмпирических формул [8, 9]. Полевой метод расчета [1] не рассматривается.

Интегральная модель расчета теплообмена

Используется модифицированная интегральная модель [1], в которой, в отличие от приведенной в работах [2, 10], расчет прогрева ограждающих конструкций помещения проводится с помощью решения двухмерных нестационарных уравнений теп-

лопроводности и неоднородность температурного поля по высоте помещения учитывается в более полном виде [6].

Уравнения законов сохранения массы и энергии для газовой среды помещения, а также закона сохранения массы кислорода с учетом действия систем дымоудаления и приточной вентиляции соответственно имеют вид [1, 2]:

$$V \frac{d\rho_m}{dt} = \Psi + G_a + \rho_a W_a - G_m - \rho_m W_m; \quad (1)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{p_m V}{k_m - 1} \right) = \Psi \eta Q_n^p + c_{pa} T_a (G_a + \rho_a W_a) - c_{pm} T_{mnp} (G_m + \rho_m W_m) - Q_s - Q_{np}; \quad (2)$$

$$V \frac{d(X_{O_2m} \rho_m)}{dt} = -\eta L_{O_2} \Psi + X_{O_2a} (G_a + \rho_a W_a) - X_{O_2mnp} (G_m + \rho_m W_m), \quad (3)$$

где τ — время, с;
 V — объем помещения, м³;
 Ψ — скорость газификации горючего материала, кг/с;
 G_a, G_m — массовые расходы поступающего воздуха и вытекающих наружу газов при естественном газообмене, кг/с;
 W_a, W_m — объемные расходы приточной вентиляции и дымоудаления, м³/с;
 ρ_a — плотность наружного воздуха, кг/м³;
 ρ_m — среднеобъемная плотность газовой среды помещения, кг/м³;
 p_m — среднеобъемное давление, Па;
 k_m — среднеобъемный показатель адиабаты газовой среды помещения;
 Q_n^p — низшая рабочая теплота сгорания горючего материала, Дж/кг;
 η — полнота сгорания;
 Q_s — суммарный тепловой поток, отводимый в ограждающие конструкции, Вт;
 Q_{np} — тепловой поток, излучаемый через проемы, Вт;
 $T_{mnp} = a_T T_m$ — средняя температура газов, выходящих через проемы, К;
 a_T — коэффициент, учитывающий отличие среднеобъемной температуры выходящих газов от среднеобъемной температуры газовой среды помещения;
 T_a — температура наружного воздуха, К;
 c_{pa}, c_{pm} — удельные изобарные теплоемкости воздуха и газовой среды, Дж/(кг·К);
 L_{O_2} — потребление кислорода, кг/кг;
 X_{O_2m} — среднеобъемная массовая концентрация кислорода в помещении;

X_{O_2a} — массовая концентрация кислорода в наружном воздухе;

$X_{O_2mnp} = a_{O_2} X_{O_2m}$ — средняя массовая концентрация кислорода в газах, выходящих через проемы;

a_{O_2} — коэффициент, учитывающий отличие среднеобъемной концентрации кислорода в выходящих газах от его среднеобъемной концентрации в газовой среде помещения.

Скорость тепловыделения находится по формуле [2]:

$$Q_{пож} = \eta \Psi_{y\delta} Q_n^p F_z, \quad (4)$$

где $Q_{пож}$ — скорость тепловыделения, Вт;

$\Psi_{y\delta}$ — удельная скорость выгорания, кг/(м²·с);
 F_z — площадь открытой поверхности горючего материала, м².

Полнота сгорания зависит от массовой концентрации кислорода [2] и в первом приближении может быть определена по формуле [1]:

$$\eta = \eta_o (2\bar{X} - \bar{X}^2), \quad (5)$$

где η_o — полнота сгорания на открытом воздухе;

$$\bar{X} = \frac{(X_{O_2m} - X_{O_2min})}{(X_{O_2a} - X_{O_2min})};$$

$X_{O_2min} = 0,14$ — массовая концентрация кислорода, когда прекращается горение.

При высоте нейтральной плоскости $z_n < z^* < z_6$ (“смешанный” режим газообмена) формула для массового расхода газов, выходящих через проем наружу, имеет вид [2]:

$$G_m = 2/3 \sqrt{2g\rho_m(\rho_a - \rho_m)} \xi b_{np} (z_6 - z^*)^{1,5}, \quad (6)$$

где g — ускорение свободного падения, м/с²;

ξ — коэффициент гидравлического сопротивления проема;

z — координата по высоте, отсчитываемая от уровня пола, м;

z_n, z_6 — координаты нижнего и верхнего краев открытого проема, м;

z^* — высота нейтральной плоскости, м;

b_{np} — ширина проема, м.

Начальные и граничные условия, а также метод численного решения замкнутой системы уравнений интегральной модели подробно приведены в работе [1].

Зонная модель расчета тепломассообмена

Используется трехзонная модель, в которой объем помещения разбит на зоны конвективной колонки, припотолочного слоя и холодного воздуха [2]. В отличие от метода расчета [2] учтено, что

нижняя граница припотолочного слоя может находиться ниже верхнего среза открытого проема. Аналогичный случай рассмотрен, например, в публикации [11].

Принципиальная схема тепломассообмена в помещении для трехзонной модели в случае работы системы дымоудаления и приточной вентиляции имеет вид, представленный на рис. 1. Стрелками показаны направления течения газовой смеси и тепловые потоки.

Для определения массовых расходов и средних температур газовой смеси в поперечных сечениях конвективной колонки использованы два подхода:

- точечный источник тепловыделения находится ниже поверхности горючего материала (полуэмпирический метод расчета [2, 4]);
- распределенный источник тепловыделения находится выше поверхности горючего материала (эмпирический [3] и полуэмпирический [7] методы).

В первом случае [2, 4] имеем:

$$G = 0,21 \left[\frac{g\rho_o^2 Q_{пож} (1 - \chi)}{c_p T_o} \right]^{1/3} (z + z_o)^{5/3}; \quad (7)$$

$$T = T_o + \frac{Q_{пож} (1 - \chi)}{c_p G}, \quad (8)$$

где G — расход газов через сечение струи, отстоящее по высоте от поверхности горючего материала на расстояние z , кг/с;

T — средняя температура в сечении конвективной колонки, К;

T_o — температура холодного воздуха в помещении, К;

ρ_o — плотность холодного воздуха в помещении, кг/м³;

c_p — изобарная теплоемкость газа, Дж/(кг·К);

$\chi = Q_{w1}/Q_{пож}$ — доля, приходящаяся на поступающую в ограждение теплоту от выделившейся в очаге горения;

z — координата поперечного сечения колонки, отсчитываемая от открытой поверхности горючего материала, м;

z_o — расстояние от фиктивного источника тепла до поверхности горючего материала, м;

g — ускорение свободного падения, м/с².

При втором подходе массовый расход в сечении конвективной колонки в случае использования эмпирического метода составит [3]:

- при $z > z_f$

$$G = 0,071 \left(\frac{Q_{пож} (1 - \chi)}{1000} \right)^{1/3} z^{5/3} + 1,8 \cdot 10^{-6} Q_{пож} (1 - \chi); \quad (9)$$

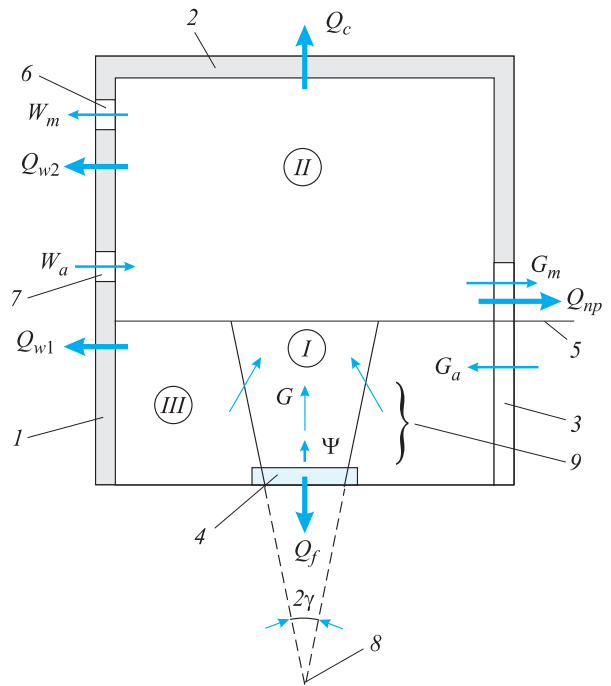


Рис. 1. Схема расчета тепломассообмена в помещении: I — стены; 2 — перекрытие; 3 — открытый проем; 4 — горючий материал; 5 — нейтральная плоскость (нижняя граница припотолочного слоя); 6 — система дымоудаления; 7 — система приточной вентиляции; 8 — точечный “фиктивный” источник теплоты; 9 — высота пламенной зоны; I — зона конвективной колонки; II — зона нагретого задымленного припотолочного слоя; III — зона холодного воздуха; Q_{w1} , Q_{w2} , Q_c , Q_f — тепловые потоки, отводящиеся в стены (ниже и выше нижней границы припотолочного слоя), потолок и пол соответственно

- при $z \leq z_f$

$$G = 0,032 \left(\frac{Q_{пож} (1 - \chi)}{1000} \right)^{3/5} z, \quad (10)$$

где $z_f = 0,166 \left(\frac{Q_{пож} (1 - \chi)}{1000} \right)^{2/5}$ — высота пламенной зоны, м.

При использовании полуэмпирического метода [7] массовый расход находится из решения дифференциального уравнения:

$$\frac{dG}{dz} = \frac{Bz(r + z \operatorname{tg}\gamma)^4}{T_o A G (G T_o + Bz)} + \frac{2G \operatorname{tg}\gamma}{r + z \operatorname{tg}\gamma} - \frac{B}{T_o} \left(1 - \frac{2z \operatorname{tg}\gamma}{r + z \operatorname{tg}\gamma} \right), \quad (11)$$

где $A = T_o R^2 / (g \rho_o^2 \pi^2)$ — размерный параметр, с²·м⁵/(кг²·К);

$B = Q_{пож} (1 - \chi) / (z_f c_p)$ — размерный параметр, кг·К/(м·с);

R — газовая постоянная воздуха, Дж/(кг·К);

r — радиус поверхности горючего материала, м;
 γ — угол полуоткрытия конвективной колонки, рад.

Средняя температура в сечении конвективной колонки определяется по формуле (8).

Высота нижней границы припотолочного слоя находится из решения обыкновенного дифференциального уравнения, полученного из закона сохранения энергии для припотолочного слоя:

$$\frac{dz_k}{d\tau} = -\frac{G_k}{\rho_o F_n} - \frac{Q_{\text{пож}}(1-\varphi)}{c_p \rho_o T_o F_n} + \frac{\rho_a T_a W_a}{\rho_o T_o F_n} - \frac{T_2(\rho_2 W_m + G_m)}{\rho_o T_o F_n}, \quad (12)$$

где z_k — высота до нижней границы припотолочного слоя от открытой поверхности горючего материала, м;

F_n — площадь потолка помещения, м²;

G_k — массовый расход газовой смеси, поступающей из конвективной колонки в припотолочную зону, кг/с;

T_2 — среднеобъемная температура в припотолочном слое, К;

ρ_2 — среднеобъемная плотность в припотолочном слое, кг/м³;

$\varphi = \frac{Q_{w1} + Q_{w2} + Q_c + Q_f}{Q_{\text{пож}}}$ — коэффициент

теплопотерь.

Начальное условие (при $\tau = 0$) имеет вид: $z_k = H - \delta$, где H — высота помещения, м; δ — толщина горючего материала, м.

Уравнение (12) решается численным методом Рунге – Кутты 4-го порядка точности.

Среднеобъемная температура и плотность в припотолочном слое находятся из решений дифференциального уравнения закона сохранения массы припотолочного слоя и уравнения состояния идеального газа соответственно:

$$V \frac{d\rho_2}{d\tau} = G_k + \rho_a W_a - G_m - \rho_2 W_m, \quad (13)$$

$$p_2 \approx p_o = \rho_2 R T_2, \quad (14)$$

где p_2 — давление в зоне II, Па;

p_o — давление наружного воздуха при $z = 0$, Па;

R — газовая постоянная (принимается, что газовые постоянные воздуха и смеси продуктов горения и воздуха равны [2]), Дж/(кг·К).

Эмпирические методы расчета расхода системы дымоудаления

Рассмотрим наиболее распространенные методы расчета, используемые в России и за рубежом.

Массовый расход системы дымоудаления в соответствии с работой [8] составит:

$$G_{sm} = C\beta d^{5/2} \left(\frac{T_2 - T_o}{T_2} \right)^{1/2} \left(\frac{T_o}{T_2} \right)^{1/2}, \quad (15)$$

где G_{sm} — массовый расход системы дымоудаления, кг/с;

d — глубина слоя дыма под вытяжным отверстием (толщина припотолочного слоя), м;

β — коэффициент, характеризующий расположение вытяжных отверстий;

$C = 3,13$.

Рекомендуется принимать $\beta = 2,0$ для вытяжных отверстий, расположенных на потолке вблизи стен или на стенах вблизи потолка, $\beta = 2,8$ — для вытяжных отверстий, расположенных на потолке вдали от стен [8].

Критический массовый расход системы дымоудаления, при котором еще нет захвата холодного воздуха из зоны III (система дымоудаления захватывает только газовую смесь из припотолочного слоя (зона II)), составляет [8]:

$$G_{cr} = \frac{1,33\rho_o \{gd^5 T_o (T_2 - T_o)\}^{1/2}}{T_2}, \quad (16)$$

где G_{cr} — критический массовый расход системы дымоудаления, кг/с.

Массовый расход системы дымоудаления согласно [9] определяется по формуле:

$$G_{sm} = 0,03Q_c^{3/5} z_e, \quad (17)$$

где Q_c — конвективная тепловая мощность очага горения, Вт;

z_e — высота незадымляемой зоны, м.

Производительность системы дымоудаления [9]:

$$G_{sm} = 0,188\Pi z_e^{3/2}, \quad (18)$$

где Π — периметр зоны горения, м.

Выражение (17) справедливо, когда $\Pi < 12$ м и $z_e < 4$ м [9].

Исходные данные для численного эксперимента

Рассматриваются модельные помещения:

- помещение размером 12×6×3 м: $F_z = 4$ м² (пожар, регулируемый нагрузкой) и $F_z = 25$ м² (пожар, регулируемый вентиляцией);
- помещение размером 24×12×6 м: $F_z = 15$ м² (пожар, регулируемый нагрузкой) и $F_z = 100$ м² (пожар, регулируемый вентиляцией).

Высота верхнего среза открытого проема (двери) составляет $z_e = 2$ м, ширина $b_{np} = 1,2$ м.

Свойства горючих материалов принимались по типовой базе горючей нагрузки [2] (здания I–II степеней огнестойкости; мебель + бытовые изделия): низшая рабочая теплота сгорания $Q_n^p = 13,8$ МДж/кг; удельная скорость выгорания $\psi_{yd} = 0,0145$ кг/(м²·с); потребление кислорода при горении $L_{O_2} = -1,03$; выделение окиси углерода $L_{CO} = 0,0022$; выделение двуокиси углерода $L_{CO_2} = 0,203$; удельное дымовыделение $W_{yd} = 270$ Нп·м²/кг; скорость распространения пламени $w_{пл} = 0,0108$ м/с.

Начальные условия задавались следующими: температура в помещении $T_o = 293$ К, давление в помещении $p = 101300$ Па.

Расчет по интегральной и зонной моделям проводился при одинаковых скоростях тепловыделения, определяемых по формулам (4) и (5) с учетом среднеобъемных массовых концентраций кислорода в помещении.

Рассматриваются два случая:

- работа системы дымоудаления без приточной вентиляции (приток воздуха в помещение через дверь в режиме естественной конвекции);
- работа системы дымоудаления с включенной приточной вентиляции (подача воздуха в припотолочный слой и приток воздуха в помещение через дверь в режиме естественной конвекции).

Производительность системы приточной вентиляции составляет 95% массового расхода дымоудаления.

Результаты численного эксперимента и их анализ

Расчет проводим до момента времени установления “квазистационарного” термогазодинамического режима пожара, когда изменений параметров газовой среды помещения практически нет.

На рис. 2 показаны зависимости скорости тепловыделения в очаге горения от массового расхода системы дымоудаления при выключенной приточной вентиляции. Из рис. 2 ясно, что увеличение расхода приводит к существенному повышению скорости тепловыделения при пожаре, регулируемом вентиляцией.

На рис. 3–6 представлены зависимости высоты нейтральной плоскости (нижней границы припотолочного слоя) от массового расхода системы дымоудаления в рассматриваемых помещениях в случаях включенной и выключенной приточной вентиляции при применении интегральной и зонной моделей. Включение приточной вентиляции означает поступление холодного воздуха в припотолочный слой дыма в количестве 95% массового расхода удаляемых газов, помимо этого поступление холодного воздуха в зону III происходит через открытые проемы в количестве, соответствующем режиму их

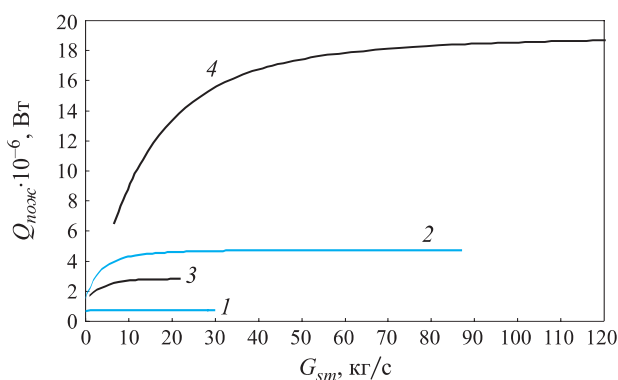


Рис. 2. Зависимость скорости тепловыделения в очаге горения от массового расхода системы дымоудаления: помещение размером 12×6×3 м: 1 — $F_z = 4$ м²; 2 — $F_z = 25$ м²; помещение размером 24×12×6 м: 3 — $F_z = 15$ м²; 4 — $F_z = 100$ м²

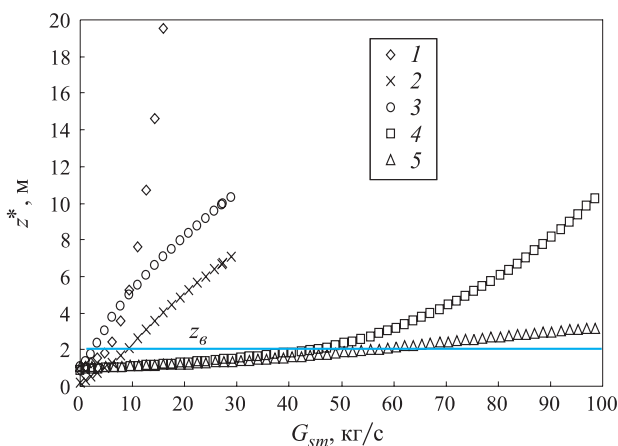


Рис. 3. Зависимость высоты нейтральной плоскости от массового расхода системы дымоудаления в помещении размером 12×6×3 м при $F_z = 4$ м²: $W_a = 0$: 1 — интегральная модель; 2 — зонная модель (уравнение (7)); 3 — зонная модель (уравнения (9), (10) или (11)); $W_a = 0,95G_{sm}/\rho_a$: 4 — интегральная модель; 5 — зонная модель (уравнения (9), (10) или (11))

работы. В случае же выключенной приточной вентиляции поступление холодного воздуха в помещение (зону III) осуществляется только через открытые проемы.

Применение полуэмпирического подхода (уравнение (7)) [2, 4], основанного на моделировании области горения в виде точечного источника теплоты, дает сходимость решения системы уравнений зонной модели только в случае помещения размером 12×6×3 м и $F_z = 4$ м² (рис. 3, кривая 2). Это объясняется тем, что максимальные расходы и температуры по сечению конвективной колонки при данном подходе находятся на поверхности горючего материала, что противоречит реальной термогазодинамической картине пожара [7].

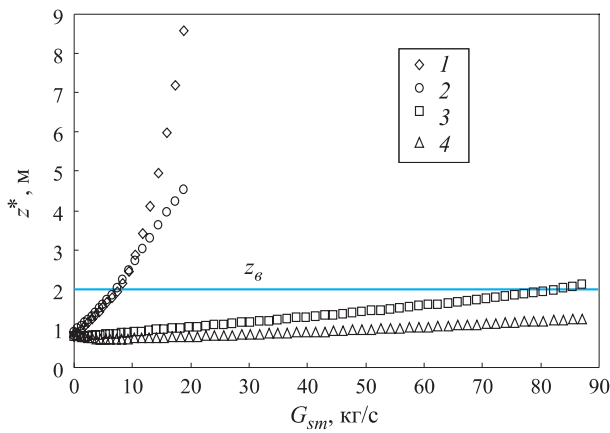


Рис. 4. Зависимость высоты нейтральной плоскости от массового расхода системы дымоудаления в помещении размером 12×6×3 м при $F_2 = 25 \text{ м}^2$; $W_a = 0$: 1 — интегральная модель; 2 — зонная модель (уравнения (9), (10) или (11)); $W_a = 0,95G_{sm}/\rho_a$: 3 — интегральная модель; 4 — зонная модель (уравнения (9), (10) или (11))

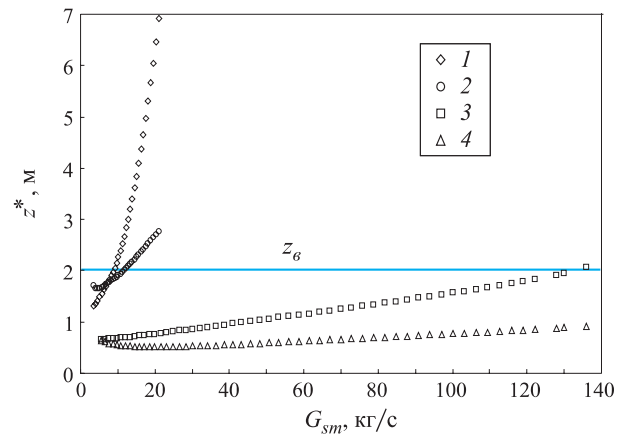


Рис. 6. Зависимость высоты нейтральной плоскости от массового расхода системы дымоудаления в помещении размером 24×12×6 м при $F_2 = 100 \text{ м}^2$; $W_a = 0$: 1 — интегральная модель; 2 — зонная модель (уравнения (9), (10) или (11)); $W_a = 0,95G_{sm}/\rho_a$: 3 — интегральная модель; 4 — зонная модель (уравнения (9), (10) или (11))

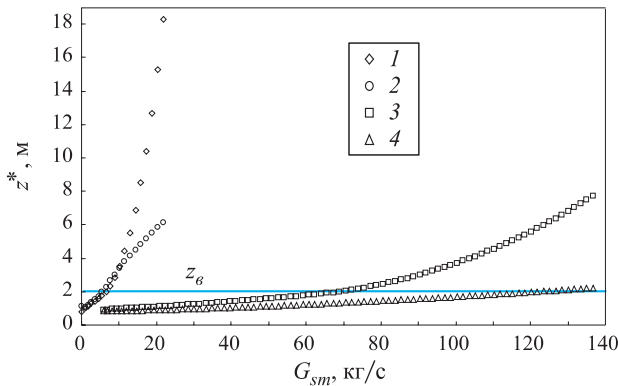


Рис. 5. Зависимость высоты нейтральной плоскости от массового расхода системы дымоудаления в помещении размером 24×12×6 м при $F_2 = 15 \text{ м}^2$; $W_a = 0$: 1 — интегральная модель; 2 — зонная модель (уравнения (9), (10) или (11)); $W_a = 0,95G_{sm}/\rho_a$: 3 — интегральная модель; 4 — зонная модель (уравнения (9), (10) или (11))

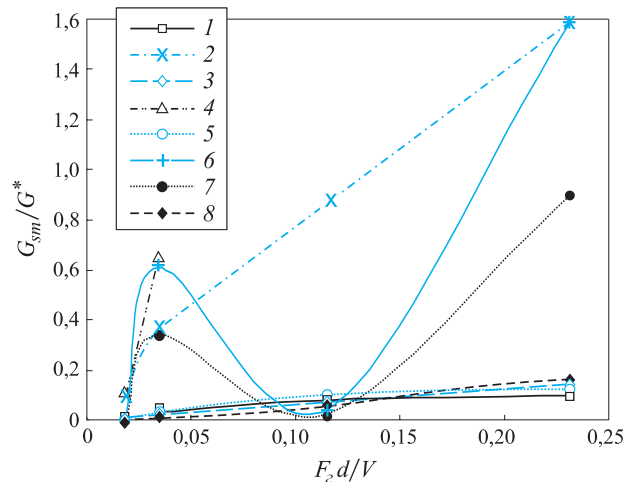


Рис. 7. Зависимость расхода системы дымоудаления от площади пожара: 1 — интегральная модель (без притока); 2 — интегральная модель (с притоком); 3 — зонная модель (без притока); 4 — зонная модель (с притоком); 5 — формула (18) [9]; 6 — формула (15) [8]; 7 — формула (16) [8]; 8 — формула (17) [9]

В таблице приведены величины расходов дымоудаления, полученные с использованием интегральной и зонной моделей, а также эмпирических методов расчета (уравнения (15) – (18)) и необходимые для создания незадымляемой зоны высотой 2 м (высота двери) от пола помещения.

Из рис. 3–6 и таблицы видно, что разница в массовых расходах дымоудаления при высоте незадымляемой зоны, равной высоте открытого проема (двери) $z_0 = 2 \text{ м}$, полученных с использованием интегрального и зонного подходов, не превышает при регулируемой вентиляции пожаре 28,2%, в случае пожара, регулируемой нагрузкой, — 49,5%.

На рис. 7 представлены зависимости безразмерного расхода G_{sm}/G^* системы дымоудаления от

безразмерного параметра $F_2 d/V$ для создания незадымляемой зоны высотой 2 м в случаях включенной и выключенной приточной вентиляции. Характерный расход определяется как $G^* = Hb_{np}\rho_o\sqrt{gd}$, где H — высота помещения, м.

Из рис. 7 и таблицы видно, что значения массовых расходов системы дымоудаления без притока, полученные при расчете с использованием интегральной и зонной моделей, совпадают со значениями расходов, полученными по эмпирическим формулам (17) и (18) [9], с погрешностью, не превышающей 62,7%.

Расходы системы дымоудаления, необходимые для создания незадымляемой зоны высотой 2 м от пола помещения

Размеры помещения, м	Площадь пожара F_z , м ²	Расход системы дымоудаления G_{sm} , кг/с						
		Интегральная модель		Зонная модель		Эмпирические методы расчета		
		без притока	с притоком	без притока	с притоком	Уравнение (18) [9]	G_{cr} [8]	Уравнение (17) [9]
12×6×3	4	4,92	44	2,5	56	3,72	1,88 (1,06)	1,98
	25	7,8	84	7,32	–	9,41	4,37 (2,47)	5,95
24×12×6	15	6,5	73	5,6	134	7,3	123,6 (70,1)	4,38
	100	8,4	136	11,7	–	10,0	135,6 (76,91)	13,67

Значения расходов системы дымоудаления, полученные по интегральной и зонной моделям, при выключенной приточной вентиляции близки со значениями, полученными по формулам (15) и (16) [8] (рис. 7, кривые 6 и 7) для помещения размером 12×6×3 м. В этом случае нет захвата воздуха через припотолочный слой системой дымоудаления.

При включенной приточной вентиляции расходы системы дымоудаления, рассчитанные по интегральной модели, коррелируются с величинами, найденными по формулам (15) и (16) в случае помещения размером 24×12×6 м.

Полученные результаты можно объяснить следующим образом. Выражения (15) и (16) учитывают захват системой дымоудаления холодного воздуха из зоны III через нижнюю границу припотолочного слоя. Подача приточного воздуха в припотолочную зону аналогична вышеуказанному захвату воздуха. Поэтому массовый расход втекаемого вне конвективной колонки в припотолочный слой воздуха, вызванный работой системы дымоудаления, в помещении размером 24×12×6 м равен приблизительно 95% от массового расхода смеси продуктов горения и воздуха, поступающих из конвективной колонки в зону II.

Заключение

1. Применение полуэмпирического подхода (уравнение (7)) [2, 4], основанного на моделирова-

нии области горения в виде точечного источника теплоты, дает некорректные результаты, так как в этом случае максимальные расходы и температуры по сечению конвективной колонки находятся на поверхности горючего материала, что противоречит реальной термогазодинамической картине пожара.

2. Удаление дыма из припотолочного слоя эффективно для недопущения распространения горячей задымленной смеси газов в смежные помещения (задание высоты нейтральной плоскости выше верхнего среза открытого проема) при подаче приточного воздуха в зону холодного воздуха. При вдуве воздуха в зону припотолочного слоя необходимо существенно увеличивать производительность системы дымоудаления или принимать дополнительные мероприятия по локализации пожара в рассматриваемом помещении (например, противопожарные шторы или воздушные завесы).

3. Работа системы дымоудаления приводит к значительному увеличению тепловыделения при пожаре, регулируемом вентиляцией.

4. Необходимо проведение дальнейших исследований по учету захвата воздуха из зоны холодного воздуха через нижнюю границу припотолочного слоя вне конвективной колонки в интегральном и зонном подходах к моделированию теплообмена при работе систем дымоудаления и приточной вентиляции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пузач, С. В. Методы расчета теплообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности / С. В. Пузач. — М.: Академия ГПС МЧС России, 2005.
2. Кошмаров, Ю. А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении / Ю. А. Кошмаров. — М.: Академия ГПС МВД России, 2000.
3. International Building Code. — International Code Council, 2003.
4. Драйздел, Д. Введение в динамику пожаров / Д. Драйздел.; пер. с англ. — М.: Стройиздат, 1988.
5. Кутателадзе, С. С. Основы теории теплообмена / С. С. Кутателадзе. — М.: Атомиздат, 1979.
6. Пузач, С. В. Интегральная модель расчета газообмена помещения с окружающей средой при пожаре / С. В. Пузач, В. М. Казеннов, В. Г. Пузач // Пожаровзрывобезопасность. — 2003. — Т. 12, № 4. — С. 68–72.

7. **Пузач, С. В.** Модифицированная зонная модель расчета тепломассообмена при пожаре в атриуме / С. В. Пузач, Е. С. Абакумов // Пожаровзрывобезопасность. — 2007. — Т. 16, № 1. — С. 53–57.
8. **Танака, Т.** Two layer zone smoke transport model / Т. Tanaka, S. Yamada // Fire Science and Technology. — 2004. — V. 23, № 1.
9. **Есин, В. М.** Пожарная профилактика в строительстве / В. М. Есин, В. И. Сидорук, В. Н. Токарев. — М., 1995.
10. **Астапенко, В. М.** Термогазодинамика пожаров в помещениях / В. М. Астапенко, Ю. А. Кошмаров, И. С. Молчадский [и др.]. — М.: Стройиздат, 1986.
11. **Присадков, В. И.** Численные методы исследования пожарной опасности атриумов / В. И. Присадков, В. В. Лицкевич, А. В. Федоринов // Пожарная безопасность. — 2002. — № 2.

Поступила в редакцию 25.04.08.



представляем новую книгу

«ПОЖНАУКА»

ИЗДАТЕЛЬСТВО

В. П. БАБУРОВ, В. В. БАБУРИН, В. И. ФОМИН

АВТОМАТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ ПОЖАРОТУШЕНИЯ

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

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

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



Канд. техн. наук, профессор
Пермского военного института
внутренних войск МВД РФ
В. В. Ильин



Д-р физ.-мат. наук, профессор
Пермского военного института
внутренних войск МВД РФ
А. П. Рыбаков



Канд. техн. наук, доцент
Пермского военного института
внутренних войск МВД РФ
О. Ю. Воложанин



Канд. техн. наук, преподаватель
Пермского государственного
технического университета
Н. А. Рыбаков

УДК 622.61:614.84

ДВУХПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ КРИТЕРИЙ ВОЗБУЖДЕНИЯ ВЗРЫВА ЗАРЯДОВ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Рассматривается вопрос определения критериев возбуждения взрыва в конденсированных взрывчатых веществах. Проанализированы энергетическая и геометрическая составляющие указанных критериев. Определены их значения при различных способах введения энергии в штатное бризантное взрывчатое вещество.

Безопасность зарядов высокоэнергетических материалов (взрывчатых веществ, твердых ракетных топлив, порохов) в условиях их штатного применения, транспортировки или хранения является актуальной задачей. Внимание к ней усиливается в связи с возникновением чрезвычайных ситуаций с изделиями, содержащими высокоэнергетические материалы. Во многих случаях после срабатывания единичного изделия его фрагменты инициируют ближайшие заряды [1], что приводит к цепному распространению реакции и катастрофическим последствиям.

На основе анализа многочисленных известных теоретических и экспериментальных данных о явлении взрыва конденсированных высокоэнергетических материалов авторами сформулирован критерий возбуждения взрыва, который включает две составляющие: энергетическую и геометрическую.

Энергетическая составляющая заключается в установлении значения плотности энергии W , “заканчанной” в материал для возбуждения взрыва.

При взрывчатом превращении обязательно должны произойти разрывы некоторых связей в молекулах. Для типичных штатных взрывчатых составов значение энергии разрыва связей составляет несколько электрон-вольт на связь или несколько десятых долей мегаджоулей на 1 моль [2, 3]: $n \cdot 10^5$ Дж/моль, где $1 < n < 10$.

При осуществлении взрывчатого превращения детонацией реакция протекает в зоне химического пика непосредственно за фронтом детонационной волны [4]. Ширина зоны химического пика типичных штатных составов составляет $n \cdot (10^{-4} - 10^{-3})$ м

при скорости детонации и времени реакции $n \cdot 10^3$ м/с и $n \cdot (10^{-7} - 10^{-6})$ с соответственно. При таких временах воздействия справедлива лемма о независимости реакции на внешнее воздействие от агрегатного состояния материала [5].

Одно из следствий леммы гласит: чтобы реакция (химическая в данном случае) была устойчива, необходимо чтобы она началась в количестве вещества не менее 1 моля. Положим, что размер молекулы штатного состава $d_{\text{мол}} = 10^{-9}$ м³. Тогда объем 1 моля состава

$$V_{\text{моль}} = N_A d_{\text{мол}}^3, \text{ м}^3, \quad (1)$$

где N_A — число Авогадро, $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$.

Плотность энергии, необходимой для разрыва связей в 1 моле, составит:

$$W = \frac{n \cdot 10^5}{10^{24} \cdot 10^{-27}} \approx n \cdot 10^8 \text{ Дж/м}^3. \quad (2)$$

Линейный размер области состава, содержащей 1 моль, соответствует $\sqrt[3]{V} \approx n \cdot (1 - 10)$ см, что по порядку величины совпадает с экспериментальными значениями предельного диаметра заряда взрывчатого состава [4].

На рис. 1 изображена зависимость скорости детонации D от диаметра прутка d заряда взрывчатого состава. При $d \geq d_{\text{пред}}$ детонация стационарная и $D = \text{const}$, при $d < d_{\text{крит}}$ детонация не возбуждается и $D = 0$.

При увеличении диаметра прутка заряда от 0 до критического значения $d_{\text{крит}}$ впервые возникает устойчивая детонация. В интервале $d_{\text{крит}} \leq d < d_{\text{пред}}$

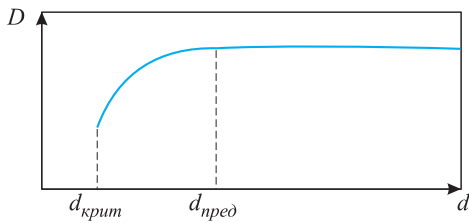


Рис. 1. Зависимость скорости детонации D от диаметра прутка d заряда взрывчатого вещества

скорость детонации плавно возрастает до постоянного значения.

Из опытов известно, что $d_{пред}/d_{крит} \approx 10$ [4, 5], вместе с тем для типичных штатных составов $d_{крит} \approx n \cdot 10^{-3}$ м.

Оценим экспериментальные значения W при различных способах введения энергии для типичного штатного твердого бризантного взрывчатого состава.

Чувствительность к механическому удару

Для испытания бризантных взрывчатых веществ (ВВ) используется стандартная проба Каста [4, 6], при которой стандартный груз массой 10 кг падает с высоты 25 см на навеску ВВ массой 0,05 г. Мерой чувствительности является отношение числа взрывов к числу опытов. Для типичных ВВ чувствительность имеет следующие значения: тротил 4–8%, гексоген 70–80%, тэн 100%.

Потенциальная энергия поднятого груза составляет 24,5 Дж. Считая, что вся эта энергия превратится в тепловую $W_{менл}$ образца ВВ, получим (при плотности ВВ $1,6 \cdot 10^3$ кг/м³) плотность энергии, равную $7 \cdot 10^8$ Дж/м³. Это значение дает завышенную верхнюю границу. В действительности значение $W_{менл}$ будет на 30–40% ниже, поскольку часть потенциальной энергии груза будет передана обойме, в которую помещается навеска ВВ.

Нагрев материала

Рассмотрим изобарический статический нагрев материала от начальной температуры T_0 до температуры вспышки $T_{всп}$. В таком случае энергия, необходимая для нагрева, составит:

$$W_{менл} = \rho C_p (T_{всп} - T_0). \quad (3)$$

Воспользуемся типичными значениями параметров [2, 5]: $\rho = 1,6 \cdot 10^3$ кг/м³; $C_p = 1,5 \cdot 10^3$ кал/кг; $T_{всп} - T_0 = 2 \cdot 10^2$ К. В результате вычислений получим $W_{менл} = 5 \cdot 10^8$ Дж/м³.

Ударное воздействие

“Закачка” энергии производится за счет ударной волны, возбуждаемой и распространяющейся во

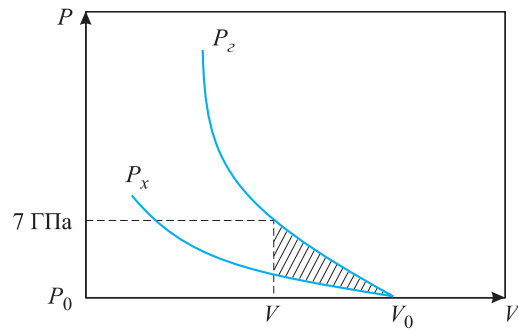


Рис. 2. P – V диаграмма (обозначения см. в тексте)

взрывчатом материале. Типичное значение давления P во фронте ударной волны составляет 7 ГПа [7]. При $P \geq 7$ ГПа взрывчатое вещество детонирует, при меньших давлениях — нет. На рис. 2 изображены в координатах P – V (давление – удельный объем): P_2 — ударная адиабата; P_x — кривая исходного сжатия неразорвавшегося ВВ; P_0, V_0 — исходные (начальные) параметры ВВ.

Площадь заштрихованного участка между кривыми P_2 и P_x численно равна тепловой энергии $W_{менл}$. Ее величину можно просто оценить по формулам работ [8, 9] на основе соотношения между кинематическими параметрами ударной волны, волновой D и массовой U скоростями:

$$D = C_0 + \beta U, \quad (4)$$

где C_0 — скорость звука в ВВ в исходном состоянии; β — коэффициент.

При этом

$$W_{менл} = W_z - W_x; \quad (5)$$

$$W_z = \frac{1}{2} (P_z - P_0) (V_0 - V);$$

$$W_x = \frac{C_0^2 P_x}{4\beta \rho_0 C_0^2} - \frac{(1 - \rho_0/\rho)}{4\beta} C_0^2. \quad (6)$$

При типичных значениях $\rho_0 = 1,6 \cdot 10^3$ кг/м³, $C_0 = 3 \cdot 10^3$ м/с и $\beta = 1,5$ получаем $W_{менл} = 5,5 \cdot 10^8$ Дж/м³.

Воздействие лазерного излучения

Параметры светового потока лазерного излучения, приводящего к взрыву вторичного ВВ, можно взять, например, в работе [10]: плотность светового потока ≥ 1 кВт/см²; время ≥ 1 мс. Схема явления изображена на рис. 3.

На участок поверхности единичной площади падает электромагнитное излучение, проникающее на глубину x . За время облучения на поверхность поступает энергия $W' = 10^3$ Дж/(с·см²)· 10^{-3} с = 10 Дж/м².

X-аналог скин-слоя в металлах: $\nu = 1$ ГГц, $x = 4$ мкм; $\nu = 300$ ГГц, $x = 10^{-4}$ м.

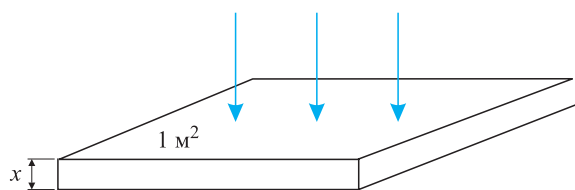


Рис. 3. Воздействие лазерного излучения на ВВ

Материал	Иницирующее ВВ	Бризантное ВВ	Твердое ракетное топливо	Диспергированное и жидкое ВВ	Лес
$V, \text{ м/с}$	—	10^3	10^0	10^{-1}	10^{-3}
$d_{\text{крит}}, \text{ м}$	10^{-5}	10^{-3}	10^0	10^1	10^3

Полагая в нашем случае $x \approx 10^{-5}$, получаем

$$W = W'/x = 10^9 \text{ Дж/м}^3. \quad (7)$$

Из предыдущего примера $W_{\text{менл}}/W = 0,5$. В итоге $W_{\text{менл}} = 5 \cdot 10^8 \text{ Дж/м}^3$.

Вывод: инициирование взрывчатого материала произойдет, если закачана энергия плотностью $W \geq 10^9 \text{ Дж/м}^3$, причем плотность тепловой энергии будет составлять $W_{\text{менл}} \geq 5 \cdot 10^8 \text{ Дж/м}^3$.

Геометрическая составляющая критерия так или иначе уже учтена при обосновании энергетической составляющей. При разработке и введении понятия

“критический диаметр” заряда взрывчатого вещества Ю. Б. Харитон сформулировал [11] утверждение, сводящееся к следующему: чем меньше скорость выделения энергии V в экзотермической реакции, тем больше критический диаметр заряда $d_{\text{крит}}$.

Результаты экспериментальных исследований, выполненных в последующие десятилетия, сведены в таблицу.

Учитывая утверждение Ю. Б. Харитона [12], можно получить $d_{\text{крит}}V \geq 1 \text{ м}^2/\text{с}$. Геометрическая составляющая критерия может быть сформулирована следующим образом: произведение размера области d (м), в которой возбуждается взрыв, на скорость V (м/с) распространения фронта выделения энергии в экзотермической реакции взрывчатого превращения должно быть больше или равно единицы: $dV \geq 1 \text{ м}^2/\text{с}$.

Таким образом, критерий возбуждения взрыва заряда ВВ можно сформулировать в следующем виде:

$$W_{\text{менл}} \geq 5 \cdot 10^8 \text{ Дж/м}^3, \quad d \geq 1/V. \quad (8)$$

Если $W_{\text{менл}} < 7 \cdot 10^8 \text{ Дж/м}^3$ или $dV < 1$, то вместо устойчивой детонации в материале происходит возгорание, что экспериментально подтверждено [12] при облучении образцов твердых ракетных топлив СВЧ-излучением.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ильин, В. В. К вопросу о протекании взрывных процессов при хранении групп боеприпасов и возможности их прогнозирования / В. В. Ильин, А. П. Рыбаков, О. Ю. Вологжанин // Пожаровзрывобезопасность. — 2007. — Т. 16, № 1. — С. 35–41.
2. Козлов, А. Н. Экспериментальное исследование воздействия СВЧ-излучений на образцы топлива твердотопливных ракетных двигателей / А. Н. Козлов, А. М. Мышлявкин, Ю. Т. Одинцов [и др.] // Известия Челябинского научного центра. — 2007. — № 4(38). — С. 14–18.
3. Мищенко, К. П. Краткий справочник физико-химических величин / К. П. Мищенко, А. А. Равдель. — Л.: Химия, 1983. — 182 с.
4. Cubota, N. Rockets propellants and explosives / N. Cubota. — Tokyo: Nikkau Kodyo Press, 2001. — 250 p.
5. Андреев, К. К. Теория взрывчатых веществ / К. К. Андреев, А. Ф. Беляев. — М.: Оборонгиз, 1960. — 596 с.
6. Рыбаков, Н. А. Материалы при воздействии чрезвычайно интенсивных и кратковременных нагрузок / Н. А. Рыбаков // Вестник ПГТУ. Аэрокосмическая техника. — 2002. — № 20. — С. 35–40.
7. Жуков, Б. П. Энергетические конденсированные системы / Б. П. Жуков // Краткий энциклопедический словарь. — М.: Янус-К, 1999. — 596 с.
8. Илюхин, В. С. Измерение ударных адиабат литого тротила, кристаллического гексогена и нитрометана / В. С. Илюхин, П. Ф. Похил, О. К. Розанов [и др.] // Докл. АН СССР. — 1960. — № 4. — С. 793–796.
9. Рыбаков, А. П. Твердые тела в условиях давлений и температур ударного сжатия / А. П. Рыбаков. — М.: ЦНИИАтоминформ, 1978. — 88 с.
10. Рыбаков, А. П. Ударные волны в конденсированных средах / А. П. Рыбаков. — Даугавпилс: Университет Даугавпилса, 1984. — 128 с.
11. Торжанов, В. И. Предвзрывные явления при быстром инициировании бризантных взрывчатых веществ: Обзор / В. И. Торжанов // Физика горения и взрыва. — 2003. — № 6. — С. 3–11.
12. Харитон, Ю. Б. Вопросы теории взрывчатых веществ / Ю. Б. Харитон. — М.: АН СССР, 1947. — 498 с.

Поступила в редакцию 28.04.08.



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



Слушатель Тольяттинского военного технического института
В. Н. Злодеев

УДК 614.841

ПОЖАРНАЯ ОПАСНОСТЬ ПРЕРЕМОНТНОЙ ПОДГОТОВКИ РЕЗЕРВУАРОВ. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СПОСОБОВ ОЧИСТКИ РЕЗЕРВУАРОВ

Описывается принцип очистки поверхности резервуаров твердым диоксидом углерода гранулированным. Достоинство способа заключается в том, что при контакте гранул с поверхностью происходит микровзрыв, который приводит к эффекту термошока в слое отложений, что повышает качество очистки. Кроме того, в процессе сублимации гранул происходит образование негорючей газовой среды диоксида углерода, что повышает пожарную безопасность проводимых работ.

Нефтяной комплекс оказывает большое влияние на экономическое развитие России. Нефть является одним из важнейших видов энергоресурсов. Для хранения нефти и продуктов, полученных в результате ее переработки, используются резервуары. В России наибольшее распространение получили наземные стальные вертикальные резервуары типа РВС со стационарной крышей. В целях снижения потерь от испарения нефти и нефтепродуктов созданы резервуары с понтонами и плавающими крышами. Объемы таких резервуаров колеблются от 100 до 100000 м³.

Анализ статистических данных показывает, что проблема пожарной безопасности данных объектов остается весьма актуальной. Тем более, что в связи с интенсивным ростом производств увеличилось количество резервуаров, требующих ремонта или замены.

Наиболее пожаровзрывоопасными операциями эксплуатации резервуаров являются предремонтная подготовка и проведение огневых работ. Статистика пожаров свидетельствует, что треть их связана с указанными технологическими операциями. При этом 29% пожаров происходит при очистке резервуаров, 50% — при выполнении огневых работ после выполнения очистки, 21% пожаров связан с нарушением требований пожарной безопасности и выполнением огневых работ без предварительной очистки. Традиционная технология подготовки к ремонту и реконструкции резервуаров предполагает широкое использование тяжелого физического

труда во вредных и пожароопасных условиях. Вероятность воздействия опасных факторов пожара при очистке резервуаров в 100–200 раз превосходит нормативный уровень. Данная статистика свидетельствует о несовершенстве наиболее распространенных технологий очистки поверхности резервуаров.

Для снижения уровня пожарной опасности при проведении ремонтных работ предлагается применение способа очистки поверхности резервуаров твердым диоксидом углерода гранулированным. Его принцип заключается в следующем: из термоизолированного бункера при помощи мощного потока несущего газа, в качестве которого возможно использование диоксида углерода, гранулы посредством шланга высокого давления стремительно перемещаются в специальное операционное устройство. В наконечнике (сопле) пистолета данные гранулы получают дополнительное динамическое ускорение и, разогнавшись до скорости 300 м/с, “выстреливаются” на очищаемую поверхность. Соударяясь с обрабатываемой поверхностью, гранулы отделяют от нее все фрагменты загрязнения или какой-либо ранее нанесенной композиции. При этом сразу же после точечного контакта отработанные гранулы сублимируются — мгновенно без остатка превращаются в газообразное состояние.

Этот процесс идентичен очистке другими абразивами, в которых вещества ускоряются в струе газа-носителя для воздействия на очищаемую или подготавливаемую поверхность. В случае применения очистки гранулами диоксида углерода они

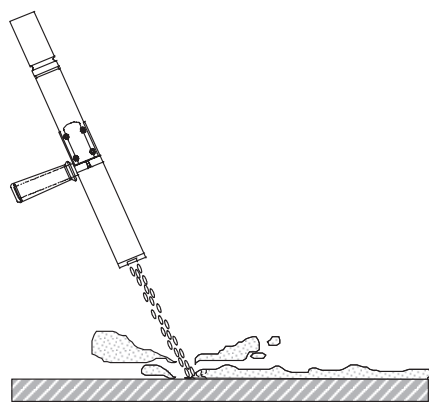


Рис. 1. Термический шок вызывает микротрещины в удаляемом покрытии



Рис. 2. Расширение CO₂ и кинетическая энергия гранул сбивают и удаляют частицы снимаемого покрытия

выступают в роли вещества, воздействующего на поверхность. Уникальный аспект использования метода очистки твердым диоксидом углерода — сублимация (испарение) гранул диоксида углерода при соударении с поверхностью. Быстрый теплообмен между гранулами и поверхностью и рассеяние энергии при воздействии вызывают сублимацию диоксида углерода в газ. По объему газовая фаза диоксида углерода превосходит твердую примерно в 700 раз, поэтому сублимация за несколько миллисекунд вызывает микровзрыв в точке воздействия.

Как и в других процессах, кинетическая энергия, ассоциирующаяся с очисткой гранулами диоксида углерода, является функцией плотности, массы и скорости частиц. Так как гранулы CO₂ относительно нетвердые, процесс базируется на больших скоростях для достижения необходимой энергии воздействия.

В отличие от других веществ частицы имеют очень низкую температуру –78°С. Такая температура частиц позволяет процессу очистки гранулами диоксида углерода использовать термодинамический механизм, воздействующий на разные снимаемые вещества в большей или меньшей степени. Из-за разности температур гранул диоксида углерода и поверхности происходит феномен термического шока. Поскольку все природные и искусственные материалы обладают различными коэффициентами температурного расширения, в условиях стремительного перепада температур это приводит к снижению адгезии между загрязнением и поверх-

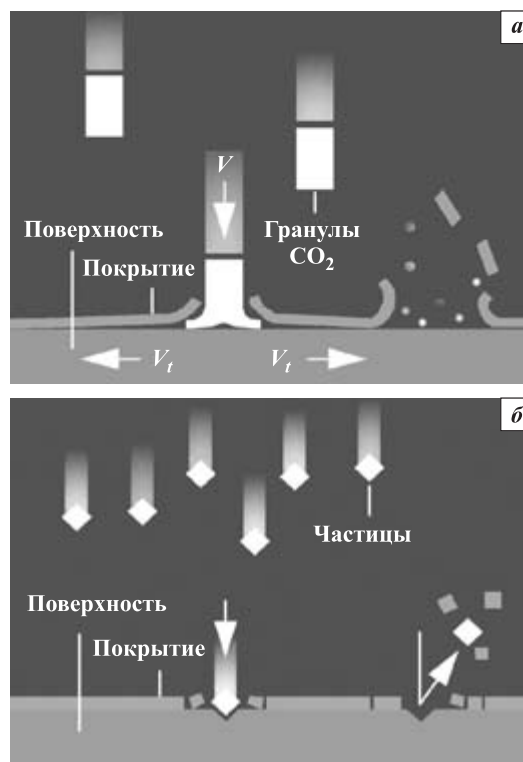


Рис. 3. Воздействие на покрытие и очищаемую от него поверхность при очистке: *а* — диоксидом углерода гранулированным; *б* — абразивными материалами (песок, пластик, стекло и т.д.)

ностью. Происходит их расслоение. С понижением температуры материал становится хрупким, гранулы диоксида углерода сбивают его с поверхности. Температурный градиент (или разница температур) служит более легкому преодолению связующей силы между разными материалами.

Для дальнейшего разрушения отслоившегося загрязнения требуется дополнительное сосредоточенное механическое воздействие на его структуру. Кинетическая энергия гранул, или энергия их движения, обеспечивает этот процесс.

Даже при больших скоростях воздействия и прямом угле направления струи кинетический эффект твердых частиц сухого льда минимален по сравнению с другими материалами (песок, пластик, стекло и т.д.) из-за относительной мягкости и практически мгновенной сублимации.

Сублимация диоксида углерода не создает необходимости последующей уборки чистящего вещества. Процедура хранения и сбора чистящего вещества также упрощена.

Термический стресс, вызванный разностью температур, может быть оценен при помощи следующего выражения:

$$\sigma_y = (\Delta T E \alpha) / (1 - \varphi),$$

где σ_y — стресс, кг/см²;

ΔT — снижение температуры, °С;

E — кинетическая энергия, Дж;

α — коэффициент расширения;

φ — коэффициент Пуассона.

Подставляя соответствующие параметры, получаем величину термического стресса:

$$\sigma_y = 224\Delta T.$$

Снижение температуры составляет 57,22°С. Такое его значение создает небольшой стресс — 4,69 кг/см². Даже если температура формы упадет до температуры сухого льда (что, в принципе, невозможно), снижение температуры с 176,67 до -78,33°С составит 255°С, термический стресс соответственно 15,93 кг/см², что меньше предела деформации твердой формы металла. Опять же, термический стресс будет гораздо меньше того, что возникает при обычном рабочем цикле, в котором изменение температуры превосходит 260°С.

В отличие от песка, пластиковых гранул и других материалов гранулированный диоксид углерода является безабразивным материалом. Чистка гранулированным диоксидом углерода (рис. 3, а) не приводит к износу мягких частей и покрытий по сравнению с абразивными материалами (рис. 3, б).

Преимуществами данного способа очистки являются:

- отсутствие износа мягких частей и покрытий при очистке;
- исключение вероятности повреждения электропроводки;
- многократное снижение возможности образования коррозии после очистки;
- исключение опасности воспламенения или взрыва газовой смеси при очистке внутренней поверхности резервуара;
- отсутствие “режущего” эффекта струи;
- повышение качества очистки, интенсификации процесса;
- сокращение времени и доли тяжелого ручного труда.

Таким образом, способ очистки поверхности резервуаров твердым диоксидом углерода гранулированным является наиболее эффективным по сравнению с существующими способами очистки, позволяет значительно снизить пожарную опасность при проведении аварийно-ремонтных работ, уменьшить экономические затраты, негативное воздействие на окружающую природу и людей.

Поступила в редакцию 16.06.08.

FIREPRESS@GMAIL.COM

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

Новая книга
ИЗДАТЕЛЬСТВА «ПОЖНАУКА»

А.В. Долговидов, В.В. Терехнев

**АВТОМАТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ
ПОРШКОВОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ**

В пособии рассматриваются вопросы, связанные с требованиями к установкам порошкового пожаротушения и их составяющим-модулям. Приведены основные типы установок, их особенности, основные правила проектирования, требования при приемке в эксплуатацию.

Пособие предназначено для разработчиков и изготовителей модулей, проектировщиков установок порошкового пожаротушения, курсантов и слушателей учебных заведений пожарно-технического профиля, а также специалистов в области пожарной безопасности.



ПРОТИВОПОЖАРНАЯ ЗАЩИТА
И ТУШЕНИЕ ПОЖАРОВ



Канд. социол. наук, доцент,
начальник Академии Государ-
ственной противопожарной
службы МЧС РФ

И. М. Тетерин



Преподаватель Академии
Государственной противопо-
жарной службы МЧС РФ

А. В. Фирсов

УДК 614.841

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ АНАЛИЗА РИСКОВ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ ГРУЗОВ ПОВЫШЕННОЙ ОПАСНОСТИ. Часть 1

Рассматривается задача мониторинга риска для населения и территорий в районе автомобильных магистралей и транспортных узлов вследствие взаимодействия грузопотоков повышенной опасности. Задача решается на базе аналитической и имитационной вероятностных моделей.

Воздействие техногенной сферы на безопасность населения связано с формированием опасных факторов, источников чрезвычайных ситуаций (ЧС), способных оказывать барическое, термическое, токсическое, радиационное и ударное действия.

Планирование мероприятий по защите населения в соответствии с общепринятой концепцией опирается на результаты оценки опасности по критерию риска, который позволяет комплексно учитывать негативные воздействия природных и антропогенных факторов.

Одним из малоизученных объектов потенциальной опасности являются транспортные коммуникации, такие как железные и автомобильные дороги, по которым перевозится более 80% всего объема грузов. Более того, транспортные сети дорог проходят по густонаселенным территориям и формируют источники комплексной опасности вышеуказанных воздействий. Одной из особенностей, требующей особого внимания, является уточнение частотных характеристик этих воздействий, связанных с взаимовлиянием транспортируемых элементов друг на друга, которые при высокой плотности грузопотоков существенно увеличивают риск проживания населения на территориях, расположенных вблизи транспортных сетей.

Решение задачи определения зон риска сводится к нахождению вероятностей возникновения негативных факторов и их действия на население. При этом критерием зонирования опасных территорий является индивидуальный риск второго рода, т.е. определенный в конкретной точке пространства. Авторами предлагается математический аппарат оценки частотных характеристик типовых аварийных сценариев.

Рассмотрим следующую ситуацию. Пусть имеется некоторая транспортная сеть, например магистральных автодорог. Математической моделью такой сети является соответствующий граф, заданный матрицей инцидентности. По дугам данной сети перемещаются грузопотоки, как в прямом, так и в обратном направлениях.

Исследуются потоки грузов, перевозка которых сопряжена с опасностью возникновения тех или иных ЧС. Например, в качестве грузов повышенной опасности могут выступать горючие жидкости, горючие газы, этилен, аммиак, хлор, легковоспламеняемые жидкости, различные кислоты (желтая фосфорная, пятифосфорная, серная и т.д.). В качестве ЧС, связанных с грузопотоками данного вида, могут рассматриваться пожары, взрывы, дефлаграционные взрывы, образование огненных шаров, токсичные заражения и т.д. Предполагается, что априорные вероятности возникновения ЧС, рассматриваемых автономно, известны. Ставится задача оценить дополнительную вероятность возникновения данных ЧС, рассматриваемых как результат возникновения других ЧС.

В качестве исходных данных берутся годовые объемы перевозок по видам опасных грузов выходного (N_1, \dots, N_m) и входного (M_1, \dots, M_n) потоков. Кроме того, как отмечалось выше, известны априорные вероятности возникновения ЧС, рассматриваемых автономно: QN_1, \dots, QN_m — для ЧС выходного потока, QM_1, \dots, QM_n — для ЧС входного потока. Одному виду грузов повышенной опасности могут соответствовать несколько ЧС. В качестве исходных данных в модели рассматриваются характеристики: сети (структура, длины дуг, участки скопления транспортных средств, участки повышенной опасности и т.д.), потоков (объемы, ско-

рость перемещения, размеры перевозимых партий, временные распределения потоков и т.д.), ЧС (условная вероятность возникновения ЧС i -го типа при условии возникновения ЧС j -го типа, происшедшей на расстоянии S).

Приведем лишь общую схему предлагаемой модели в виде алгоритма расчета вероятностей возникновения ЧС техногенного характера при взаимодействии грузопотоков повышенной опасности на транспортных сетях, представленного 13-ю блоками. Поскольку исходные данные не содержат дополнительных характеристик временного распределения потоков, исходим при построении модели из предположения равномерности распределения потока.

*Алгоритм расчета вероятностей возникновения ЧС техногенного характера взаимодействия грузопотоков повышенной опасности на транспортных сетях QN_i^**

Блок 1

Ввод интегральных данных по грузопотокам:

- годовые объемы входных и выходных потоков по конечным вершинам транспортной сети (грузопоставщики и грузопотребители в условных элементах);
- структура сети (матрица инцидентности);
- маршруты доставок грузов.

Блок 2

Расчет входного и выходного потоков по каждой дуге сети на основе интегральных данных.

Блок 3

Решение задачи определения вероятности возникновения каждого из возможных сценариев ЧС выходного и входного грузопотоков и для каждой из дуг транспортной сети.

[Далее алгоритм расчета рассматривается для одного из возможных сценариев выходного потока и одной из дуг сети, поэтому их индексы в дальнейшем изложении алгоритма опускаются.]

Блок 4

Ввод характеристик объемов грузопотоков:

m — количество видов опасных грузов в выходном потоке;
 n — количество видов опасных грузов во входном потоке;
 mc — количество видов сценариев ЧС в выходном потоке;
 nc — количество видов сценариев ЧС во входном потоке;
 N_1, \dots, N_m — годовые объемы перевозок опасных грузов выходного потока (в цистернах или вагонах);
 M_1, \dots, M_n — годовые объемы перевозок опасных грузов входного потока (в цистернах или вагонах).

[$m \leq mc$ и $n \leq nc$, так как одному типу опасного груза может, вообще говоря, соответствовать несколько различных сценариев ЧС.]

Блок 5

Ввод значений априорных вероятностей реализации опасных факторов для различных типов опасных грузов (сценариев ЧС) в выходном (QN_1, \dots, QN_{mc}) и входном (QM_1, \dots, QM_{nc}) потоках.

Блок 6

Ввод транспортных характеристик:

L — протяженность дуги транспортной сети, км;

V_1, \dots, V_m — средние скорости перемещения элементов в выходном потоке по видам грузов;

W_1, \dots, W_n — средние скорости перемещения элементов во входном потоке по видам грузов.

Блок 7

Расчет среднего времени прохождения по дуге:

- элементов k -го типа опасных грузов выходного потока, ч: $\tau_k^{вых} = L/V_k, k = 1, \dots, m$;
- элементов l -го типа опасных грузов входного потока, ч: $\tau_l^{вх} = L/W_l, l = 1, \dots, n$.

Блок 8

Введение индексация, связывающей типы опасных грузов со сценариями ЧС и наоборот для выходного и входного потоков:

$k = 1, \dots, m$ — индексация типов опасных грузов выходного потока;

$R(k)$ — множество индексов сценариев, возникающих в результате ЧС с грузами k -го типа выходного потока ($1 \leq R(k) \leq mc$);

$l = 1, \dots, n$ — индексация типов опасных грузов входного потока;

$R(l)$ — множество индексов сценариев, возникающих в результате ЧС с грузами l -го типа входного потока ($1 \leq R(l) \leq nc$);

$i = 1, \dots, mc$ — индексация различных сценариев ЧС выходного потока;

$X(i)$ — индекс типа опасного груза, инициирующего i -й сценарий ЧС в выходном потоке ($1 \leq X(i) \leq m$);

$j = 1, \dots, nc$ — индексация различных сценариев ЧС входного потока;

$Y(j)$ — индекс типа опасного груза, инициирующего j -й сценарий ЧС во входном потоке ($1 \leq Y(j) \leq n$).

Блок 9

Расчет плотностей потоков:

- $n_k = \frac{N_k \tau_k^{вых}}{T_{год}}$ — среднее количество элементов опасного груза k -го типа выходного потока, находящихся одновременно на дуге, $k = 1, \dots, m$;

- $m_l = \frac{M_l \tau_l^{вх}}{T_{год}}$ — среднее количество элементов опасного груза l -го типа входного потока, находящихся одновременно на дуге, $l = 1, \dots, n$,

где $T_{год}$ — количество часов в году.

Блок 10

Расчет вероятности возникновения сценария i -го типа в элементе выходного потока в результате возникновения ЧС j -го типа в одном из элементов входного потока:

$$\Omega_{ij} = 2QN_j \int_0^{t_{\max}} P_{ij}(S(t)/\text{ЧС}_i) dt,$$

где $t_{\max} = \frac{l_{ij}^{\max}}{V_{X(i)} + W_{Y(j)}}$ — время нахождения в зоне взаимовлияния до встречи элементов встречных потоков;

l_{ij}^{\max} — предельное расстояние взаимовлияния i -го сценария выходного потока при инициировании j -го сценария входного потока;

$S(t) = l_{ij}^{\max} - (V_{X(i)} + W_{Y(j)})t$ — расстояние между элементами в конкретный момент времени t ;

P_{ij} — условная вероятность возникновения сценария i -го типа в результате возникновения ЧС j -го типа, произошедшей на расстоянии $S(t)$ между элементами.

Блок 11

Расчет вероятности возникновения сценария i -го типа в элементе выходного потока в результате возникновения сценария j -го типа в элементах входного потока:

$$2m_{Y(j)} \Omega_{ij}.$$

Блок 12

Расчет вероятности возникновения ЧС i -го типа в элементе выходного потока в результате возникновения различных сценариев в элементах входного потока:

$$\sum_{j=1}^n \sum_{j \in S(j)} 2m_{Y(j)} \Omega_{ij},$$

где $S(j)$ — множество индексов сценариев, соответствующих элементу j -го типа входного потока.

Блок 13

Определение уточненной вероятности реализации опасных факторов i -го сценария для конкретного выходного потока:

$$QN_i^* = QN_i + \sum_{j=1}^n \sum_{j \in S(j)} 2m_{Y(j)} \cdot 2QN(i) \frac{l_{ij}}{V_{X(i)} + W_{Y(j)}} \int_0^{t_{\max}} P_{ij}(S(t)/\text{ЧС}_i) dt,$$

где QN_i — априорная вероятность;

$\sum_{j=1}^n \sum_{j \in S(j)}$ — суммирование по всем сценариям;

$2m_{Y(j)}$ — среднее количество элементов $Y(j)$ типа входного потока с соответствующими j -ми сценариями реализации опасных факторов;

$$2QN(i) \frac{l_{ij}}{V_{X(i)} + W_{Y(j)}} \int_0^{t_{\max}} P_{ij}(S(t)/\text{ЧС}_i) dt = \Omega_{ij} \text{ — вероятность возникновения } i\text{-го сценария для элемента } X(i) \text{ выходного потока.}$$

Таким образом, уточненная вероятность реализации опасных факторов i -й ЧС для каждого элемента выходного потока является суммой априорной вероятности реализации i -го сценария и вероятности взаимовлияния всего выходного потока на выходной, определяемый суммированием по всем сценариям входного потока для среднего количества элементов $Y(j)$ типа, соответствующих j -м сценариям реализации опасных факторов с учетом вероятности возникновения i -го сценария в элементе $X(i)$ выходного потока.

Принципиальная расчетная схема представлена на рис. 1.

Аналогично производится уточнение частотной характеристики реализации опасных факторов QM_j^* j -й ЧС при взаимовлиянии транспортируемых элементов выходного потока $X(i)$ на j -й элемент входящего потока. Это позволяет скорректировать вероятность возникновения сценариев развития ЧС i -го и j -го типов с учетом взаимодействия с другими грузопотоками повышенной опасности.

Реализуя данный алгоритм для всей сети, получаем скорректированные вероятности возникновения ЧС, которые используются для решения комплексной задачи зонирования территорий вдоль транспортных сетей по критерию риска.

Как было отмечено выше, в качестве математической модели транспортной сети был использован граф. Однако рассмотрение потоков и оценка параметров рисков проводились лишь на дугах сети. Это обстоятельство делает модель неполной. Помимо участков магистральных автодорог имеются места скопления автотранспорта (площадки при узловых

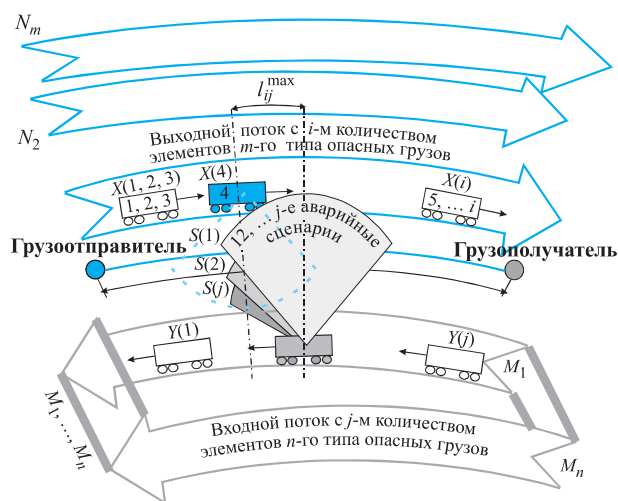


Рис. 1. Принципиальная схема уточнения вероятности возникновения i -го сценария при взаимодействии грузопотоков повышенной опасности на транспортных сетях

железнодорожных станциях, портах и т.д.). Данные объекты имеют свою специфику, а именно, большое количество опасных грузов находится на них продолжительное время в непосредственной близости друг от друга. Это обстоятельство делает их объектами повышенной опасности и требует своих методик для мониторинга рисков взаимодействия опасных грузов. В отличие от рассмотрения магистральных участков, приведенного выше, для модели площадок скопления автотранспорта не удается оценить риски аналитическим способом.

Для мониторинга рисков площадок скопления автотранспорта была разработана имитационная модель. Ее основными входными параметрами являются: годовые объемы транзитных грузопотоков через площадку по видам опасных грузов, распределение опасных грузов по времени года и времени суток, распределение продолжительности пребывания автотранспорта на площадке. Параметры данных распределений могут быть оценены статистическими методами, исходя из данных о транзитных потоках автотранспортной площадки.

В имитационной модели происходит случайная генерация двух потоков, а именно, потока опасных грузов и потока личного автотранспорта в случае, если он проходит в непосредственной близости от автотранспортной площадки. Поток опасных грузов, в свою очередь, представляет собой случайный многопродуктовый поток. Для каждого вида опасных грузов генерируется отдельный случайный поток. В ходе реализации имитационной модели происходит суперпозиция случайных потоков для отдельных видов опасных грузов. Основные этапы генерации потоков опасных грузов представлены на рис. 2.

Для реализации этапа 1 предполагаем, что имеется дискретный закон распределения количества автомобилей в колонне для i -го опасного груза, т.е. известны вероятности $Pcol_j^i$ — вероятности того, что в колонне i -го опасного груза будет j автомобилей. Разыгрывая эту случайную величину, получаем значения $col_1^i, \dots, col_{w_i}^i$. После каждого полученного значения col_k^i проверяется выполнение условия, что сумма всех полученных ранее значений не превосходит общей суммы годового оборота для данного вида опасных грузов. Последнее значение k принимаем за w_i — общее количество партий.

Для реализации этапа 2 предполагаем, что дата прохождения каждой партии есть дискретная равномерная случайная величина со значениями от 1 до 365. Если есть информация о неравномерности каких-либо потоков в течение года, то она может быть учтена путем выбора иного закона распределения.

Для реализации этапа 3 предполагаем, что время прибытия каждой партии есть непрерывная слу-

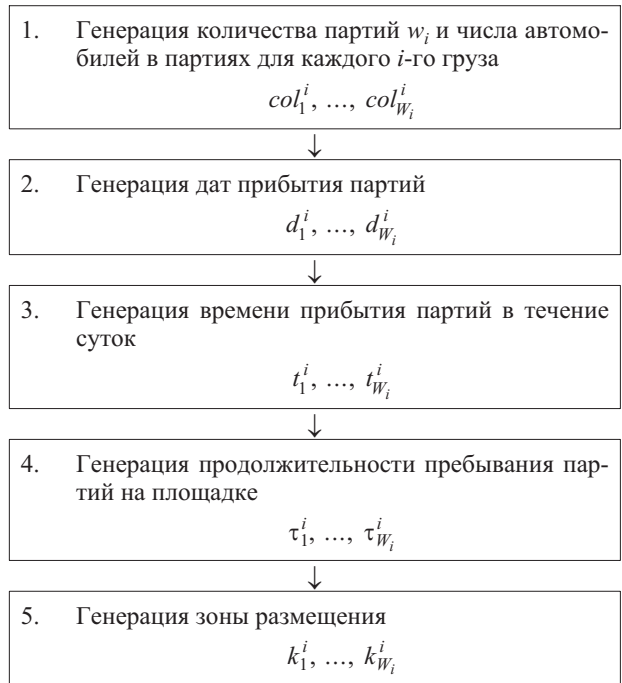


Рис. 2. Схема генерации случайных величин имитационной модели

чайная величина, равномерно распределенная на отрезке $[0, 24]$.

Для реализации этапа 4 предполагаем, что время пребывания автомобиля с i -м опасным грузом на площадке есть случайная величина с нормальным законом распределения $N(\mu_i, \sigma_i)$. Параметры этого распределения μ_i и σ_i определяются из анализа статистических данных или экспертным путем.

Для реализации этапа 5 предполагается, что зона размещения избирается случайным образом, исходя из условия равной вероятности или с учетом специфических правил размещения.

Генерация пассажирского потока (потока личного автотранспорта) происходит аналогичным образом. Однако возникает новый случайный параметр, а именно, количество пассажиров в автотранспортном средстве. Численность пассажиров в автотранспортном средстве будем предполагать случайной величиной с нормальным законом распределения $N(\mu_i, \sigma_i)$. Параметры этого распределения μ_i и σ_i определяются либо из анализа статистических данных, либо экспертным путем.

Разыгрывание ЧС различного характера происходит на основе априорных вероятностей P_1, \dots, P_s , которые предполагаются известными. В модели рассматриваются три вида негативных воздействий на человека: барическое, термическое и химическое. В каждой конкретной реализации ЧС оценивается ожидаемое число погибших по всем трем нега-

тивным воздействиям в зависимости от конкретного сценария развития ЧС.

Данная имитационная модель позволяет, как и в случае с магистральными участками, получить скорректированные вероятности возникновения ЧС, которые используются для решения комплексной задачи зонирования территорий в районе площадок скопления автотранспорта по критериям риска для

населения и территорий. Использование расчетной модели, изложенной в первой части статьи для магистральных участков, и имитационной модели для площадок скопления автотранспорта позволяет осуществить мониторинг прогнозируемых параметров опасных зон, образуемых вследствие взаимодействия грузопотоков повышенной опасности на транспортных автомобильных коммуникациях.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Белов, П. Г.** Теоретические основы системной инженерии безопасности / П. Г. Белов. — М.: ГНТП «Безопасность», МИБ СТС, 1996. — 424 с.
2. **Измалков, В. И.** Техногенная и технологическая безопасность и управление риском / В. И. Измалков, А. В. Измалков. — СПб.: НИЦЭБ РАН, 1998. — 482 с.
3. **Сухарев, А. Г.** Курс методов оптимизации / А. Г. Сухарев, А. В. Тимохов, В. В. Федоров. — М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1986. — 328 с.
4. **Макаров, С. П.** Технические и организационные мероприятия по снижению риска и смягчению последствий ЧС на магистральных нефтепродуктопроводах / С. П. Макаров // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. ВИНТИ. — 2001. — Вып. 5 — С. 72–77.

Поступила в редакцию 19.06.08.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПОЖНАУКА»

Издательство «Пожнаука» уже более 10-ти лет выпускает разнообразную справочную, нормативную и научно-техническую литературу по пожарной безопасности для специалистов, работающих в сфере обеспечения пожарной безопасности.

Журналы «Пожаровзрывобезопасность» и «Пожарная безопасность в строительстве»

С 1992 года издательство «Пожнаука» выпускает журнал «Пожаровзрывобезопасность». Периодичность журнала — 6 номеров в год. В статьях журнала рассматриваются теоретические вопросы и способы практического обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений, технологических процессов и оборудования, современные средства и способы пожаротушения.

В рамках проекта «Пожарная безопасность в строительстве» выпускается приложение к журналу, посвященное современным огнестойким и огнезащитным материалам и конструкциям, новым разработкам и технологическим решениям, а также проблемам противопожарного нормирования.

Научная, справочная и учебная литература

1. А. А. Александров. Процессы горения и взрыва
 2. А. А. Александров. Тухление пламени горючих жидкостей
 3. А. А. Александров. Тухление пламени горючих жидкостей
 4. А. А. Александров. Тухление пламени горючих жидкостей
 5. А. А. Александров. Тухление пламени горючих жидкостей
 6. А. А. Александров. Тухление пламени горючих жидкостей

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

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ В СФЕРЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ



Д-р техн. наук, профессор, академик РАЕН, начальник НИЦ управления безопасностью сложных систем Академии Государственной противопожарной службы МЧС РФ

Н. Н. Брушлинский



Д-р техн. наук, профессор, начальник отдела ФГУ “Главгосэкспертиза России”

Ю. М. Глуховенко



Д-р техн. наук, профессор, главный специалист ФГУ “Главгосэкспертиза России”

В. Б. Коробко



Д-р техн. наук, профессор, член-корр. РАЕН, профессор Академии Государственной противопожарной службы МЧС РФ

С. В. Соколов

УДК 614.841

КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ЭКСПЕРТИЗЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ

Рассматриваются вопросы применения компьютерных технологий для экспертизы пожарной безопасности объектов. Показано, как с помощью компьютерной имитационной системы можно оценить возможности гарнизона противопожарной службы по обеспечению необходимого количества сил и средств в случае возникновения пожара на объекте.

Введение

Оценивая уровень пожарной безопасности того или иного объекта, эксперты тщательно анализируют, прежде всего, пути и время эвакуации людей из него в случае пожара, параметры внутреннего противопожарного водопровода, степень огнестойкости строительных конструкций и ряд других параметров. Предположим, что все они не вызывают у эксперта возражений.

Далее, анализируя возможности пожарного гарнизона в тушении пожара, который может возникнуть на данном объекте, эксперты стараются найти поблизости от него (в 2–3 км по прямой) какое-нибудь пожарное депо с выездной техникой. Если таковое находится, то делается вывод о том, что объект в достаточной степени защищен от пожаров.

В последнем случае эксперты допускают принципиальную ошибку, которую необходимо устранить в практике экспертизы пожарной безопасности объектов. Анализу и способу устранения этой стандартной ошибки посвящена настоящая статья.

Анализ ошибки

Суть ошибки заключается в следующем. Невяно предполагается, что дежурный караул пожарной части всегда свободен, находится в депо в режиме дежурства и ждет вызова на пожар.

Очевидно, что это не так. Определенную часть своего рабочего времени дежурный караул находится на выездах (т.е. в депо его нет) и занят где-то в городе (может быть, на значительном расстоянии от своего депо) боевой работой. При этом, чем крупнее город, тем больше число выездов данного дежурного караула и общее время занятости его боевой работой в течение суток.

Проиллюстрируем данное положение на нескольких примерах.

Рассмотрим средний, большой, крупный и крупнейший города (в соответствии с классификацией СНиП 2.07.01–89* “Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений”). Пусть из любой пожарной части этих городов дежурный караул выезжает за год в среднем 200, 500, 1000 и 3000 раз соответственно (см. таблицу).

Будем предполагать, что потоки вызовов пожарных подразделений в городах, как правило, подчиняются закону Пуассона [1], средняя продолжительность одного выезда подразделения для всех городов составляет 0,75 ч, что хорошо согласуется с реальностью. Вычислим суммарное время занятости боевой работой дежурного караула для каждой пожарной части соответствующего города в течение года (см. таблицу).

Из таблицы следует, что в среднем городе России каждый дежурный караул в 98,3% всего време-

Время занятости дежурных караулов в городах

Город	Среднее число выездов одной пожарной части в год	Приведенная плотность потока выездов $\alpha = \lambda \tau_{ср.зан}$	Вероятность отсутствия вызовов $P_o = e^{-\alpha}$	Вероятность занятости караула $P_{зан} = 1 - P_o$	Суммарное время занятости части за год, ч
Средний (от 50 до 100 тыс. чел.)	200	0,017	0,9830	0,0170	148,9
Большой (от 100 до 250 тыс. чел.)	500	0,057	0,9445	0,0555	486,0
Крупный (от 250 тыс. чел. до 1 млн чел.)	1000	0,086	0,9179	0,0821	718,8
Крупнейший (свыше 1 млн чел.)	3000	0,257	0,7735	0,2265	1984,3

ни действительно свободен от выездов, но, тем не менее, почти 150 ч в течение года он отсутствует в депо, так как работает в городе на обслуживании выездов.

В крупном городе любой дежурный караул занят уже более 8% всего рабочего времени, т.е. почти 720 ч отсутствует в депо.

Наконец, в крупнейшем городе, где, как правило, и находится большинство пожароопасных объектов, подлежащих обязательной экспертизе их пожарной безопасности, любой дежурный караул почти четверть рабочего времени находится на выезде, т.е. работает на обслуживании вызовов без малого 2 тыс. ч ежегодно.

Эти примеры убедительно показывают, что наличие поблизости от объекта пожарного депо абсолютно не гарантирует своевременного прибытия пожарных подразделений в случае возникновения пожара. Ситуация осложняется еще и тем, что на такие объекты в случае пожара, как правило, необходимо высылать не один, а несколько дежурных караулов из разных пожарных частей. Таким образом, оценка своевременного прибытия необходимого количества сил и средств на объект представляет собой отнюдь непростую и весьма актуальную задачу.

Так как никакие аналитические модели не могут помочь решить эту сложную задачу [1], выход нужно искать в построении имитационных моделей оперативной деятельности пожарных подразделений, реализуемых на современных компьютерах. Такие модели (точнее говоря, имитационные системы) созданы в нашей стране в последние десятилетия, хорошо известны во всем мире и все шире используются для решения разнообразных практически важных задач обеспечения безопасности городов и объектов.

В частности, с их помощью разработаны проекты реорганизации противопожарных служб (ППС) г.г. Москвы и Санкт-Петербурга, одобренные и утвержденные руководством этих городов. Такая же работа выполнена для многих городов Германии, Хорватии, Эстонии, Турции (и не только для противопожарных служб, но и для скорой медицинской помощи, газовой службы), а в настоящее

время выполняется для Объединенных Арабских Эмиратов.

Авторами разработана методология использования указанных компьютерных технологий для проведения экспертиз пожарной безопасности особо важных объектов городов и территорий, сущность которой изложена ниже.

Общее описание компьютерной имитационной системы КОСМАС

Созданию данной системы предшествовало построение математической теории функционирования экстренных и аварийно-спасательных служб (ЭАСС), разработанной в 70–80-е гг. XX в. и опирающейся, главным образом, на теорию марковских случайных процессов. Основным недостатком этой теории является то, что она, вполне удовлетворительно описывая процесс функционирования ЭАСС во времени, не может описывать его в пространстве, что в данном случае чрезвычайно важно [1].

Поэтому уже в середине 70-х гг. прошлого столетия начали создавать первые простейшие имитационные модели процесса функционирования ЭАСС. С быстрым ростом возможностей вычислительной техники совершенствовались и имитационные модели. В результате к середине 90-х гг. были разработаны первые современные версии системы КОСМАС (КОмпьютерная Система Моделирования Аварийных Служб).

Что же такое КОСМАС? Это — программный продукт, т.е. объединенный в единую систему комплекс программ для ЭВМ, воспроизводящий алгоритмы, последовательно описывающие (имитирующие) все детали процесса функционирования ЭАСС.

В компьютерной имитационной системе (КИС) КОСМАС город (территория) представляется в виде графа уличной сети и непрерывного пространства заданной конфигурации, на котором определены места дислокации различных городских объектов, больниц, подразделений ЭАСС, районы их обслуживания, техника, размещенная в каждом депо и др.

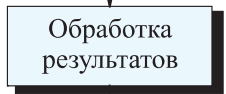
ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ
(регулируемые параметры)

- Параметры города:**
- топография
 - уличная сеть
 - скорости движения
 - основные объекты
 - другие

- Параметры ППС:**
- число депо (станций)
 - дислокация депо
 - районы обслуживания
 - число отделений
 - типы отделений
 - распределение отделений по депо
 - варианты диспетчеризации
 - расписание выездов
 - графики дежурства
 - численность персонала
 - другие

- Статистические параметры:**
- распределение потока вызовов во времени (по месяцам, дням недели, часам суток) и в пространстве (по территории города)
 - структура потока вызовов
 - распределение временных характеристик: времени диспетчеризации, сбора и выезда, следования и ликвидации, причины вызова
 - другие

ЦЕЛЕВАЯ УСТАНОВКА



МОДЕЛИРУЮЩИЙ АЛГОРИТМ

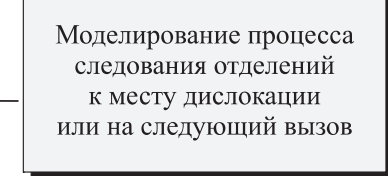
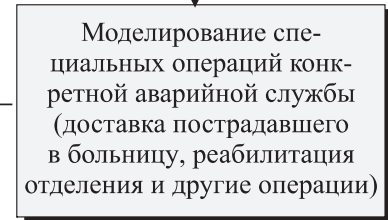
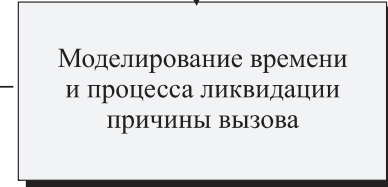
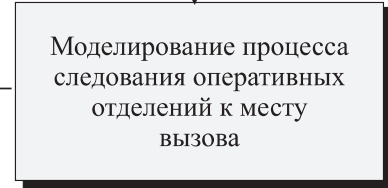
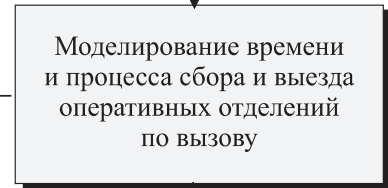
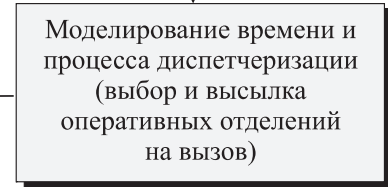
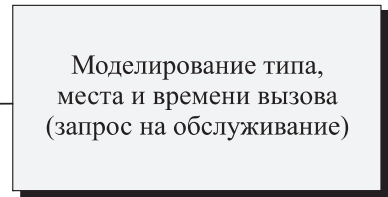


Рис. 1. Общая структура имитационной системы КОСМАС

Уличная сеть в КИС представляется в “векторном” виде. В качестве “узлов” транспортной сети рассматриваются концы отрезков различной длины, из которых состоит уличная сеть (в том числе и перекрестки, т.е. места пересечения отдельных отрезков). Каждому отрезку может быть присвоена своя скорость движения (скорость может меняться в зависимости от времени суток) и направление движения, каждому перекрестку — возможности поворотов в ту или иную сторону. В качестве базового алгоритма поиска оптимальных маршрутов в транспортной сети используется алгоритм Дейкстры [2].

В процессе имитации КОСМАС решает широкий спектр практически важных задач. Так, например, варьируя число пунктов дислокации ЭАСС (пожарных депо, станций скорой помощи и пр.), места их расположения, количество и типы размещенной в них техники, границы районов выезда, варианты диспетчеризации, скорости движения автомобилей в разных частях города, плотность потоков вызовов в целом по городу и в отдельных его районах и т.д., можно получать любые характеристики процессов функционирования ЭАСС и выбирать наиболее рациональные и экономичные варианты их организационных структур.

КОСМАС предназначена для ответов на вопросы типа: что произойдет в городе, если а) закрыть часть депо (станций) или, наоборот, построить несколько новых депо? б) изменить границы районов обслуживания? в) убрать (или добавить) несколько оперативных отделений (на автоцистернах, машинах скорой помощи и др.)? и на другие подобные вопросы.

На рис. 1 представлена общая структура имитационной системы КОСМАС. Эта система хорошо

известна специалистам многих стран мира и имеет множество международных наград (дипломов и медалей).

Авторы данной статьи, в частности, предложили новый метод проведения экспертизы пожарной безопасности объектов с помощью этой системы. Рассмотрим его сущность на конкретном примере.

Экспертиза пожарной безопасности нового стадиона в г. Санкт-Петербурге

В г. Санкт-Петербурге, на западной оконечности Крестовского острова, на берегу Финского залива ведется строительство главного футбольного стадиона города. В дни футбольных матчей на трибунах стадиона будут собираться до 50 тыс. чел., комплексная (в том числе и пожарная) безопасность которых должна быть обеспечена на самом высоком уровне.

Первый шаг экспертизы заключается в выяснении дислокации ближайших подразделений гарнизона ППС города. Обнаруживается, что на самом Крестовском острове вообще отсутствуют какие-либо подразделения пожарной охраны, но в пределах 9 км от стадиона (по существующей транспортной сети города) дислоцируются 7 пожарных частей, первые подразделения которых могут прибыть к объекту только через 11–15 мин после поступления вызова, если все они окажутся свободными от обслуживания других вызовов (рис. 2).

Эти заключения можно сделать с помощью любой географической информационной системы (ГИС).

Далее авторами был разработан комплекс имитационных экспериментов, которые можно реализовать только с помощью компьютерной имитационной системы КОСМАС.

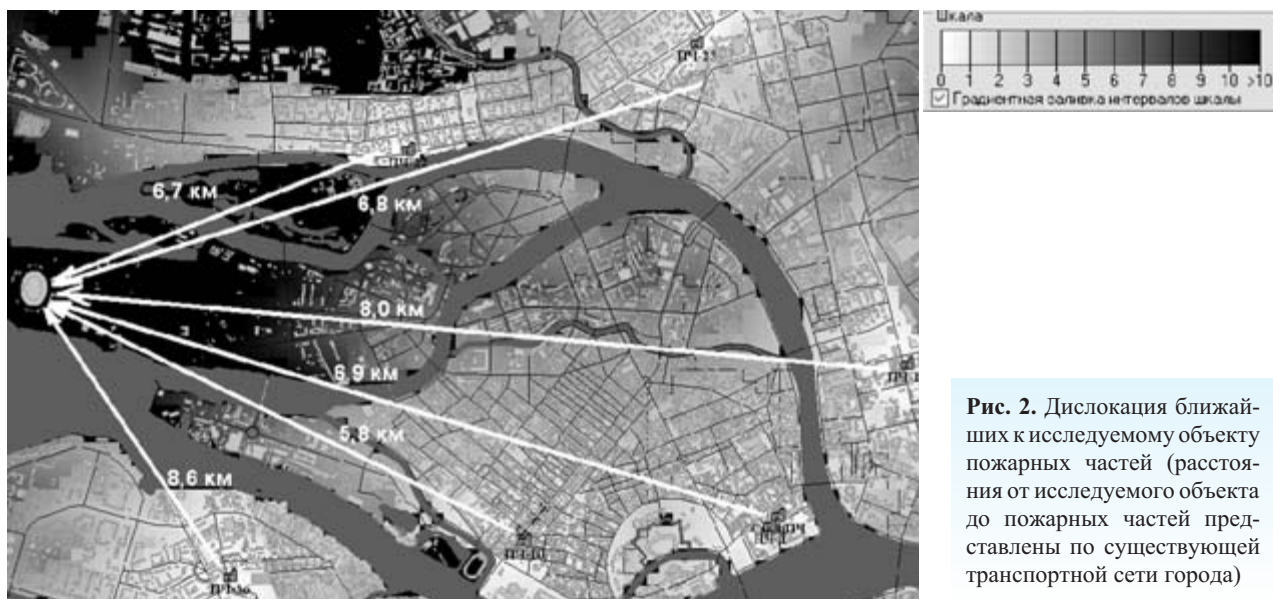


Рис. 2. Дислокация ближайших к исследуемому объекту пожарных частей (расстояния от исследуемого объекта до пожарных частей представлены по существующей транспортной сети города)

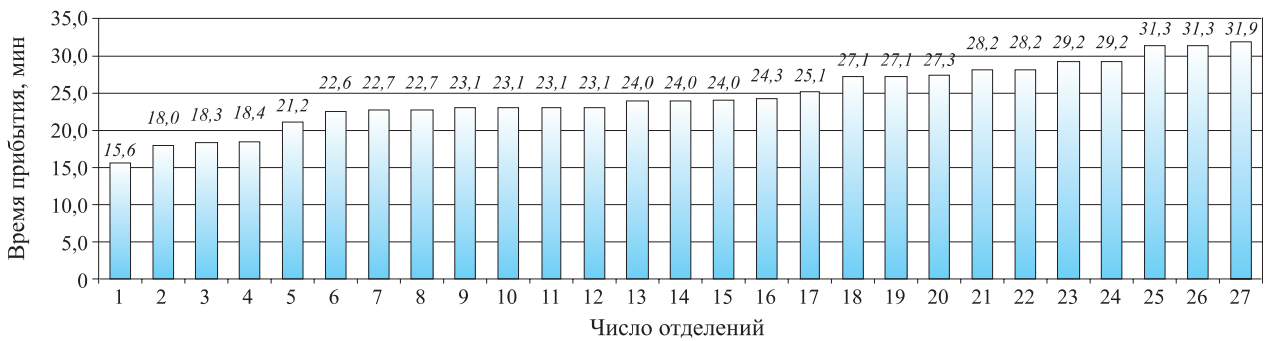


Рис. 3. Распределение времени прибытия к исследуемому объекту для различного числа оперативных отделений

Комплекс экспериментов состоит из четырех серий (каждая по пять прогонов). В предположении, что на стадионе может возникнуть крупный пожар (взята наихудшая ситуация — ранг вызова № 5), на который в соответствии с расписанием выездов пожарных подразделений г. Санкт-Петербурга должны быть собраны порядка 27 оперативных отделений, были проиграны четыре возможных сценария сбора требуемых сил и средств гарнизона при:

- текущих параметрах оперативной обстановки в городе;
- гипотетическом увеличении плотности потока вызовов в 2 раза;
- возникновении ситуации одновременного обслуживания двух крупных пожаров (один —

на исследуемом объекте, другой — в соседних районах);

- изменении скоростных характеристик уличной сети города (образование “пробок”, перекрытия улиц и т.п.).

Очевидно, что подобных вариантов моделирования, их комбинаций может быть достаточно много и все они могут быть реализованы только с помощью КИС КОСМАС.

Результаты моделирования оказались следующими:

1) при текущих параметрах оперативной обстановки в городе время сосредоточения необходимого количества сил и средств к исследуемому объекту по рангу вызова № 5 (27 оперативных отделений) в случае возникновения пожара будет находиться в интервале от 16 до 32 мин (рис. 3), при этом 50% сил и средств смогут прибыть к месту вызова только через 22–23 мин (рис. 4). Следует иметь в виду, что все оперативные отделения соберутся в указанный интервал только в 34% случаев, в других случаях это время окажется большим (рис. 5);

2) при гипотетическом увеличении плотности потока вызовов в 2 раза время сосредоточения необходимого количества сил и средств в исследуемый район будет находиться в интервале от 16 до 48 мин, при этом только в 22% случаев все оперативные отделения соберутся в течение указанного интервала

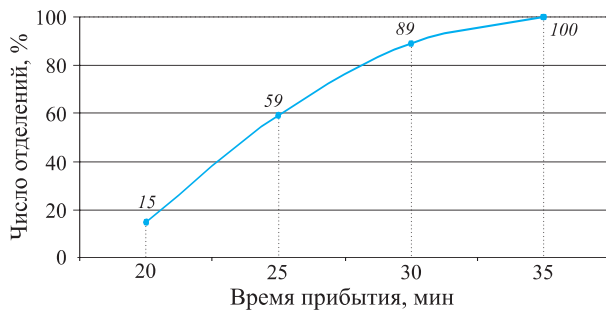


Рис. 4. Кумулята времени прибытия к исследуемому объекту

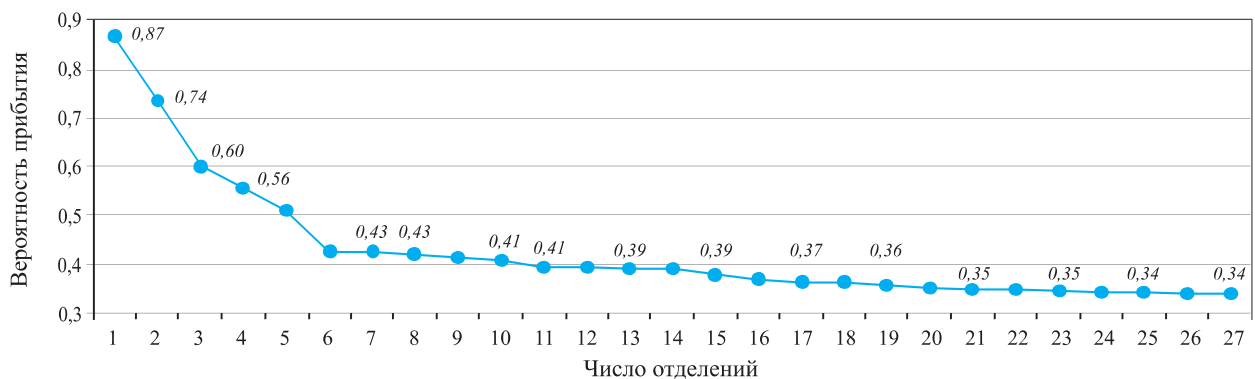


Рис. 5. Распределение вероятностей прибытия к исследуемому объекту различного числа оперативных отделений

(за счет увеличения случаев одновременных вызовов). Для некоторых типов оперативных отделений возможны отклонения во времени прибытия до 45%, связанные с их занятостью обслуживанием других вызовов;

3) при возникновении ситуации одновременно обслуживания двух крупных чрезвычайных ситуаций (ЧС) на исследуемом объекте и в соседних районах время сосредоточения необходимого количества сил и средств существенно повысится и будет находиться в интервале от 20 до 80 мин. При этом для некоторых отделений возможны существенные отклонения времени прибытия (до 60%), а некоторые из них вообще не смогут своевременно прибыть к месту вызова в силу своей занятости на других вызовах, т.е. вместо 27 к месту вызова в указанные временные рамки сможет прибыть меньшее число оперативных отделений;

4) при изменении скоростных характеристик уличной сети города время сосредоточения необходимого количества сил и средств к месту вызова (при текущих параметрах оперативной обстановки) увеличится и будет находиться в интервале от 18 до 39 мин.

Рекомендации. Для обеспечения своевременного прибытия необходимого количества сил и средств противопожарной службы МЧС для ликвидации возможного пожара на футбольном стадионе можно предложить следующее:

1) для защиты исследуемого объекта и всего Крестовского острова, инфраструктура которого в соответствии с Генеральным планом развития горо-

да на период до 2025 г. будет интенсивно развиваться, можно рекомендовать размещение на острове небольшого пожарного депо (на 2–3 бокса). В этом случае время прибытия первых пожарных подразделений к исследуемому объекту снизится с 16 до 2–3 мин;

2) на исследуемом объекте можно предусмотреть оборудование 1–2 боксов для размещения пожарной техники и личного состава противопожарной службы для осуществления дежурства в период работы спортивного комплекса;

3) целесообразна организация на стадионе частной пожарной охраны для оказания помощи в обеспечении пожарной безопасности (по аналогии со спортивным комплексом “Лужники” в г. Москве);

4) в случае возникновения крупных ЧС в исследуемом районе следует производить передислокацию свободной техники из удаленных пожарных частей в расположенные вблизи исследуемого объекта, что позволит (в случае необходимости) снизить время прибытия в данный район первых оперативных подразделений.

Заключение

По предложенной схеме авторами проводится экспертиза пожарной безопасности различных объектов в г.г. Москве, Санкт-Петербурге, Сочи и др. Результаты экспертизы, в частности, сразу выявляют принципиальные недостатки в структуре и организации деятельности гарнизонов противопожарной службы исследуемых городов и эффективно помогают их устранить.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Брушлинский, Н. Н.** Безопасность городов. Имитационное моделирование городских процессов и систем / Н. Н. Брушлинский, С. В. Соколов, П. Вагнер [и др.]. — М.: ФАЗИС, 2004. — 172 с.
2. **Гудман, С.** Введение в разработку и анализ алгоритмов / С. Гудман, С. Хидетниеме. — М.: Мир, 1981. — 366 с.

Поступила в редакцию 06.06.08.



Доцент Московского государственного
технического университета
гражданской авиации

А. Н. Бочкарев

УДК 658/562:621.396:681.5

АНАЛИЗ ИНЦИДЕНТОВ, СВЯЗАННЫХ С ПОЖАРАМИ В АЭРОПОРТАХ, И МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА

Даются анализ пожаров в аэропортах и методы противопожарного обеспечения объектов аэропорта и полетов воздушных судов. Рассматриваются состав сменных дежурных расчетов аварийно-спасательной команды аэропорта и их задачи.

Проведенный анализ показывает, что пожары в аэропортах всегда влекут за собой огромные материальные и финансовые потери, сбой в расписании или отмену полетов воздушных судов, приводят к человеческим жертвам. Причиной их могут быть несоблюдение правил пожарной безопасности, неисправность электропроводки и оборудования, крушение воздушных судов, самовоспламенение горючих веществ и предметов, незадекларированные опасные грузы, акты незаконного вмешательства в деятельность авиации, теракты, другие факторы.

27 апреля 2004 г. в новом здании Международного аэропорта г. Алматы произошло возгорание проводки между кровлей и карнизом здания. Причиной этого стало замыкание проводки, после чего утеплитель, на которую попала искра, начал тлеть. Пожар был своевременно потушен.

В 2004 г. произошел пожар в парижском аэропорту им. Шарля де Голля, здесь загорелось багажное отделение. Из здания аэропорта в срочном порядке были эвакуированы сотни человек. В результате пожара был перенесен вылет 7 рейсов.

В октябре 2005 г. крупный пожар произошел в Международном аэропорту г. Амстердама. По меньшей мере 11 человек погибли и 15 были госпитализированы в результате пожара в помещении для депортируемых. Предполагаемая причина пожара — возгорание электропроводки.

В мае 2006 г. кризисная ситуация возникла в аэропорту им. Ататюрка в г. Стамбуле (см. рисунок). Сильнейший пожар вспыхнул в грузовом терминале. Полеты были прекращены, люди эвакуированы из здания. В результате пожара нанесен огромный материальный ущерб.

В декабре 2006 г. на автомобильной стоянке мадридского аэропорта “Баракас” возник сильный пожар. Причиной тому послужил взрыв начиненного взрывчаткой автомобиля “Renault-Traffic” в 9.15 в секторе “С” пятиэтажной автомобильной стоянки четвертого терминала аэропорта, который вызвал обрушение четырех этажей стоянки и загорание десятков машин. Полиция считает, что за взрывом, в результате которого несколько человек погибли и более 30 получили ранения, стоит баскская сепаратистская группировка ЭТА.

30 июня 2007 г. в аэропорту г. Глазго (Англия) двое неизвестных мужчин на джипе “Чероки” пытались протаранить стеклянный вход в основное здание пассажирского терминала, что явилось террористическим нападением с использованием автомобиля, в котором были обнаружены воспламеняющиеся материалы. Во время нападения на пассажирский терминал от автомобиля террористов



Пожар в аэропорту г. Стамбула

загорелось здание аэровокзала. В ходе теракта пострадали несколько человек. Один пассажир был доставлен в госпиталь. Терминалу причинен значительный ущерб, а аэропорт был закрыт до тех пор, пока там не были обеспечены соответствующие условия безопасности. Отмена рейсов из-за теракта затронула, по данным властей, около 35 тыс. человек.

В апреле 2008 г. пожар вспыхнул в аэропорту “Мехрабад” в Иране. По свидетельствам очевидцев, клубы дыма поднимались вокруг всего здания аэропорта. Причиной пожара явилось крушение воздушного судна. Пожар потушен.

В России в г. Депутатский (Усть-Янский район Якутии) сгорело административное здание аэропорта. Как сообщили в МЧС республики, около полудня в мастерской авиатехников возник пожар из-за замыкания электропроводки. Более 4 ч пожарные боролись с огнем, но отстоять здание не смогли. От трехэтажного строения остались одни головешки.

Для предотвращения пожаров в аэропортах, а при возможном возгорании — быстрого тушения очага пожара необходима хорошо организованная система авиационной безопасности и противопожарного обеспечения объектов аэропорта и полетов воздушных судов. Эта система должна включать:

1) обеспечение пожарной безопасности, своевременное обнаружение и тушение пожаров на воздушных судах при их техническом обслуживании и наземных объектах аэропорта (в том числе с использованием автоматических систем пожарной сигнализации);

2) противопожарное обеспечение при проведении на территории аэропорта пожароопасных работ (электрогазосварочные и огневые работы при строительстве, ремонте и реконструкции объектов аэропорта, утилизация списанных воздушных судов и т.д.) выставлением пожарного автомобиля с боевым расчетом;

3) организация и проведение профессиональной подготовки пожарно-спасательных расчетов. Проведение теоретических и практических занятий с личным составом пожарно-спасательного расчета по изучению и отработке действий при авиационных происшествиях, выполнении аварийно-спасательных работ и тушении пожаров на наземных объектах гражданской авиации. Обучение нештатных расчетов аварийно-спасательной команды правилам и методам поисковых и аварийно-спасательных работ;

4) подготовка необходимой документации в части противопожарного обеспечения полетов воздушных судов и объектов аэропорта (разработка и согласование оперативных планов и карточек пожаротушения на воздушных судах и объектах граж-

данской авиации, проектов приказов, инструкций и иных организационно-распорядительных документов по вопросам пожарной безопасности в аэропорту);

5) взаимодействие с другими подразделениями при ликвидации пожаров и проведении аварийно-спасательных работ;

6) осуществление обследований и целевых проверок противопожарного состояния объектов аэропорта, разработка и предложение руководителям структурных подразделений аэропорта мероприятий по обеспечению и укреплению противопожарной защиты зданий, сооружений и производственных процессов;

7) контроль своевременности выполнения противопожарных мероприятий, предложенных работниками отдела пожарной профилактики аэропорта, надзор за соблюдением в аэропорту противопожарного режима, состоянием первичных средств пожаротушения и систем автоматической пожарной защиты;

8) обучение работников аэропорта, в том числе временно работающих, мерам пожарной безопасности и действиям в случае возникновения пожара, проведение первичных, повторных и целевых инструктажей;

9) проверка внутреннего и наружного противопожарного водоснабжения, естественных и искусственных водоисточников в зданиях и на территории аэропорта;

10) проведение плановых испытаний аэродромной пожарной техники, оборудования, снаряжения, пожарно-технического вооружения и пожарных рукавов.

Аварийно-спасательная команда (АСК) в аэропорту обычно состоит из четырех сменных аварийно-спасательных команд, основными задачами которых являются поиск, спасание пассажиров и членов экипажей, ценного оборудования и груза, техники при авиационных происшествиях, проведение аварийно-спасательных работ при возникновении чрезвычайных ситуаций на объектах аэропорта. АСК состоят из штатных и нештатных формирований (расчетов).

Штатные расчеты сменной АСК должны быть сформированы из сменных пожарно-спасательных команд службы поискового и аварийно-спасательного обеспечения полетов (ПАСОП) аэропорта и обязаны выполнять следующие задачи:

- обеспечение спасания пассажиров при авиационных происшествиях и тушение возникших при этом пожаров;
- обеспечение пожарной безопасности при эвакуации воздушных судов;

- выезд для наземного поиска потерпевшего бедствие воздушного судна и проведения аварийно-спасательных работ;
- противопожарное обеспечение, спасание людей и тушение пожаров на наземных объектах аэропорта;
- проведение аварийно-спасательных работ при возникновении других видов чрезвычайных ситуаций на территории аэропорта.

Пожарная техника, аварийно-спасательное оборудование, пожарно-техническое вооружение и личный состав пожарно-спасательных расчетов обычно дислоцируются на нескольких стартовых аварийно-спасательных станциях (например, АСС-1 у ИВП-1; АСС-2 у ИВП-2; АСС-3 у ИВП-3) и на Центральной аварийно-спасательной станции аэропорта, расположенной среди объектов его инфраструктуры.

В состав сменных дежурных расчетов АСК входят:

- расчет *службы авиационной безопасности*, выезжающий на оперативной машине в составе поисково-спасательных групп и при необходимости привлекаемый по вызову при авиационном происшествии на территории аэродрома с задачами:
 - оцепление и обозначение места авиационного происшествия;
 - обеспечение контроля доступа к месту авиационного происшествия;
 - организация пропуска и сопровождения к месту происшествия аварийно-спасательных сил и средств взаимодействующих организаций;
 - охрана личных вещей, багажа, почты и грузов, снятых с воздушных судов, средств объективного контроля параметров полета воздушных судов;
 - предотвращение паники;
- расчет *медицинской службы* на санитарной машине, выезжающий в составе поисково-спасательной группы для проведения поисково-спасательных работ и при авиационных происшествиях на территории аэродрома с задачами:
 - оказание первой медицинской помощи пострадавшим непосредственно на месте авиационного происшествия в безопасной зоне (100 м от места авиационного происшествия с подветренной стороны);
 - сортировка пострадавших по степени полученных травм;
 - подготовка и сдача пострадавших прибывшим расчетам скорой помощи для их отправки в медицинские учреждения;
- расчет *службы связи* на автомобиле связи, выезжающий на территорию аэродрома и за ее пределы в составе поисково-спасательной группы с задачей обеспечения органа УВД и руководителя аварийно-спасательных работ устойчивой и постоянно действующей двухсторонней связью с:
 - поисковыми воздушными судами и составом поисково-спасательной группы;
 - расчетами АСК при их оповещении, подготовке и проведении аварийно-спасательных работ;
 - взаимодействующими структурами при оповещении и проведении поисковых и аварийно-спасательных работ;
 - оперативным штабом;
- расчет *аэродромной службы* на специальной технике, действующий при авиационных происшествиях в аэропорту, с задачами:
 - прокладывание путей к месту авиационного происшествия;
 - оказание помощи при эвакуации людей с борта воздушного судна и тушении пожара;
 - эвакуация воздушного судна с места авиационного происшествия;
 - приведение в рабочее состояние летного поля аэродрома;
- расчет *службы пассажирских перевозок* на специальной технике с задачами:
 - прием, учет и перевозка пассажиров с места авиационного происшествия;
 - выгрузка багажа из воздушного судна и его транспортировка;
 - оказание помощи в переноске пострадавших на носилках в безопасные места расположения медицинского расчета;
- расчет *ЭСТОП* (структурное подразделение аэропорта, осуществляющее светотехническое обеспечение полетов воздушных судов и централизованное снабжение электроэнергией промышленной частоты служебно-производственных объектов аэропорта) на транспорте с задачами обеспечения расчетов аварийно-спасательной команды устойчивым электропитанием и освещения места авиационного происшествия;
- расчет *информационно-аналитической системы* (ИАС), действующий при авиационных происшествиях в аэропорту и выезжающий в составе поисково-спасательной группы, с задачами:
 - обеспечение открытия основных и аварийных выходов фюзеляжа воздушного судна;
 - вскрытие при необходимости совместно с пожарными обшивки воздушного судна;
 - оказание помощи пассажирам и членам экипажа при их эвакуации, переноска пострадавших;

давших на носилках к месту расположения медицинского расчета;

- вентиляция воздушного судна;
- эвакуация воздушного судна с места авиационного происшествия;

- расчет *службы грузовых перевозок* на автомобиле, действующий при авиационных происшествиях в аэропорту, с задачами выгрузки грузов из воздушного судна, их транспортировки и размещения;
- расчет *службы горюче-смазочных материалов* на керосиносливе, действующий при авиационных происшествиях в аэропорту с задачей слива топлива из аварийного воздушного судна;
- расчет *линейного Управления внутренних дел и отдела Госавтоинспекции* на оперативной машине, выезжающий на территорию аэродрома и за ее пределы в составе поисково-спасательной группы, с задачей обеспечения сопровождения колонны поисково-спасательной группы и выполнения функций по сцеплению и контролю доступа к месту авиационного происшествия.

Система оповещения и связи при возникновении предусмотренных в аэропорту аварийных ситуаций включает в себя комплекс технических средств, состоящий из устройств передачи голосовой информации по прямым телефонным линиям, циркулярной системы оповещения, телефонной и радиосвязи.

Для сбора аварийно-спасательной команды подаются сигналы оповещения:

- **ТРЕВОГА** — авиационное происшествие произошло внезапно или до ожидаемой посадки в аэропорту терпящего бедствие воздушного суд-

на остается менее 30 мин. Оповещение по данному сигналу производится при необходимости принятия немедленных действий по проведению поисковых и аварийно-спасательных работ в следующих случаях:

- при получении сообщения (сигнала) о бедствии или аварийной информации от экипажа воздушного судна;
- при визуальном наблюдении происшествия при взлете или посадке;
- при потере радиосвязи с воздушным судном в районе аэродрома и пропадании его метки на экране радиолокатора;
- **ГОТОВНОСТЬ** — до ожидаемой посадки в аэропорту терпящего бедствие воздушного судна остается 30 мин и более;
- **ОТБОЙ** — работа аварийно-спасательной команды завершена или в ней отпала необходимость.

При поступлении в Управление воздушным движением аварийной информации с борта воздушного судна оповещение расчетов аварийно-спасательных команд производится руководителем полетов и диспетчерами Управления воздушным движением циркулярно за время, не превышающее 25 с.

Радиообмен между расчетами аварийно-спасательных команд при выполнении поисковых и аварийно-спасательных работ осуществляется на отдельном аварийном канале связи.

Четко отработанные и своевременно выполненные практические действия аварийно-спасательных команд помогут эффективно ликвидировать очаги возгорания на объектах гражданской авиации, сохранить материальные ценности и спасти людей.

Поступила в редакцию 27.05.08.



Аспирант Московского
государственного
строительного университета
П. В. Шмурнов

УДК 614.84

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СИСТЕМ ВОЗДУХОВОДОВ МЕСТНЫХ ОТСОСОВ

Представлена статистика пожаров и взрывов, вызванных самовозгоранием веществ и материалов в оборудовании и, в частности, отложений в воздуховодах местных отсосов. Статистика показывает, что изучению процессов аккумуляции отложений в воздуховодах, условий их самовозгорания уделено недостаточно внимания. Для изучения данной задачи необходимо провести исследования, которые будут опубликованы в дальнейшем, направленные на выявление закономерностей образования отложений в воздуховодах, условий их возгорания, а также на обеспечение пожарной безопасности местных отсосов промышленных и сельскохозяйственных предприятий.

Пожаровзрывоопасность объектов обуславливается особенностями технологических процессов, количеством и физико-химическими свойствами обращающихся в них горючих веществ, типом используемого оборудования [1, 2].

При авариях в помещениях взрывоопасные среды возникают в первую очередь вблизи места утечки или выброса горючих веществ и материалов, а затем могут распространяться по всему объему. Для локализации утечек и выбросов горючих веществ и материалов и предотвращения пожаров и взрывов наряду с общеобменной приточно-вытяжной и аварийной вентиляцией применяют местные отсосы, которые устанавливают в местах генерации пожаровзрывоопасных сред.

Системы местных отсосов выполняются, как правило, отдельно от систем общеобменной вентиляции. Это обуславливается следующими соображениями.

Некоторые вещества, удаляемые по одному вентиляционному каналу, могут быть несовместимы друг с другом и при взаимодействии приводить к образованию взрывоопасных смесей. Имеются также вещества, которые в силу различных причин могут осажаться или конденсироваться в воздуховодах, вентиляционном оборудовании. При этом возникают горючие отложения, склонные к самовозгоранию, а также жидкие фракции, образующие при повышенных температурах пары воды, легко воспламеняющихся и горючих жидкостей.

Основные черты механизма самовозгорания отложений заключаются в следующем.

Твердые горючие вещества окисляются на воздухе даже при сравнительно низкой температуре.

Процесс окисления в условиях термической и термоокислительной деструкции сопровождается разогревом. Рост температуры приводит к увеличению скорости реакции и дальнейшему самопроизвольному разогреву. При определенных условиях скорость выделения тепла в процессе окисления горючих веществ и материалов может превышать скорость его потерь. Отмеченное, в свою очередь, приводит к непрерывному росту температуры вещества (материала) и его самовоспламенению. В этом случае для перехода к пламенному горению не требуется внешнего источника зажигания, вещество (материал) воспламеняется под действием суммарного тепловыделения химических реакций процесса.

Из сказанного следует, что пожарная опасность местных отсосов обусловлена следующими данными:

- режимами работы технологического и вентиляционного оборудования;
- показателями пожарной опасности отложений, продуктов термической и термоокислительной деструкции веществ и материалов, их конденсации;
- кинетическими и теплофизическими параметрами процесса самовозгорания отложений;
- критическими параметрами (толщина слоя отложений, период индукции достижения предельного по толщине слоя отложений, температура, при которой возможно воспламенение отложений, образование взрывоопасных концентраций паров и пыли в вентиляционных каналах, по которым при наличии источника зажигания возможно распространение пламени газо-, паро- и пылевоздушных смесей), характеризующими условия самовозгорания отложений в местных отсосах [3].

Достаточно полные и систематизированные данные о пожарах по причине самовозгорания в машиностроительных и других отраслях промышленности России и за рубежом представлены в монографии [3].

За период с 1986 по 1991 гг. с тенденцией роста по годам в машиностроительных отраслях произошло около 2 тыс. пожаров (~30% общего их количества).

Анализ пожаров в эти же годы в окрасочном оборудовании на предприятиях автотракторной промышленности также показал их рост из года в год, причем наибольшее количество пожаров (28,9%) произошло в результате самовозгорания отложений лакокрасочных материалов.

В подавляющем числе аварий пожары и взрывы случаются в технологическом оборудовании (83,2% всех взрывов и пожаров [4]). В отрасли хлебопродуктов на предприятиях по хранению и переработке зерна в технологическом оборудовании (силосы, бункеры, норрии, циклоны) за 20 лет (1971–1990 гг.) произошло 195 взрывов, из них 44 (22,5%) — по причине самовозгорания [5]. В эти же годы на рассматриваемых предприятиях произошло 2879 пожаров, причем возникновение значительной их части связано с самовозгоранием сельскохозяйственной продукции.

Характерным по феноменологии возникновения и развития является катастрофический взрыв на Минском радиозаводе (1972 г.). Он был инициирован воспламенением отложений, накопившихся в системе местных отсосов шлифовальных станков. В результате взрыва полностью разрушено производственное здание, пострадали сотни людей [3].

Из большого многообразия видов и типов оборудования наиболее пожаровзрывоопасными являются сушильные агрегаты. На них приходится 28,2% случаев от общего числа пожаров в оборудовании [4]. На предприятиях по хранению и переработке зерна за двадцатилетний период в сушилках произошло 6,1% взрывов от общего их числа (12 взрывов), а рост пожаров составил 1,4 раза [5]. Наиболее частой причиной пожаров и взрывов сушильных агрегатов является самовозгорание веществ и материалов (23,6%) [4].

В публикации [6] представлены сведения о 60 пожарах в сушильном оборудовании, из них 10 (~21%) произошли по причине самовозгорания.

В работах [7–18] приводятся сведения о пожарах, возникших в вентиляционных системах транспорта горючих паровоздушных смесей, инициированных горючими отложениями. Особенно часто пожары в воздуховодах происходят в лакокрасочных цехах, окрасочном оборудовании предприятий

машиностроения, изготовления мебели и бытовой продукции.

Характерным является пожар [11], который произошел в одном из цехов фабрики “Свобода” (г. Москва), выпускающей различные виды парфюмерной продукции, в частности зубную пасту. В тубы для пасты в автоматическом режиме в шкафах с вентиляционными отсосами при температурах выше 200°C наносятся слои лака для предотвращения контакта между металлом и пастой, а снаружи — краски. На протяжении нескольких месяцев в воздуховодах, особенно в местах изгибов и в вертикально расположенных каналах, скапливались продукты термической и термоокислительной деструкции лаков и красок. Тлеющие материалы отложений температурой выше 250°C воспламенили горючие паровоздушные смеси в воздуховодах, что привело к быстрому распространению пожара в цехе.

В работе [19] даются сведения о пожарах 60–90-х гг., связанных с самовозгоранием отложений в технологическом оборудовании, при этом путями распространения пожара служили воздухопроводы местных отсосов.

Особую опасность в этом отношении представляют общественные здания и, в частности, высотные гостиницы. В них кухни обычно располагаются на нижних этажах. В монографии [20] описывается пожар в одной из гостиниц Испании, который начался от вспышки масла в противне-жаровне, а затем по жировым отложениям вентиляционных каналов местных отсосов в считанные минуты распространился по всем этажам здания, отрезав пути эвакуации людей. На пожаре погибли 75 и ранены 110 человек.

Одним из наиболее крупных пожаров последних лет (1993 г.) в нашей стране, который принял большие размеры из-за быстрого распространения огня по горючим отложениям вентиляционных каналов, является пожар на КамАЗе [19]. В результате этого пожара был полностью уничтожен завод двигателей.

С 1995 г. статистикой [21–23] учитываются пожары, произошедшие непосредственно по причине самовозгорания. По этим данным подобных пожаров в 1995–2005 гг. происходило 1–2 тыс. в год, причем на транспорте — от 42 до 127 пожаров в год. В рассматриваемый период самовозгорание становилось причиной 1,38 крупного пожара (с существенным материальным ущербом) в среднем за год. В результате этих пожаров ежегодно погибали от 5 до 12 человек.

Выполненный анализ пожаров и взрывов, вызванных самовозгоранием веществ и материалов в оборудовании и, в частности, отложений местных отсосов, показывает, что эта проблема является ма-

лоисследованной. В фундаментальной работе [19] частной задаче, а именно изучению процессов аккумуляции отложений в воздуховодах местных отсосов, условий их самовозгорания, уделено недостаточно внимания. В серии работ, планируемых к опубликованию в дальнейшем, будут представлены

результаты исследований, направленных на выявление закономерностей образования отложений в воздуховодах местных отсосов, условий их самовозгорания, а также на разработку мероприятий по обеспечению пожарной безопасности местных отсосов промышленных и сельскохозяйственных предприятий.

ЛИТЕРАТУРА

1. **ГОСТ 12.1.004–91***. Пожарная безопасность. Общие требования.
2. **ГОСТ 12.3.047–98**. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.
3. **Корольченко, А. Я.** Пожаровзрывоопасность промышленной пыли / А. Я. Корольченко. — М.: Химия, 1986. — 213 с.
4. **Корольченко, А. Я.** Пожаровзрывоопасность процессов сушки / А. Я. Корольченко. — М.: Стройиздат, 1987. — 154 с.
5. **Вогман, Л. П.** Пожарная безопасность элеваторов / Л. П. Вогман, В. И. Горшков, А. Г. Дегтярев. — М.: Стройиздат, 1993. — 289 с.
6. Пожар в выводной вентиляционной трубе на заводе гальванических лакокрасочных покрытий // *Касай*. — 1985. — Т. 35. — С. 36–40.
7. **Логинов, Ф. Л.** Противопожарные мероприятия при окраске и сушке изделий / Ф. Л. Логинов. — М.: Стройиздат, 1973. — 128 с.
8. **Морогов, М.** Самовозгорание лаков и красок в воздуховодах / М. Морогов // Пожарное дело. — 1979. — № 1. — С. 28.
9. **Никитина, Н. С.** Склонность нитроотходов к самовозгоранию / Н. С. Никитина // Пожарная профилактика: Сб. науч. тр. МКХ РСФСР, 1961. — С. 93–116.
10. Предупреждение загораний в эмальпечах // Пожарное дело. — 1961. — № 5. — С. 9.
11. **Вогман, Л. П.** Опасность отложений в воздуховодах вентиляционных систем / Л. П. Вогман, Д. С. Михайлов, Е. И. Ерофейчев // ЛКМ и их применение. — 1980. — № 2. — С. 63–64.
12. **Гудкович, В. Н.** Пожарная опасность вентиляционных систем / В. Н. Гудкович, В. К. Битюцкий, Л. Н. Лагода. — М.: НИИТЭХИМ, 1989. — 29 с.
13. **Худоев, А. Д.** Исследование пожарной опасности печей сушки и технологических систем транспорта паровоздушных смесей / А. Д. Худоев [и др.] // ЛКМ и их применение. — 1984. — № 4. — С. 63–64.
14. **Buryk, M.** Eliminowanie ragozen przy malowaniu naturskowim / M. Buryk // Prz. poz. — 1982. — Т. 70, № 11, 12. — С. 19–21.
15. **Канесака Такэо** // MOL. — 1984. — Т. 20, № 3. — С. 67–72.
16. **Такахаси, Т.** Ньюкуруино фиугата ни еру азозору рока ни окэру фиугата денка ноэйке / Т. Такахаси, А. Канагава // Касагу когаху рамбунсю. — 1982. — Т. 8, № 5. — С. 629–634.
17. **Христов, Х.** Обезопасяване на цеховете за лакиране и боядисване / Х. Христов // Огнеборец. — 1983. — № 7. — С. 5.
18. **Yochida, H.** Diname behavior of a erosol filtration in a two-dimensional model filter / H. Yochida, T. Chi // A Erosol Shiense and Technology. — 1985. — V. 4. — P. 365–381.
19. **Петров, А. П.** Пожарная безопасность технологического оборудования с горючими отложениями: дис. ... д-ра техн. наук / Петров А. П., Высшая инженерная пожарно-техническая школа. — М, 1994. — 475 с.
20. **Савельев, П. С.** Пожары-катастрофы / П. С. Савельев. — М.: Стройиздат, 1993. — 431 с.
21. Статистические данные о пожарах в Российской Федерации // Приложение к научно-техническому журналу “Пожарная безопасность”. — М.: ВНИИПО МЧС России, 2000. — 43 с.
22. Пожары и пожарная безопасность в 2004 г. // Статистический сборник. — М.: ВНИИПО МЧС России, 2005. — 139 с.
23. Пожары и пожарная безопасность в 2006 г. // Статистический сборник. — М.: ВНИИПО МЧС России, 2007. — 137 с.

Поступила в редакцию 03.07.08.



Адъютант
Академии Государственной
противопожарной службы МЧС РФ
О. Н. Орлова

УДК 65.050.2

ПЛАНИРОВАНИЕ КАДРОВОГО РЕЗЕРВА КАК ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ ФОРМИРОВАНИЯ РУКОВОДЯЩЕГО ЯДРА ОРГАНА УПРАВЛЕНИЯ

Рассматривается формирование резерва руководящих кадров органов внутренних дел. Приводятся основные типы новых руководителей, описываются их типичные проблемы и даются рекомендации для каждого из них.

Все вопросы формирования резерва кадров для выдвижения на вышестоящую должность регламентируются “Инструкцией о формировании резерва руководящих кадров органов внутренних дел Российской Федерации и работе с ним”, утвержденной приказом МВД РФ от 02.04.1996 г. № 191.

Процесс вхождения в должность в значительной степени зависит от того, к какому типу относится новый руководитель.

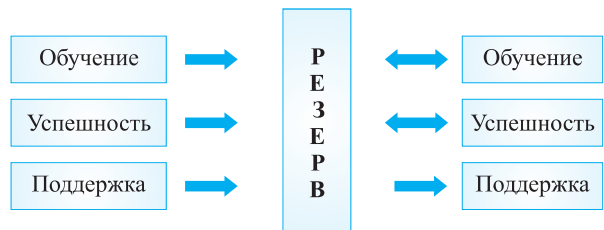
За плечами руководителя — опыт практической работы, знание и понимание производственных задач, знание своих подчиненных и ежедневное взаимодействие с ними, понимание перспектив организации. В то же время у руководителя, как правило, нет базового образования в области управления персоналом. Не зная о разработанных методиках, он зачастую тратит усилия на “изобретение велосипеда” или допускает собственные ошибки, вместо того чтобы учиться на чужих.

Еще один важный момент: не только организация должна выявить потребность в обучении сотрудников, сами сотрудники должны ее осознать, тогда процесс станет управляемым, а обучающиеся — мотивированными. Если четко и разумно определена цель обучения, то оценить его результаты не очень трудно.

Идеальное планирование персонала — это когда правильные люди с правильными навыками, умениями делают правильные вещи в правильном месте в правильное время [1].

В литературе можно встретить следующие типы новых руководителей: выдвиженец из своих рядов, человек со стороны, преемник, “молодое дарование” [2]. Типичные проблемы и рекомендации для каждого типа представлены в таблице.

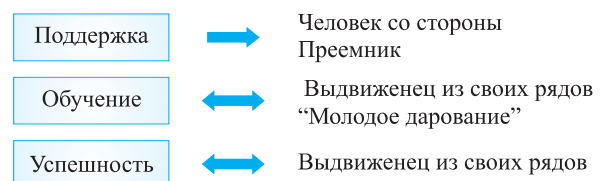
На первом этапе прохождения службы новые руководители состоят в резерве на выдвижение. Учитывая типы новых руководителей, можно сгруппировать их и отнести в разработанную автором схему резерва как одного из компонентов системы подбора кадров на руководящую должность (рисунок).



Резерв как один из компонентов системы подбора кадров

Резерв — сформированная в установленном порядке группа перспективных сотрудников для их целенаправленной подготовки и последующего выдвижения на должности руководителей органов внутренних дел и подразделений Государственной противопожарной службы.

Сгруппируем типы новых руководителей в более упрощенную форму для конкретного и уточненного определения кандидатов, состоящих в резерве:



ТИПЫ НОВЫХ РУКОВОДИТЕЛЕЙ

№ п.п.	Тип нового руководителя	Типичные проблемы	Рекомендации
1	Выдвиженец из своих рядов	<ul style="list-style-type: none"> ● Неумение четко принять на себя роль начальника. ● В большинстве случаев продолжение выполнения своей работы так же, как и раньше, иногда участие в совещаниях на вышестоящем уровне. ● Неумение делегировать полномочия. Новый руководитель знает по своему опыту, как сильно загружены его подчиненные, и поэтому берет на себя все больше и больше работы. Это продолжается до тех пор, пока он не почувствует, что работать так уже невозможно. ● “Управленческая слепота”. Выдвиженцу бывает очень трудно подняться над узкими проблемами своей предыдущей работы и понять задачи всей организации. К тому же сотрудники еще не воспринимают его как руководителя и поэтому не поддерживают его начинания. ● Выдвиженец думает, что он много знает и уже имеет исчерпывающую информацию. Это мнение не позволяет ему увидеть и открыть новые перспективы и подготовить сотрудников к их реализации. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Следует поговорить со своими бывшими коллегами о новых задачах, своей новой роли и постараться не выполнять свои прежние должностные обязанности. ● Необходимо проводить индивидуальные беседы с сотрудниками, что поможет не только сформировать новый взгляд на складывающуюся обстановку, но и освоиться с новой ролью. ● Следует открыто поговорить с бывшими претендентами на должность и обсудить с ними перспективы делового сотрудничества. ● Необходимо обсудить со своим начальником, а также с представителями других подразделений наиболее важные проблемы и ожидания, которые они связывают с его назначением. ● Следует объяснить коллективу, что останется по-прежнему, а что будет обязательно изменено. ● Надо настроиться на то, что сотрудники могут быстро разочароваться в его действиях. Не следует надеяться на то, что можно всегда оправдать их ожидания.
2	Человек со стороны	<ul style="list-style-type: none"> ● Несоответствие между ожиданиями руководителей организации и восприятием нового руководителя сотрудниками. ● Дефицит времени для выполнения множества задач, стоящих перед новым руководителем: знакомство с организацией, ее проблемами, организационной культурой, формирование новых направлений, разработка стратегии и т.п. ● Отсутствие эффективных отношений в новой организации с ключевыми фигурами и подчиненными. ● Давление несбывшихся собственных ожиданий. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Необходимо одновременно решать деловые задачи и строить эффективную сеть отношений с сотрудниками в организации. ● Следует выяснить, кого нужно привлечь к решению задач, а кого — держать в курсе событий. ● Необходимо использовать любое общение с сотрудниками для знакомства с организацией и ее наиболее важными проблемами. ● Не следует стартовать слишком быстро. Смена руководителей, особенно для человека со стороны, — это не спринт, а бег на длинные дистанции. ● Необходимо постоянно следить за тем, чтобы подразделение, в которое пришел новый руководитель, не обособлялось от организации. ● Не следует брать на себя слишком много официальных заданий.
3	Преемник	<ul style="list-style-type: none"> ● Вечная роль второго, в которую преемник вжился, затрудняет понимание им первоочередных и наиболее важных проблем. ● Новые ожидания сотрудников, которые должны привыкать к новой роли преемника. ● Занятие новых позиций в кругу старых и новых коллег. ● Постоянное сравнение с предшественником. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Необходимо четко спланировать свое вступление в должность. Для этого целесообразно так организовать передачу полномочий, чтобы она была как можно более зримой для всех сотрудников. ● Следует достойно, с большим почетом проводить предшественника (на новую должность, пенсию и т.п.). ● Нужно показывать уважение к работе предшественника, достигнутым под его руководством результатам, но не следует соглашаться с призывом продолжать его дело.

Продолжение таблицы

		<ul style="list-style-type: none"> • Не рекомендуется резко критиковать предшественника или поддерживать критику в его адрес со стороны подчиненных. • Не следует резко менять распорядок дня и обстановку, которые были при предшественнике. • Сначала необходимо определить, что следует сохранить, а что изменить.
4	“Молодое дарование”	<ul style="list-style-type: none"> • Неправильное понимание целей и задач организации. • Неверное восприятие скепсиса и дистанции со стороны новых подчиненных. • Постоянная опора на шефа. С ним новичок обсуждает проблемы, получает советы и помощь, однако это одновременно увеличивает дистанцию между ним и сотрудниками. • Постоянное подчеркивание новичком собственной непогрешимости. В результате отношения между ним и сотрудниками становятся сугубо формальными. • Дефицит в области профессиональных знаний. Одной из самых больших ошибок новичка могут быть его попытки самостоятельно решать специальные вопросы.



Успешность определяют профессиональные способности, в которые входят профессиональное обучение и овладение сложными элементами профессиональной деятельности.

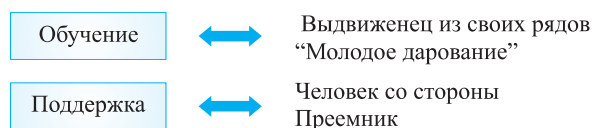
Проведем аналогию между успешностью и выдвиженцами из своих рядов:



Новые руководители данного типа имеют личную привлекательность основных целей и задач их деятельности, создают необходимый уровень заинтересованности, мотивации и в целом удовлетворенности работой. Они дорожат своей профессией и статусом, оцениваются вышестоящим руководством как самостоятельные и ответственные работники.

Обучение — готовность к повышению квалификации как необходимость применения современных требований по подбору руководящих кадров в решении задач Государственной противопожарной службы и развитию кадрового потенциала.

Проведем аналогию между обучением и выдвиженцами из своих рядов, “молодым дарованием”:



Таким образом, *планирование кадрового резерва* является основой схемы успешности и неотъемлемой частью формирования руководящего ядра органа управления. *Планирование* — проекция в будущее человеческой деятельности для достижения предустановленной цели при определенных средствах, преобразование информации о будущем в директивы для целенаправленной деятельности [3].

Планирование кадрового резерва имеет целью прогнозирование персональных продвижений, их последовательности и сопутствующих им мероприятий. Оно требует проработки всей цепочки продвижений, перемещений, увольнений конкретных сотрудников [4].

При выработке стратегии в процессе формирования профессионального ядра успешность выполнения человеком какой-либо деятельности зависит и от наличия у него соответствующих знаний, умений, навыков, т.е. от того, какие системы временных связей выработаны у него. Стоит отметить, что значимость образования и обучения для человека невероятно важна, и даже индивидуальные способности, хотя и зависят от природных задатков, являются всегда результатом развития личности.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Борисова, Е. А.** Управление персоналом для современных руководителей / Е. А. Борисова // Планирование. Подбор кадров. Оценка деятельности. Серия "Теория и практика менеджмента". — СПб.: Питер, 2003. — 445 с.
2. **Семиков, В. Л.** Организационное поведение руководителя / В. Л. Семиков. — М.: Академический Проект; Гаудеамус, 2004. — 224 с.
3. Управление организацией: учебник / Под ред. А. Г. Поршнева, З. П. Румянцевой, Н. А. Саломатина. 2-е изд., перераб. и доп. — М.: ИНФРА-М, 1999. — 669 с.
4. **Глуценко, В. В.** Менеджмент: системные основы / В. В. Глуценко. 2-е изд., доп. и испр. — Железнодорожный: ТОО НПЦ "Крылья", 1998. — 224 с.

Поступила в редакцию 04.05.08

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

Издательство
«ПОЖНАУКА»
ПРЕДСТАВЛЯЕТ

А. Я. Корольченко, Д. А. Корольченко
Основы пожарной безопасности предприятия.
Полный курс пожарно-технического минимума. — 320 с.

СОВРЕМЕННАЯ ПРОТИВОПОЖАРНАЯ
ЗАЩИТА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

А.Я. Корольченко
Д.А. Корольченко

Основы пожарной безопасности предприятия.
ПОЛНЫЙ КУРС ПОЖАРНО-
ТЕХНИЧЕСКОГО МИНИМУМА

Учебное пособие

Москва

Книга содержит сведения об условиях возникновения и развития пожара, общие сведения о процессах горения газов, жидкостей и твердых веществ. Описаны государственная система обеспечения пожарной безопасности, нормативное регулирование ее уровня. Приведены законодательные акты в области пожарной безопасности, государственные стандарты, строительные нормы и правила, правила пожарной безопасности. Описана организационная структура системы обеспечения пожарной безопасности на предприятии. Изложены способы предупреждения пожаров, основанные на классификации зданий по пожарной опасности, категорировании помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности, классификации помещений и наружных установок по ПУЭ; представлены способы обеспечения безопасности людей при возникновении пожара в здании, пожарной безопасности электроустановок, молниезащиты и защиты от статического электричества; изложены требования безопасности при проведении пожароопасных работ.

Книга содержит сведения о средствах и способах огнезащиты строительных материалов и конструкций, устройстве и принципах действия систем пожарной сигнализации и автоматического пожаротушения.



Д-р техн. наук, профессор, начальник кафедры Академии Государственной противопожарной службы МЧС РФ
С. С. Воевода



Соискатель Академии Государственной противопожарной службы МЧС РФ
А. В. Маркеев

УДК 614.84.664

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ГОРЮЧЕГО НА ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ТУШЕНИЯ ТОПЛИВ, СОДЕРЖАЩИХ СПИРТЫ

Сделана попытка выявить влияние температуры горючего на процесс тушения топлив, содержащих спирт, фторсинтетической пленкообразующей пеной. Эксперименты выполнены в соответствии с современными представлениями о процессе пенного тушения и основаны на балансе между поданной и разрушенной пенами.

В России осуществляется постепенный переход топлив на евростандарт. Существенно изменен их состав, а некоторые топлива, так называемые смесевые, для повышения октанового числа будут содержать спирты.

Существенное влияние на процесс тушения топлив, содержащих спирт, оказывает температура горючего. На рис. 1 представлена зависимость времени тушения от интенсивности подачи пены.

Осуществлялось тушение бензинов Евро-3 с содержанием до 7% спиртов и Евро-2 с содержанием до 2% спиртов. При повышении температуры топ-

лива с 20 до 60°C время тушения увеличилось в 1,5–1,8 раза, критическая интенсивность подачи пены возрастала практически в два раза.

Для бензина Евро-2 с содержанием до 2% спиртов при температуре горючего 20°C критическая интенсивность подачи пены составляла около 0,018 кг/(м²·с), а при повышении температуры до 60°C она уже равнялась 0,028 кг/(м²·с). Произошло увеличение времени тушения при заданной интенсивности подачи пены. При ее значении 0,03 кг/(м²·с) увеличение температуры горючего с 20 до 60°C привело к росту времени тушения с 38 до 65 с.

Для бензина Евро-3 с содержанием до 7% спиртов при температуре горючего 20°C критическая интенсивность подачи пены составляла около 0,032 кг/(м²·с), а при повышении температуры до 60°C она уже равнялась 0,055 кг/(м²·с). Произошло увеличение времени тушения при заданной интенсивности подачи пены. При ее значении 0,06 кг/(м²·с) увеличение температуры горючего с 20 до 60°C привело к росту времени тушения с 38 до 105 с.

Это объясняется тем, что чем больше доля спирта в смеси, тем сильнее сказывается влияние температуры горючего на процесс контактного разрушения пены. Контактное разрушение, как правило, относится к нижним слоям пены. Поле того, как пары спирта конденсируются на внутренней поверхности пенных пленок, образуется так называемая двусторонняя несимметричная пленка. Количество молекул поверхностно-активного вещества (ПАВ) с внутренней стороны пенной пленки, подвергшейся воздействию паров горючего, меньше, чем с другой стороны.

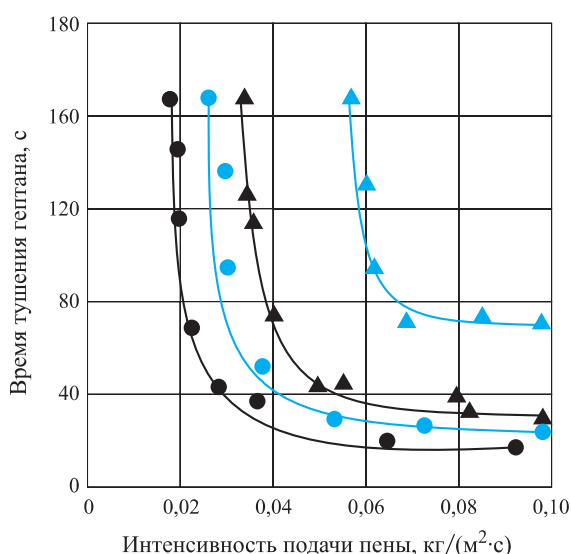


Рис. 1. Зависимость времени тушения от интенсивности подачи пены для бензинов Евро-2 с содержанием до 2% спиртов (●, ●) и Евро-3 с содержанием до 7% спиртов (▲, ▲) при температуре топлива 20 (●, ▲) и 60°C (●, ▲)

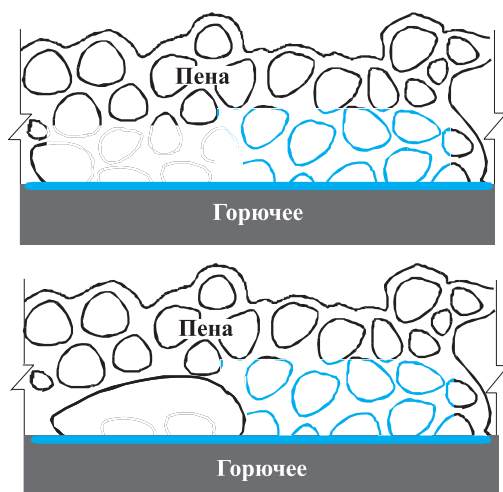


Рис. 2. Иллюстрация разрыва нижних слоев пенных пленок, утративших ПАВ, и образования полости

Образуются разрыв пенной пленки и вместе с ним полость, также заполненная парами горючего (рис. 2). Пары внутри этой полости конденсируются и приводят к образованию несимметричных пенных пленок уже на пенных пузырьках, соседствующих с образовавшейся полостью. Вместе с этим происходит десорбция ПАВ и в других местах. Также образуются и увеличиваются в размерах полости, заполненные парами горючего.

Затем полости объединяются в большие по объему. В этих полостях также присутствуют пары горючего, и разрушение пенных пузырьков, находящихся по границе с полостью происходит постоянно. Чем больше концентрация спирта в топливе, тем выше она и в водно-спиртовой прослойке между слоем пены и горючей жидкостью. Пары спирта попадают во внутрь пенных пузырей нижних слоев только из водно-спиртовой прослойки. Поэтому чем больше концентрация спирта в топливе, тем выше скорость контактного разрушения пены. Если под пенным слоем находится водная пленка, то проникновение паров горючего в пенные пузыри значительно меньше, поэтому и контактное разрушение пены ниже. Если пенный слой расположен непосредственно на поверхности горючего, то проникновению паров во внутрь пенных пленок мешает лишь слой водно-спиртовой смеси. Если

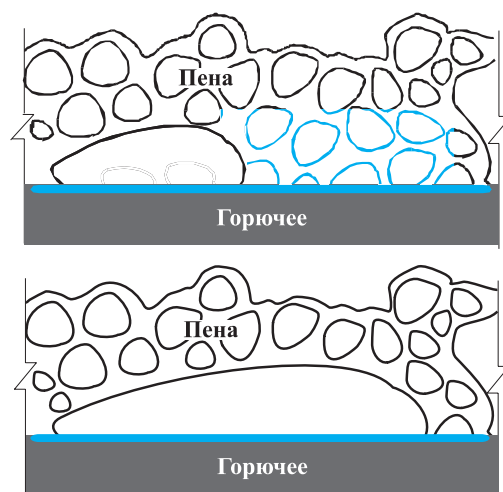


Рис. 3. Иллюстрация объединения полостей, заполненных парами горючего

концентрация спирта в топливе очень велика (более 30%), то находящиеся в паровоздушной смеси молекулы спирта могут разрушать и пленки пузырей верхних слоев пены, но контактное разрушение нижних слоев пены все равно будет значительно превышать контактное разрушение ее верхних слоев.

Если принять во внимание описанный механизм контактного разрушения пены, становится очевидной причина увеличения скорости контактного разрушения пены при повышении температуры горючего. С ростом температуры большее количество паров спирта проникает в нижние слои пены. Образование несимметричных пенных пленок происходит быстрее. Пленки разрушаются в большей степени и образуются полости, заполненные парами горючей жидкости. В связи с этим происходит более интенсивное контактное разрушение пенной структуры в нижних слоях.

Таким образом, объекты для хранения евротоплив с содержанием спиртового компонента необходимо в обязательном порядке оснащать системами автоматического обнаружения и тушения пожаров для скорейшей подачи огнетушащего вещества, так как повышение температуры топлива всего на 40°C ведет к увеличению критической интенсивности подачи пены на 80–98%.

Поступила в редакцию 18.04.08.



Адъюнкт Академии Государственной
противопожарной службы МЧС РФ

С. П. Храмцов

УДК 614.841

ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНО-АКТИВИРОВАННОЙ ВОДЫ ПРИ ТУШЕНИИ ПОЖАРОВ

Настоящее и будущее поколения россиян нуждаются в благоприятной среде обитания. Пожары являются наиболее распространенными аварийными ситуациями, при которых происходит загрязнение окружающей среды. Инновационные технологии пожаротушения решают вопрос уменьшения загрязнения окружающей среды при тушении пожаров.

В условиях пожара горение, как правило, протекает в диффузионном режиме. Вещества и материалы при этом сгорают неполностью и наряду с частичками сажи попадают в окружающую среду в виде газообразных или жидких продуктов горения. Считается, что в среднем один пожар способен вызвать загрязнение территории радиусом 1–2 км. Таким образом, пожары представляют экологическую опасность для всех живых организмов и, прежде всего, для людей [1].

Экологическая опасность пожаров прямо обусловлена изменением химического состава окружающей среды, температуры воздуха, воды и почвы.

Серьезное влияние на окружающую среду оказывают пожары в техносфере (в промышленности, на транспорте и др.), так как горючие материалы чрезвычайно разнообразны по своему составу, а пожар может возникнуть практически на любом объекте. В результате в продуктах горения могут присутствовать самые разнообразные по химическому строению и токсичности соединения. Среди наиболее распространенных — оксиды углерода, серы, азота, хлористый водород, углеводороды различных классов, спирты, альдегиды, бензол и его гомологи, полиароматические соединения и др. Среди самых опасных — соли и оксиды тяжелых металлов, бензапирен, диоксины. Большинство перечисленных химических веществ оказывает вредное воздействие на живые организмы. Так, диоксины, полиароматические соединения и другие способны вызывать онкологические заболевания у людей, оксиды серы — гибель растительности.

Наиболее опасные ситуации, связанные с воздействием на окружающую среду, возникают на пожарах при разливах легковоспламеняющихся и го-

рючих жидкостей на нефтебазах (в резервуарах, обвалованиях и за его пределами), транспортных средствах (при морских перевозках), химических предприятиях, радиационных объектах, складах удобрений, пестицидов и аварийно химически опасных веществ.

Наряду с токсичными и вредными продуктами горения загрязнение окружающей среды может быть вызвано огнетушащими веществами, используемыми в пожаротушении.

Известно разрушающее действие фреонов на озоновый слой. Некоторые галогенуглеводороды, например фреон 13В1, 114В2, особо опасны, так как способны долгое время находиться в атмосфере и эффективнее других взаимодействуют с озоном на больших высотах.

Поверхностно-активные вещества, применяемые при тушении пожаров как смачиватели и пенообразователи, также причиняют вред окружающей среде. Попадая в водоемы, они препятствуют поступлению кислорода. Многие поверхностно-активные вещества биологически трудно разлагаются. В результате происходит гибель фитопланктона, рыб. Пенообразователи ПО-6К, ПО-1, ПО-3АИ в настоящее время не производятся и не рекомендуются к использованию в связи с тем, что являются биологически “жесткими”, с высокими показателями загрязнения окружающей среды. Рекомендуются к применению аналогичные биоразлагаемые пенообразователи типа ПО-6 с концентрацией для приготовления рабочего раствора 6 % (ТЭАС, ПО-6 ОСТ, ПО-6 ТС и др.)

Таким образом, пожар — такой же источник загрязнения окружающей среды, как объекты промышленности, сельского хозяйства и других отрас-

лей хозяйственной деятельности человека, различен только масштаб воздействия.

В прямой зависимости от вида и масштаба пожара находится загрязнение почв и водоемов огнетушащими пенами, пролитой на тушение водой, самими горючими веществами, например нефтью при ее разливе. Вода, используемая при тушении, может содержать антипирены и продукты пиролиза горючих материалов, в нее могут попадать другие добавки, вводимые в горючие материалы. Эти вещества во время тушения могут переходить в водоемы через канализационную систему из грунтовых вод, а также при осадении из воздуха, куда они выносятся конвективными потоками с остальными продуктами горения. Многие токсичные вещества, например тяжелые металлы, диоксины, попавшие в воду или на почву, обладают способностью накапливаться в организмах рыб, птиц и в дальнейшем по пищевой цепи попадают в организм человека. Таким образом, загрязнение окружающей среды в результате пожаров и аварий может происходить опосредованно и проявляться спустя годы.

В связи с перечисленным выше представлять меру опасности, вызванной пожарами и авариями, крайне важно, так как реальная оценка вида и масштаба загрязнения окружающей среды может уменьшить последствия и повысить уровень обеспечения экологической безопасности [2].

Анализируя характер загрязнений и те последствия, которые сказываются на состоянии водных ресурсов в результате пожаров, необходимо принимать конкретные меры для улучшения складывающейся обстановки.

Стоки, загрязненные вредными веществами при тушении пожара, обязательно должны тщательно обрабатываться на очистных сооружениях перед сливом их в реки и водоемы.

Очистные сооружения не всесильны. Во всех крупных городах существуют очистные сооружения канализационных вод перед выпуском их в реки и водоемы. Однако, зачастую, это старые и маломощные сооружения, не справляющиеся с возрастающим объемом стоков. В тех же населенных пунктах, где еще нет очистки бытовых стоков, загрязнение водных артерий прогрессирует. А главное, принцип работы очистных сооружений таков, что происходит лишь частичная очистка — механическая (от крупных примесей, взвешенных частиц) и биологическая (как бы ускоренная природная очистка). В специальных сооружениях — аэротенках — сточные воды обрабатывают активным илом, насыщенным микроорганизмами. Они разрушают органические примеси — продукты нашей жизнедеятельности (но не моющую синтетику) и болезнетворные микроорганизмы.



Рис. 1. Струи температурно-активизированной воды

Из строящихся и запланированных на ближайшие годы очистных сооружений каждое четвертое будет обеспечивать только механическую очистку, остальные почти все не предусматривают более глубокой очистки, чем биологическая [3].

Создание очистных сооружений само по себе не решает проблемы защиты водоемов от загрязнения. Необходим принципиально иной подход. Современная ситуация подсказывает иные решения для уменьшения загрязнения окружающей среды при тушении пожаров. Одно из них состоит в том, что по различным оценкам [4, 5] от 90 до 99% воды при тушении пожара считается излишне пролитой. Чтобы большинство воды участвовало в ликвидации горения и не наносило вреда окружающей среде, необходимо использовать подготовленную воду в качестве средства тушения. Ярким примером такой воды является температурно-активированная вода (рис. 1).

Температурно-активированную воду получают при помощи технических средств, которые позволяют формировать расход воды до 2 л/с. Подробности о свойствах такой воды можно найти в работе [6]. Требуемую интенсивность температурно-активированной воды для тушения очагов пожара различных классов еще следует определить при дальнейшем развитии пожарной науки в данном направлении. Однако можно утверждать, что она не будет более $0,04\text{--}0,06\text{ л}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$, т.е. будет как для тонкораспыленной воды [7].

Для экономической оценки экологических последствий пожаров и аварий может быть использована система расчета ущерба от загрязнения окружающей среды на действующих объектах техносферы. Величину эколого-экономического ущерба от загрязнения окружающей среды при пожарах и авариях целесообразно учитывать при определении суммы бюджетных средств на пожаровзрыво-

защиту объектов и обеспечение безаварийного режима их работы с учетом экологического императива.

При разрешенных лимитных и сверхлимитных выбросах в штатном режиме функционирования объектов хозяйственной деятельности санитарно-гигиенические нормативы качества природной среды остаются на приемлемом уровне. Неконтролируемые выбросы во время пожаров и аварий могут создать недопустимый по санитарно-гигиеническим нормам уровень загрязнения, но, как правило, на короткий период времени, исключая загрязнение радионуклидами и некоторыми стойкими химическими соединениями, например диоксинами.

Опасный характер загрязнения окружающей среды при пожарах и авариях, вынужденных сверхлимитных залповых выбросах учитывается введением соответствующих повышающих коэффициентов, уточняющих удельный экономический ущерб.

Существует методика расчета эколого-экономического ущерба от загрязнения окружающей среды при пожарах и авариях [8], согласно которой формула для расчета эколого-экономического ущерба имеет вид:

$$Y_{3-3} = Y_{3-3}^a + Y_{3-3}^e + Y_{3-3}^n, \quad (1)$$

где Y_{3-3}^a , Y_{3-3}^e , Y_{3-3}^n — экономический ущерб от загрязнения атмосферного воздуха, водных объектов и территории суши (почвы) соответственно, руб.

Вода, использованная в качестве огнетушащего средства при тушении пожаров в замкнутых объемах, наносит вред водным объектам и почве.

Возмещение ущерба позволяет компенсировать затраты на возврат окружающей среды в доаварийное состояние. Например, при загрязнении водных объектов после пожаров в зданиях плата за причиненный ущерб используется для работ по очистке воды на водоочистных сооружениях.

По площади территории Свердловская область — крупнейший регион Урала. По объему промышленного производства она занимает второе место в РФ (после Московской области). На ее территории работает более 2500 добывающих и перерабатывающих предприятий. Основные отрасли промышленности: черная и цветная металлургия (в том числе производство алюминия, меди, никеля); машиностроение и металлообработка, станкостроение (в том числе производство тяжелых и уникальных станков), тяжелое энергетическое и транспортное машиностроение (в том числе вагоностроение), производство химического, кузнечно-прессового, подъемно-транспортного, горного, металлургического оборудования, приборостроение, электротехническая, радиоэлектронная промышленности. В об-

ласти развита химическая (производство пластмасс, химических реактивов, лаков, красок), коксохимическая, химико-фармацевтическая, лесная, деревообрабатывающая, бумажная, легкая, пищевая промышленности, производство стройматериалов и ювелирных изделий (из полудрагоценных камней). В Свердловской области ведется добыча железных и медных руд, золота, асбеста, бокситов, талька, угля, торфа. Действуют Рефтинская и Среднеуральская ГРЭС, Белоярская АЭС. Область держит “абсолютный рекорд” в России, являясь монополистом по производству 50 видов промышленной продукции.

Ущерб от загрязнения водоемов в результате попадания аварийно химически опасных веществ, негоревших материалов, огнетушащих и иных химических средств, используемых для ликвидации пожаров и аварий, определяют по формуле:

$$Y_{3-3}^e = K_a K_3^e y_{yd}^e \sum_{i=1}^N \frac{1}{\text{ПДК}_{pxi}} M_i GN, \quad (2)$$

где K_a — коэффициент, учитывающий аварийный сброс загрязнителей;

K_3^e — коэффициент экологической ситуации и экологической значимости состояния водных объектов (если пожар или авария происходят в городе, тогда коэффициент следует увеличивать на 20%);

y_{yd}^e — удельный экономический ущерб от загрязнения водоемов, руб./усл. т (с учетом текущего уровня цен на природоохранные мероприятия); ПДК_{pxi} — предельно допустимая концентрация i -го загрязнителя в водоеме, используемом для рыбохозяйственных целей, мг/л;

M_i — масса i -го загрязняющего вещества, т;

G — масса огнетушащего вещества, израсходованного на ликвидацию пожара (аварии), т;

N — количество пожаров.

Ущерб от загрязнения поверхности суши (почвы) определяют по формуле:

$$Y_{3-3}^n = K_a K_3^n y_{yd}^n \sum_{i=1}^N M_i GN, \quad (3)$$

где K_3^n — коэффициент экологической ситуации и экологической значимости состояния почв на месте аварии (если пожар или авария происходят в городе, тогда коэффициент следует увеличивать на 20%);

y_{yd}^n — удельный экономический ущерб от загрязнения почв, руб./усл. т (с учетом класса токсичности загрязнителя).

В Свердловской области основные потребности в воде населения и промышленности удовлетворяются за счет поверхностного, в основном, зарегулированного стока. Использование воды составило

1180,5 млн м³/год, что на 2,3 млн м³ больше, чем в 2005 г.

Качество воды большинства водных объектов в области по-прежнему не отвечает нормативным требованиям. Наиболее распространенными загрязняющими веществами остаются нефтепродукты, фенолы, легкоокисляемые органические вещества, соединения металлов, аммонийный и нитритный азоты.

Причинами загрязнения водных ресурсов являются сброс недостаточно очищенных сточных вод жилищно-коммунального комплекса, предприятий сельского хозяйства, ливневых и талых вод с селитебных территорий, а также массовая застройка водоохраных зон водных объектов и, прежде всего, их прибрежных защитных полос.

Существенное влияние на состояние поверхностных вод оказывает вторичное загрязнение, вызванное накопившимися донными отложениями.

Качество воды рек Исеть и Пышма на всем протяжении крайне низкое — она соответствует 4-му и 5-му классам загрязненности и варьирует от грязной (удельный комбинаторный индекс загрязненности воды (УКИЗВ) равен 4,9–5,8) до очень грязной (УКИЗВ = 5,7–6,5) и до экстремально грязной в створах выше и ниже Березовского городского округа (УКИЗВ = 6,7–8,0).

Качество воды рек Тура, Чусовая на всем протяжении также крайне низкое — она соответствует 4-му классу загрязненности и варьирует от грязной (УКИЗВ = 4,2–5,6) до очень грязной (УКИЗВ = 5,7–6,6), в створах ниже Туринского городского округа и городского округа Первоуральск — 5-му классу загрязненности и является экстремально грязной (УКИЗВ = 6,8–7,0).

Качество воды реки Тавда на всем протяжении крайне низкое — она является очень грязной и соответствует 4-му классу загрязненности.

Особенностью реки Чусовая является хроническое загрязнение ее шестивалентным хромом ниже городского округа Первоуральск и вплоть до границы с Пермской областью.

Почвенный покров является главным накопителем радионуклидов. В области в большей степени подвергся загрязнению радионуклидами почвенный покров следующих сельскохозяйственных районов (с лучшими почвами): Ирбитский, Каменский, Камышловский, Богдановичский, Талицкий и др. (зона Восточно-Уральского радиоактивного следа).

Высокая антропогенная нагрузка является причиной загрязнения химическими веществами и соединениями, в том числе 1-го и 2-го классов опасности (свинец, никель, кобальт, кадмий), земель населенных мест и сельскохозяйственного исполь-

зования, захламления их отходами производства и потребления.

Из 2600 исследований проб почвы на загрязнение тяжелыми металлами в 30,5% обнаружено превышение допустимых уровней (в 2005 г. — 31,9%).

Высокое загрязнение почв тяжелыми металлами выявлено на территории муниципального образования “Город Екатеринбург” (48,9%), г. Нижний Тагил (23,2%), Березовского (34,7%) и Кировоградского (86,7%) городских округов, городского округа Первоуральск (28,6%), г. Каменска-Уральского (16,2%), городского округа Верхняя Пышма (16%).

Под воздействием веществ 1-го класса опасности (бензапирен, кадмий, мышьяк, ртуть, свинец, селен, цинк) находятся более 2,7 млн человек, 2-го класса (кобальт, медь, никель, сурьма, хром, бор, молибден) — более 2,3 млн человек.

Заметный ущерб землям наносится лесными пожарами, в результате которых минерализуется лесная подстилка и гумусовые горизонты, усиливаются эрозионные процессы.

По сравнению с 2005 г. увеличилось количество лесных пожаров в 2,7 раза (1612), а их площадь в 10,5 раза (18901 га). Лесные пожары были зарегистрированы практически во всех муниципальных образованиях.

Наиболее неблагоприятная пожарная обстановка сложилась в лесах на территории Камышловского муниципального района, городского округа Ревда, Горноуральского, Режевского, Тавдинского и Тугулымского городских округов. Ущерб от лесных пожаров составил около 1,2 млрд руб.

Основной причиной возникновения лесных пожаров остается нарушение правил поведения населением, по вине которого произошло более 1000 лесных пожаров, что составляет 67% общего количества возгораний, а также возникновение лесных пожаров от сельхозпалов (11,7% общего количества возгораний).

На мероприятия по профилактике и тушению лесных пожаров израсходовано более 23 млн руб. средств федерального и областного бюджетов.

За последние пять лет наблюдалось сокращение доли затрат на охрану и рациональное использование водных ресурсов, однако в 2006 г. отмечен рост с 45 до 48% общего объема природоохранных затрат.

Эксплуатационные (текущие) затраты на охрану природы составили 8762,0 млн руб. (115% к уровню 2005 г.).

Общий размер затрат на капитальный ремонт природоохранных сооружений возрос в 1,5 раза к уровню 2005 г. и составил 1402,7 млн руб. [9].

В табл. 1 представлена оперативная обстановка с пожарами в Свердловской области за 2005–2007 гг.

Таблица 1. Оперативная обстановка с пожарами в Свердловской области

Показатель	2005 г.	2006 г.	2007 г.
Пожаров всего, в том числе госстат- учетных	10984 7209	11977 6716	10860 6646
Ущерб, тыс. руб.:			
общий	188673,3	242889,9	286299,5
прямой	176079,5	218478,0	272497,9
Пожары:			
с крупным ущербом	3	4	2
с групповой гибелью	3	3	2
Групповая гибель, чел.:			
всего	19	15	17
дети	3	4	1
Травмы, чел.:			
всего	392	389	418
дети	41	34	40
Гибель, чел.:			
всего	491	485	478
дети	28	34	17
Гибель скота, голов	131	197	279
Гибель птицы, шт.	192	243	138
Уничтожено:			
строений	2203	2333	2122
зерна, т	44	12	2
кормов, т	1211	2639	236
техники, ед.	411	466	414
Число пожаров, подле- жащие госстатучету, по месту возникновения:			
городская местность	5680	5259	5236
сельская местность	1529	1457	1410
производственные здания	140	116	123
производственные цехи	91	64	65
складские здания	44	52	47
здания торговых предприятий	160	162	171
Образовательные учреждения	21	24	21
детские учреждения	13	9	11
культурно-зрелищные учреждения	15	13	20
лечебные учреждения	14	13	17
административные здания	75	68	52
здания с массовым пребыванием людей	138	127	121
животноводческие объекты	11	4	5

Продолжение табл. 1

Показатель	2005 г.	2006 г.	2007 г.
прочие сельскохозяй- ственные объекты	36	29	18
строящиеся объекты	27	37	28
сооружения, установки	76	61	76
места открытого хра- нения, сельскохозяй- ственные угодья	112	78	64
жилой сектор, в том числе:	5323	4937	4880
жилые дома	2954	2652	2616
садовые домики	727	725	677
транспорт	767	785	800
прочие	284	264	248
объекты МВД	8	4	2
объекты МЧС	0	0	0
охраняемые объекты, в том числе:	1	3	4
ФПС	0	1	3
ГПС	1	2	1

Примечание. Данные предоставлены 16 ОГПС МЧС России по Свердловской области.

Больше всего пожаров в 2006 г. в Свердловской области было зарегистрировано в жилом секторе. Их доля от общего числа пожаров по области составила 74%, а материального ущерба — 57%.

Пожары в жилом секторе можно охарактеризовать как пожары в замкнутых объемах (в начальной стадии). Вода подается на тушение горящего помещения, а также на защиту смежных. В большинстве случаев для ликвидации пожаров применяются стволы РСК 50 либо РС 50. В табл. 2 представлены данные по количеству стволов, используемых при тушении пожаров.

В большинстве случаев в Свердловской области с использованием основных пожарных автомобилей и при помощи технических средств подачи на ликвидацию одного пожара расходуется около 9 м³ воды. Всего за 2006 г. при пожарах было пролито воды около 112263 м³.

При тушении вода (30%) вступает в химическую реакцию с горючими веществами и насыщается токсичными веществами, попадает в атмосферу и дополнительно участвует в круговороте веществ между сушей и океаном, выпадая в виде кислотных дождей и снега. В конечном итоге эта вода попадает в озера, моря, проникает в почву и долгое время сохраняется в биосфере. Излишне пролитая вода (70%) непосредственно поступает в почву и водные объекты. Таким образом, при расчете принимаем, что вся вода, используемая для ликвида-

Таблица 2. Распределение числа пожаров, произошедших в Свердловской области в 2006 г., по количеству стволов, использованных при их тушении

Типы стволов	Всего		В том числе пожары, время тушения которых составило от 1 до 180 мин	
	количество пожаров	среднее время тушения, мин	количество пожаров	среднее время тушения, мин
РС 70, ПЛС, ГПС и др.	367	157,62	330	24,12
РСК 50, РС 50 при их количестве:				
1	3211	49,35	3125	41,2
2	1481	108,47	1248	78,16
3	755	150,07	530	94,72
4	209	180,01	127	97,91
5	78	219,26	34	97,09
6	29	301,03	6	86
7	9	262,78	3	130
8	5	479,2	3	104
9	2	817	0	
10	6	245,5	3	38,67
11	5	357,8	4	100
12	0		0	
13	0		0	
14	0		0	
15	0		0	
16	0		0	
17	0		0	
18	0		0	
19	0		0	
20	3	55,33	3	55,33

Примечания: 1. Расчет произведен только по тем пожарам, в карточках учета которых проставлено время прибытия первого пожарного подразделения и ликвидации пожара.

2. Данные предоставлены отделом статистики ВНИИПО МЧС России.

ции пожара, наносит вред окружающей среде: 30% — водным объектам; 70% — почве.

Коэффициент, учитывающий аварийный сброс загрязнителей K_a , принят равным 25 согласно РД 19-02 [10].

Коэффициенты экологической ситуации и экологической значимости состояния в Свердловской области бассейнов рек Оби и Волги K_g^s согласно РД [10] составляют 1,18 и 1,1 соответственно. Принят коэффициент 1,18 ввиду того, что на территории области большинство водных объектов относится к бассейну реки Оби.

Удельный экономический ущерб от загрязнения водоемов y_g^s (с учетом текущего уровня цен на при-

родоохранные мероприятия) согласно РД [10] составляет 351,78 руб./т.

Исходные данные по примерному составу продуктов горения при пожарах в жилом секторе приведены в работе [2].

Масса огнетушащего вещества G , израсходованного на ликвидацию пожара (аварии), согласно статистическим данным принимается равной 112263 т, в водные объекты попало примерно 33678,9 т.

Экономический ущерб от загрязнения водных объектов при тушении пожаров в жилом секторе Свердловской области в 2006 г., рассчитанный по формуле (2), составит:

$$\begin{aligned}
 Y_{g-g} &= 25 \cdot 1,18 \cdot 1,2 \cdot 351,78 \cdot \left(\frac{1}{500} \cdot 5,8 \cdot 10^{-3} + \right. \\
 &+ \left. \frac{1}{0,1} \cdot 2,9 \cdot 10^{-3} + \frac{1}{0,000005} \cdot 522 \cdot 10^{-9} \right) \cdot 33678,9 = \\
 &= 55953324,79 \text{ руб.}
 \end{aligned}$$

Коэффициент K_a^n , учитывающий аварийный сброс загрязнителей, принят равным 25 [10].

Коэффициент экологической ситуации и экологической значимости состояния почв на месте аварии K_g^n согласно РД 19-02 [10] составляет 1,7 (при этом предусматривается увеличение на 20%, так как пожары в основном происходят в городской местности).

Удельный экономический ущерб от загрязнения почв y_g^n согласно РД [10] составляет 2220,79 руб./усл. т (с учетом 1-го класса токсичности загрязнителя).

Масса огнетушащего вещества G , израсходованного на ликвидацию пожара (аварии) согласно статистическим данным принимается равной 112263 т, в почву попало примерно 78584,1 т.

Экономический ущерб от загрязнения почвы при тушении пожаров в жилом секторе Свердловской области в 2006 г., рассчитанный по формуле (3), составит:

$$\begin{aligned}
 Y_{g-g}^n &= 25 \cdot 1,7 \cdot 1,2 \cdot 2220,79 \cdot 78584,1 = \\
 &= 8900457955 \text{ руб.}
 \end{aligned}$$

Общий экономический ущерб от загрязнения водных объектов и территории суши (почвы) при тушении пожаров в замкнутых объемах Свердловской области в 2006 г. составит:

$$\begin{aligned}
 Y_{g-g} &= 55953325 + 8900457955 = \\
 &= 8956411280 \text{ руб.}
 \end{aligned}$$

Ущерб от пожаров в жилом секторе в Свердловской области за 2006 г. по статистическим данным соответствовал: общий — 137946,5 тыс. руб.; прямой — 126670,5 тыс. руб.



Рис. 2. Автомобиль пожарный многоцелевой

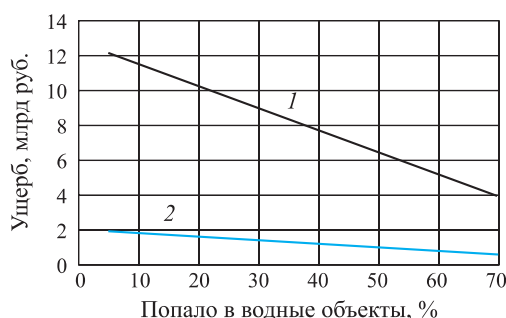


Рис. 3. Эколого-экономический ущерб при тушении пожаров от воды (1) и температурно-активированной воды (2)

Экологические последствия от пожаров входят в категорию косвенных потерь. В приведенном примере эти потери превышают примерно в 70 раз прямой ущерб.

В случае использования пожарного многоцелевого автомобиля (рис. 2) для ликвидации среднестатистического пожара будет достаточно 3 м³ воды. Излишне пролитая вода (~10%) непосредственно поступает в почву и водные объекты. При расчете принимаем, что вся вода, используемая для ликвидации пожара, наносит вред окружающей среде: 30% — водным объектам; 70% — почве.

Экономический ущерб от загрязнения водных объектов при тушении пожаров температурно-активированной водой в жилом секторе Свердловской области в 2006 г., рассчитанный по формуле (2), составил бы:

$$U_{э-э}^e = 25 \cdot 1,18 \cdot 1,2 \cdot 351,78 \cdot \left(\frac{1}{500} \cdot 5,8 \cdot 10^{-3} + \frac{1}{0,1} \cdot 2,9 \cdot 10^{-3} + \frac{1}{0,000005} \cdot 522 \cdot 10^{-9} \right) \cdot 0,9 \cdot 6160 = 9210670 \text{ руб.}$$

Экономический ущерб от загрязнения почвы при тушении пожаров температурно-активированной водой в жилом секторе Свердловской области в

2006 г., рассчитанный по формуле (3), соответствовал бы:

$$U_{э-э}^n = 25 \cdot 1,7 \cdot 1,2 \cdot 2220,79 \cdot 2,1 \cdot 6160 = 1465135111 \text{ руб.}$$

Общий экономический ущерб от загрязнения водных объектов и территории суши (почвы) при тушении пожаров температурно-активированной водой в замкнутых объемах Свердловской области в 2006 г. составил бы:

$$U_{э-э} = 9210670 + 1465135111 = 1474345781 \text{ руб.}$$

Таким образом, экономический эффект при использовании температурно-активированной воды при тушении пожаров в жилом секторе составил бы примерно 7482065499 рублей.

При тушении пожаров с использованием воды может изменяться количество наносимого вреда водным объектам и почве в зависимости от географического положения, что, в конечном итоге, повлияет на общий экономический ущерб. На рис. 3 представлен возможный ущерб, наносимый в результате пожаров, в зависимости от количества воды, попавшей в водные объекты Свердловской области.

Однако следует учитывать, что косвенный ущерб намного значительней, если принять во внимание вред, нанесенный излишне пролитой водой различным материальным ценностям, которые не сгорели при пожаре. Примером этому может служить нашумевший пожар, который в ночь с 3 на 4 марта 2004 г. произошел в семиэтажном здании Арбитражного суда г. Москвы по Новой Басманной улице, дом 10. На пресс-конференции заместитель председателя Высшего арбитражного суда Эдуард Ренов и его коллега по должности из московского арбитражного суда Олег Свириденко единодушно отметили, что “действия пожарных нанесли зданию не меньший ущерб, чем сам пожар”. Вот что сказал Эдуард Ренов: “Я очень огорчен работой пожарных, которые вылили на здание столько воды, что мы даже на втором этаже ходили в сапогах. Большинство пострадавших документов не сгорело, а как раз намочило, и теперь мы их сушим”. Это, к сожалению, не единичный случай.

Вода является основным огнетушащим веществом, используемым пожарными для ликвидации горения. Количество подаваемой на тушение пожара воды должно быть достаточным для эффективного прекращения горения, но не должно быть излишним. Необходимо обеспечить разумную достаточность в подаче огнетушащих средств. В настоящее время набор мер, которые позволяют обеспечить разумный паритет между успешным тушением пожара и недопущением дополнительного ущерба от

пролитой воды, довольно велик. За более чем 355-летний период существования в России штатной пожарной охраны ее специалисты накопили большой опыт по практической реализации мер защиты имущества от пролитой в процессе тушения пожара воды и недопущению подачи ее излишнего количества [11].

Затронутая проблема весьма актуальна. Для решения проблемы уменьшения эколого-экономического ущерба от воды при тушении пожаров до настоящего времени в основном принимались следующие меры:

- применение перекрывающих технических средств подачи;
- использование смачивателей, в необходимых случаях — высокократной пены, огнетушащего

порошка, тонкораспыленной мелкодисперсной воды и т.д.;

- осуществление комплекса мер по уборке пролитой воды с помощью различных средств и способов.

Сейчас, когда возросли требования к участникам тушения пожаров в части снижения ущерба от пролитой воды, особое значение приобретают вопросы научной проработки проблемы.

Температурно-активированная вода не снимает полностью решение этой проблемы, но перечисленные аргументы позволяют утверждать, что она может быть успешно использована при тушении пожаров в замкнутых объемах. Благодаря такому решению снизится косвенный эколого-экономический ущерб от пожаров не менее чем на 84%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пожары и экология. http://www.pskraski.com/pages/page_id=76.
2. **Исаева, Л. К.** Пожары и окружающая среда / Л. К. Исаева. — М.: Калан, 2001. — 222 с.
3. **Кульский, Л. А.** Вода знакомая и загадочная / Л. А. Кульский, В. В. Даль, Л. Г. Ленчина. — Киев: Радянська школа, 1982. — 53 с.
4. **Абдурагимов, И. М.** Физико-химические основы развития и тушения пожаров / И. М. Абдурагимов, В. Ю. Говоров, В. Е. Макаров. — М.: ВИПТШ МВД СССР, 1980. — 223 с.
5. **Тетерин, И. М.** Температурно-активированная вода — новая парадигма развития техники пожаротушения / И. М. Тетерин // Средства спасения: журнал-каталог. — 2005. — С. 44.
6. **Храмцов, С. П.** Вода для тушения пожаров / С. П. Храмцов // Пожаровзрывобезопасность. — 2007. — Т. 16, № 4. — С. 72–75.
7. **НПБ 88–2001***. Установки пожаротушения и сигнализации. Нормы и правила проектирования.
8. **Исаева, Л. К.** Экологические последствия пожаров: дис. ... канд. техн. наук / Исаева Л. К., Академия ГПС МВД РФ. — М., 2001. — 107 с.
9. Выводы и рекомендации доклада “О состоянии окружающей природной среды и влиянии факторов среды обитания на здоровье населения Свердловской области в 2006 г.”. <http://www.mprso.ru/index.html>.
10. **РД 19-02–2007.** Методические рекомендации по администрированию платы за негативное воздействие на окружающую среду в части выбросов в атмосферный воздух, необходимые для исполнения обязанностей по администрированию платы за негативное воздействие на окружающую среду.
11. **Елагин, А. Г.** Пожарные льют, страховщики платят дважды / А. Г. Елагин // <http://www.securpress.ru/issue/Ss/2005/Elagin.htm>.

Поступила в редакцию 20.05.08.



Издательство ООО “Издательство “Пожнаука”
 107023, Москва, пл. Журавлева., д. 2, стр. 2
 тел./факс: (495) 228-09-03
 e-mail: firepress@gmail.com, info@firepress.ru
 http://www.firepress.ru

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

ООО “Издательство “Пожнаука” более 10 лет успешно работает в области информационного обеспечения. На страницах выпускаемой нами учебной, справочной, нормативной и научно-практической литературы публикуется информация для высококвалифицированных специалистов и руководителей. В наших изданиях Вы можете разместить сведения о продукции и услугах, предоставляемых Вашим предприятием.

Научно-техническая литература и периодика, выпускаемые ООО “Издательство “Пожнаука”, распространяются по всей территории Российской Федерации, в странах СНГ, Балтии и в ряде зарубежных стран.

Специализированный журнал “Пожаровзрывобезопасность”

Издается с 1992 года. Периодичность — 6 номеров в год. С октября 2001 года журнал включен в Перечень периодических научных и научно-технических изданий РФ, рекомендуемых для публикации основных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора наук. В статьях журнала рассматриваются теоретические вопросы и способы практического обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений, технологических процессов и оборудования.

Журнальное приложение “Пожарная безопасность в строительстве”

Издается с декабря 2004 года. Периодичность — 6 номеров в год. Полноцветное рекламное научно-практическое издание. Публикует статьи рекламного и аналитического характера, модельный ряд, справочник по фирмам-производителям и услугам. Тематика Приложения посвящена проблемам комплексной безопасности строительных объектов, включая огнестойкость материалов и конструкций, пожаро- и взрывоустойчивость зданий и сооружений, новым технологическим решениям в области пожарной автоматики и сигнализации, а также проблемам сертификации и стандартизации.

Виды рекламы в журнале “Пожаровзрывобезопасность” и расценки на ее размещение

1. Реклама на обложке (полноцветная):
 2-я полоса — 28000 руб. + 1 двухцветная полоса бесплатно
 3-я полоса — 25000 руб. + 1 двухцветная полоса бесплатно
 4-я полоса — 35000 руб. + 2 двухцветные полосы бесплатно
2. Рекламная статья: 1/1 двухцветной полосы — 12000 руб.
3. Статья обзорно-аналитического, проблемного, научно-технического характера — бесплатно.
4. Рекламные наклейки:

Размер модуля	Стоимость полноцветного модуля, руб.
1/1 полосы (215 × 300 мм)	17000
1/2 полосы (190 × 137 мм)	11000

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

Тираж: 10000 экз.

Спецпредложение!

Для наших рекламодателей мы предоставляем возможность бесплатного распространения буклетов и листовок (200 экз.) на выставках в г. Москве, в которых данный номер журнала будет принимать участие.

ПРЕДЛАГАЕМ ВАМ СЛЕДУЮЩИЕ ИЗДАНИЯ В СФЕРЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Наименование	Кол-во экз. в уп. (шт.)	руб./ экз.	от 1 уп.	от 3 уп.	от 5 уп.
УЧЕБНЫЕ И СПРАВОЧНЫЕ ИЗДАНИЯ					
<i>А. Я. Корольченко, Д. А. Корольченко</i> Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: Справочник в 2-х т. — М.: Пожнаука, 2004. — 1-й том — 713 с.; 2-й том — 774 с.	4	2200	2090	1870	1760
<i>Н. Н. Брушлинский, А. Я. Корольченко</i> Моделирование пожаров и взрывов. — М.: Пожнаука, 2000. — 492 с.	6	360	342	306	288
<i>А. Я. Корольченко</i> НОВИНКА Процессы горения и взрыва: Учебник. — М.: Пожнаука, 2007. — 266 с.	10	390	370	331	312
<i>Л. П. Пилюгин</i> Обеспечение взрывоустойчивости зданий с помощью предохранительных конструкций. — М.: Пожнаука, 2000. — 224 с.	10	240	228	204	192
<i>В. М. Ройтман</i> Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий. — М.: Пожнаука, 2001. — 382 с.	10	300	285	255	240
<i>А. Я. Корольченко, Д. В. Трушкин</i> Пожарная опасность строительных материалов: Учебное пособие. — М.: Пожнаука, 2006. — 232 с.	10	200	190	170	160
<i>В. И. Горшков</i> НОВИНКА Тушение пламени горючих жидкостей. — М.: Пожнаука, 2007. — 320 с.	10	250	238	213	200
<i>В. Н. Баранин</i> Экономика чрезвычайных ситуаций и управление рисками. — М.: Пожнаука, 2004. — 332 с.	20	70	67	60	56
<i>А. Ф. Шароварников, В. Л. Молчанов, С. С. Воевода, С. А. Шароварников</i> Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов: Учебное пособие. — М.: Пожнаука, 2007. — 294 с. НОВИНКА	10	380	361	323	304
<i>В. П. Бабуров, В. В. Бабурин, В. И. Фомин</i> НОВИНКА Автоматические установки пожаротушения. Учебно-справочное пособие. — М.: Пожнаука, 2007. — 294 с.	20	350	333	298	280
<i>А. Ф. Шароварников, С. А. Шароварников</i> Пенообразователи и пены для тушения пожаров. Состав. Свойства. Применение: Справочник. — М.: Пожнаука, 2005. — 336 с.	10	150	143	128	120
<i>М. М. Любимов, С. В. Собурь</i> Пожарная и охранно-пожарная сигнализация: Справочник в 2-х т. — М.: ПожКнига, 2005. — 1-й т. — 292 с.; 2-й т. — 308 с.	10	290	275	247	232
<i>В. В. Теремин</i> Справочник руководителя тушения пожара. Тактические возможности пожарных подразделений: Справочник. — М.: Пожнаука, 2004.	10	90	86	77	72
<i>В. С. Родин, О. Н. Найденов, С. В. Собурь</i> Справочник инспектора пожарного надзора: Справочник в 2-х т. — М.: ПожКнига, 2005. — 1-й т. — 400 с.; 2-й т. — 368 с.	10	350	333	298	280
СЕРИЯ “СОВРЕМЕННАЯ ПРОТИВОПОЖАРНАЯ ЗАЩИТА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ”					
<i>А. Я. Корольченко, Д. А. Корольченко</i> Основы пожарной безопасности предприятия. Полный курс пожарно-технического минимума: Учебное пособие. — М.: Пожнаука, 2006. — 320 с.	10	300	285	255	240
<i>А. Я. Корольченко, О. Н. Корольченко</i> Средства огнезащиты: Справочник. — М.: Пожнаука, 2006. — 258 с.	10	200	190	170	160

Наименование	Кол-во экз. в уп. (шт.)	руб./ экз.	от 1 уп.	от 3 уп.	от 5 уп.
СЕРИЯ “ПРОТИВОПОЖАРНАЯ ЗАЩИТА И ТУШЕНИЕ ПОЖАРОВ”					
<i>В. В. Терехин, Н. С. Артемьев, А. И. Думилин</i> Жилые и общественные здания и сооружения: Учебное пособие. — М.: Пожнаука, 2006. — 352 с.	20	320	304	272	256
<i>В. В. Терехин, Н. С. Артемьев, В. А. Грачёв, А. В. Подгрушный</i> Промышленные здания и сооружения: Учебное пособие. — М.: Пожнаука, 2006. — 370 с.	20	320	304	272	256
<i>В. В. Терехин, Н. С. Артемьев, А. В. Подгрушный</i> Здания повышенной этажности: Учебное пособие. — М.: Пожнаука, 2006. — 240 с.	20	300	285	255	240
<i>В. В. Терехин, Н. С. Артемьев, А. В. Подгрушный</i> Объекты добычи, переработки и хранения горючих жидкостей и газов: Учебное пособие. — М.: Пожнаука, 2007. — 350 с.	10	350	333	298	280
<i>В. В. Терехин, Н. С. Артемьев, В. А. Грачёв, О. Ю. Сабинин</i> Леса, торфяники, лесосклады: Учебное пособие. — М.: Пожнаука, 2007. — 300 с.	10	400	380	340	320
<i>В. В. Терехин, Н. С. Артемьев, В. А. Грачёв, А. И. Думилин</i> Транспорт: наземный, морской, речной, воздушный, метро: Учебное пособие. — М.: Пожнаука, 2007. — 382 с.	10	320	304	272	256
<i>А. В. Долговидов, В. В. Терехин</i> Автоматические установки порошкового пожаротушения: Справочник. — М.: Пожнаука, 2008. — 324 с.	10	220	209	187	176
СЕРИЯ “БИБЛИОТЕКА НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОГО РАБОТНИКА”					
<i>С. В. Собурь</i> Пожарная безопасность: Справочник. — 2-е изд. (с изм.). — М.: ПожКнига, 2005. — 292 с.	10	100	95	85	80
<i>С. В. Собурь</i> Пожарная безопасность промпредприятий: Справочник. — 2-е изд. (с изм.). — М.: ПожКнига, 2007. — 172 с.	10	110	105	93	88
<i>С. В. Собурь</i> Пожарная безопасность складов: Справочник. — 2-е изд. (с изм.). — М.: ПожКнига, 2004. — 240 с.	10	120	114	102	96
<i>С. В. Собурь</i> Пожарная безопасность общественных и жилых зданий: Справочник. — 2-е изд. с доп. и изм. — М.: ПожКнига, 2004. — 224 с.	10	100	95	85	80
<i>С. В. Собурь</i> Пожарная безопасность нефтегазохимических предприятий: Справочник. — М.: ПожКнига, 2004. — 432 с.	10	99	94	84	80
<i>С. В. Собурь</i> Пожарная безопасность сельскохозяйственных предприятий: Справочник. — М.: ПожКнига, 2005. — 74 с.	50	45	43	38	36
СЕРИЯ “ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРЕДПРИЯТИЯ”					
<i>С. В. Собурь</i> Пожарная безопасность предприятия. Курс пожарно-технического ми- нимума: Пособие. — 11-е изд. (с изм.). — М.: ПожКнига, 2007. — 496 с.	10	210	200	179	168
<i>С. В. Собурь</i> Краткий курс пожарно-технического минимума: Пособие. — 2-е изд. с доп. и изм. — М.: ПожКнига, 2004. — 304 с.	10	90	85	77	72
<i>С. В. Собурь</i> Огнетушители: Пособие. — 5-е изд. (с изм.). — М.: ПожКнига, 2008. — 96 с.	20	50	48	42	40

НОВИНКА

Наименование	Кол-во экз. в уп. (шт.)	руб./ экз.	от 1 уп.	от 3 уп.	от 5 уп.
<i>С. В. Собурь</i> Установки пожаротушения автоматические: Пособие. — М.: ПожКнига, 2004. — 408 с.	10	120	114	102	96
<i>С. В. Собурь</i> Установки пожарной сигнализации: Пособие. — 5-е изд. с доп. и изм. — М.: ПожКнига, 2006. — 280 с.	10	150	143	128	120
<i>С. В. Собурь</i> Пожарная безопасность электроустановок: Пособие. — 6-е изд. с доп. и изм. — М.: ПожКнига, 2006. — 280 с.	10	150	143	128	120
<i>С. В. Собурь</i> Огнезащита материалов и конструкций: Пособие. — 3-е изд. с доп. и изм. — М.: ПожКнига, 2004. — 256 с.	10	120	114	102	96
<i>С. В. Собурь</i> Предпринимателю о пожарной безопасности предприятия: Пособие. — 2-е изд. с доп. и изм. — М.: ПожКнига, 2004. — 354 с.	10	150	143	128	120
<i>С. В. Собурь</i> Заполнение проемов в противопожарных преградах: Пособие. — 2-е изд. с доп. и изм. — М.: ПожКнига, 2006 — 168 с.	10	90	85	77	72
<i>С. В. Собурь</i> Доступно о пожарной безопасности: Брошюра. — 3-е изд. (с изм.). — М.: ПожКнига, 2006. — 32 с.	20	29	28	25	23
СЕРИЯ “ПОЖАРНАЯ ТЕХНИКА”					
<i>В. В. Теребнёв, Н. И. Ульянов, В. А. Грачёв</i> Пожарная техника: Учебное пособие в 2-х т. — М.: Центр Пропаганды, 2007. — Т. 1: Пожарно-техническое вооружение. Устройство и применение. — 328 с.; Т. 2: Пожарные машины. Устройство и применение. — 328 с.	10	460	437	491	368
СЕРИЯ “ПОЖАРНО-СТРОЕВАЯ ПОДГОТОВКА И ГАЗОДЫМОЗАЩИТА”					
<i>В. В. Теребнёв, А. В. Теребнёв, В. А. Грачёв, А. В. Подгрушный</i> Пожарно-строевая подготовка: Учебное пособие. — М.: Центр Пропаганды, 2004. — 344 с.	10	300	285	255	240
Методические рекомендации по пожарно-строевой подготовке. — М.: ГРИФ МЧС, 2007. — 200 с.	10	180	171	153	144
<i>В. А. Грачёв, Д. В. Поповский</i> Газодымозащитная служба: Учебник. — М.: Центр Пропаганды, 2006. — 379 с.	10	350	333	298	280
<i>В. А. Грачёв, С. В. Собурь</i> Средства индивидуальной защиты органов дыхания: Справочник. — М.: Центр Пропаганды, 2007. — 224 с.	10	300	285	255	240
СЕРИЯ “ТАКТИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СЛУЖБЫ”					
<i>В. В. Теребнёв, А. В. Подгрушный</i> Пожарная тактика: Учебное пособие. — М.: ООО “Калан”, 2007. — 538 с.	10	480	456	408	384
<i>В. В. Теребнёв, А. В. Подгрушный, М. В. Бондаренко, В. А. Грачёв</i> Пожарная тактика в примерах: Учебное пособие. — М.: ООО “Калан”, 2007. — 635 с.	10	450	428	382	360
<i>В. В. Теребнёв, А. В. Теребнёв</i> Управление силами и средствами на пожаре: Учебное пособие. — М.: Центр Пропаганды, 2006. — 264 с.	10	300	285	255	240
<i>В. В. Теребнёв, А. В. Теребнёв, В. А. Грачёв</i> Организация службы начальника караула пожарной части: Учебное пособие. — М.: Центр Пропаганды, 2007. — 216 с.	10	300	285	255	240

Наименование	Кол-во экз. в уп. (шт.)	руб./ экз.	от 1 уп.	от 3 уп.	от 5 уп.
<i>В. В. Терebinёв, А. В. Терebinёв, В. А. Грачёв, А. В. Подрушный</i> Тактическая подготовка должностных лиц органов управления силами и средствами на пожаре: Учебное пособие. — М.: Центр Пропаганды, 2006. — 304 с.	10	300	285	255	240
<i>В. В. Терebinёв, А. В. Терebinёв, В. А. Грачёв, А. А. Шехов</i> Организация службы пожарной части: Учебное пособие. — М.: Центр Пропаганды, 2007. — 360 с.	10	350	333	298	280
СЕРИЯ “ПОДГОТОВКА СПАСАТЕЛЕЙ-ПОЖАРНЫХ”					
<i>В. В. Терebinёв, В. В. Подставков</i> Противопожарная служба гражданской обороны: Учебное пособие. — М.: Центр Пропаганды, 2007. — 288 с.	10	300	285	255	240
<i>В. В. Терebinёв, К. В. Шадрин</i> Пожарно-профилактическая подготовка: НОВИНКА Учебное пособие. — М.: Центр Пропаганды, 2008. — 240 с.	10	340	323	289	272
СЕРИЯ “ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ”					
<i>В. В. Терebinёв, Н. С. Артемьев, В. А. Грачёв</i> Справочник спасателя-пожарного: Справочник. — М.: Центр Пропаганды, 2006. — 528 с.	10	350	333	298	280
<i>В. В. Терebinёв, Н. С. Артемьев, К. В. Шадрин</i> Основы пожарного дела: Учебное пособие. — М.: Центр Пропаганды, 2006. — 328 с.	10	350	333	298	280
Электронная версия учебного пособия по курсу “Пожарная безопасность объектов”, автор — А. Я. Корольченко. Пособие включает в себя сборник нормативных актов по организации и обеспечению пожарной безопасности объектов.	450				
Электронная версия комплекта типовых инструкций по пожарной безопасности для руководителя предприятия	980				
ГОТОВИТСЯ К ИЗДАНИЮ					
<p>В 2008 г. издательство “Пожнаука” выпустит второе издание книги <i>А. Я. Корольченко и О. Н. Корольченко</i> “СРЕДСТВА ОГНЕЗАЩИТЫ”.</p> <p>По сравнению с первым изданием в книгу внесены существенные изменения: включена глава, посвященная механизму огнезащиты древесины, металлических и железобетонных конструкций, воздуховодов, электрических кабелей и тканей.</p> <p>Значительно расширена глава по анализу требований, содержащихся в нормативных документах по средствам огнезащиты, и их применению в практике строительства.</p> <p>В новое издание книги включена глава по оптимизации выбора средств огнезащиты с учетом области их применения, технологии огнезащитной обработки и стоимостных показателей.</p> <p>Значительно расширена номенклатура средств огнезащиты, предлагаемых на отечественном рынке для огнезащиты: древесины (пропитки, лаки, краски и обмазки), несущих металлических конструкций (средства для конструктивной огнезащиты, огнезащитные штукатурки, покрытия на основе вермикулита, вспучивающиеся покрытия), воздуховодов, кабелей и кабельных проходок, ковровых покрытий и тканей. Информация о средствах огнезащиты включает данные о рекомендуемых областях их применения, эффективности, технологии нанесения, организациях-производителях.</p>					

ВНИМАНИЮ ПОДПИСЧИКОВ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДАНИЙ!

*ООО “Издательство “Пожнаука” продолжает подписку на 2008 г.
на специализированный научно-технический журнал “Пожаровзрывобезопасность”
с приложением “Пожарная безопасность в строительстве”.*

Стоимость подписки на год — 2520 руб.

Подписка осуществляется через следующие агентства:

Название организации	Телефон/факс	Адрес	Индекс в каталоге
Агентство подписки и розницы “АПР”	(495) 974-11-11	г. Москва, пр-т Маршала Жукова, д. 4	83647 123995
Агентство “РОСПЕЧАТЬ”	(495) 921-25-50	г. Москва, пр-т Маршала Жукова, д. 4	83340 123995
Агентство “ВСЯ ПРЕССА”	(495) 787-34-47, 787-36-31	127015, Москва, ул. Ново-дмитровская, д. 5А	—
Агентство “ИНТЕР-ПОЧТА”	(495) 500-00-60, 684-55-34	129090, г. Москва, пер. Васнецова, д. 4, стр. 2	—
Агентство “УРАЛ-ПРЕСС XXI”	(495) 789-86-37, 789-86-36	125040, г. Москва, Нижняя Масловка, д. 11-13	—
Агентство “Артос-ГАЛ”	(495) 981-03-24	г. Москва, ул. 3-я Гражданская, д. 3, стр. 2	107564
ООО “Информнаука”	(495) 155-43-42	125190, г. Москва, ул. Усиевича, д. 20	—

**ПЕРЕЧЕНЬ ОРГАНИЗАЦИЙ,
распространяющих литературу издательства “Пожнаука”**

Название организации	Адрес	Телефон/факс
1. ПУЛЬС	107014, г. Москва, ул. Русаковская, д. 28, стр. 1 А	(495) 933-09-90
2. Дом книги Санкт-Петербурга	191186, г. Санкт-Петербург, Невский пр-т, д. 28	(812) 449-28-73 449-28-78
3. ООО “НТЦ “ИРАРМ”	162627, Вологодская обл., г. Череповец, ул. Металлургов, д. 12	(8202) 57-43-68
4. ЗАО “КНОРУС”	129110, г. Москва, ул. Б. Переяславская, д. 46	(495) 680-72-54, 680-12-78, 783-39-68
5. НИЦ “Норматив-Информ”	109417, г. Москва, Рязанский пр-т, д. 82, кор. 5, а/я 97	(495) 705-31-51
6. ООО “ДиА Медиа”	127560, Москва, а/я 97	(499) 158-63-45, 158-63-51, 158-67-17
7. Альфа Библиос	109240, г. Москва, ул. Гончарная, д. 3, стр. 1, комн. 15	(495) 698-06-41, 933-81-08, 995-20-27
8. ООО “Центр Пропаганды”	129515, г. Москва, ул. Академика Королева, д. 13, кор. 1	(495) 231-48-41

Продолжение таблицы

Название организации	Адрес	Телефон/факс
9. ООО “Т-Книга”	460052, г. Оренбург, ул. Салмышская, д. 25, к. 4	(3532) 77-49-06
10. Урал ИнфоСервис	620138, г. Екатеринбург, а/я 23	(343) 349-04-55, 349-05-75, 349-04-50
11. ЦУПЛ	111123, г. Москва, ш. Энтузиастов, д. 56	(495) 978-18-22, 971-42-67, 788-50-30
12. ООО “Издательский Дом ИНФРА-М”	127282, г. Москва, ул. Полярная, д. 31в	(495) 380-05-40, 363-42-60, 363-92-12, 380-05-42
13. ЗАО “Делсар”	220050, г. Минск-50, а/я 267	(10-375-17) 210-50-32, 284-16-55
14. ООО “Ивкнига”	153038, г. Иваново, ул. Кудряшова, д. 98	(4932) 56-15-76, 56-20-77, 56-15-01, 53-78-72, 56-05-81
15. ООО “Техническая книга”	660049, г. Красноярск, ул. К. Маркса, д. 78, 2-й этаж	(3912) 40-77-83, 27-52-86
16. ООО “Издательство “Калан”	620017, г. Екатеринбург, Пр. Космонавтов, д. 11/1, оф. 7	(343) 321-95-67
17. ООО “ТЕТРАН”	344022, г. Ростов-на-Дону, Боготьяновский спуск, д. 21	(863) 263-63-88

Образец заявки для оформления заказа на литературу

Название организации (полностью), реквизиты (ИНН/КПП обязательно)
Наименование и количество заказываемой литературы
Вид доставки: • самовывоз; • почтовая (ВНИМАНИЕ! +20% от стоимости заказа)
Почтовый адрес, тел./факс, e-mail, контактное лицо

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

- по почте: 107023, г. Москва, пл. Журавлева, д. 2, стр. 2
- по тел. /факсу: (495) 228-09-03
- по e-mail: firepress@gmail.com, info@firepress.ru



К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

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

Редакция просит авторов при подготовке рукописи руководствоваться изложенными ниже правилами.

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

2. Текст статьи должен быть напечатан через 2 интервала без помарок и вставок на одной стороне стандартного листа формата А4 с левым полем 3 см. На полях напротив первой ссылки в тексте проставляются номера рисунков и таблиц.

3. Материал статьи излагается в такой последовательности:

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

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

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

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

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

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

Приглашаем Вас к сотрудничеству на страницах нашего журнала.

Председатель Редакционного совета:

*д.т.н., профессор, академик МАНЭБ
А. Я. Корольченко*

Зам. председателя Редакционного совета:

*д.т.н., профессор, член-корреспондент НАНПБ
Ю. М. Глуховенко
д.т.н., профессор, академик Нью-Йоркской академии наук
В. В. Мольков
д.т.н., профессор В. П. Назаров*

Редакционный совет:

*д.т.н., профессор, действительный член НАНПБ,
заслуженный деятель науки РФ А. Н. Баратов
д.т.н., профессор, академик РАЕН,
заслуженный деятель науки РФ Н. Н. Брушлинский
к.т.н., профессор Е. Е. Кирюханцев
к.т.н. Д. А. Корольченко
к.т.н. В. А. Меркулов
д.т.н., профессор, академик РАЕН
А. В. Мишуев
д.т.н., профессор, действительный член НАНПБ
В. М. Ройтман
д.т.н., профессор,
действительный член НАНПБ Б. Б. Серков
д.т.н., профессор, член-корреспондент НАНПБ
С. В. Пузач
д.т.н., профессор, академик РАЕН, НАНПБ
Н. Г. Топольский
д.т.н., член-корреспондент МАНЭБ
Н. А. Тычино
д.т.н., профессор, действительный член НАНПБ
Ю. Н. Шебеко
профессор Т. Дж. Шилдс
д.т.н., профессор, академик и почетный член РАЕН
В. В. Холщевников*

Редакция:

*Главный редактор журнала
д.т.н., профессор, академик МАНЭБ
А. Я. Корольченко
Шеф-редактор
О. В. Коренькова
Отдел рекламы и распространения:
О. И. Нестерова, Л. И. Рахманова*

Chairman of Editorial Council:

*Dr.Sc.(Eng.), Professor, Academician of International Academy
of Ecology and Life Safety A. Ya. Korolchenko*

Deputy of Chairman of Editorial Council:

*Dr.Sc.(Eng.), Professor, Corresponding Member
of the National Academy of Fire Science Yu. M. Gluhovenko
Dr.Sc.(Eng.), Professor, an Active Member of the New-York Academy
of Sciences V. V. Molkov
Dr.Sc.(Eng.), Professor V. P. Nazarov*

Editorial Council:

*Dr.Sc.(Eng.), Professor, Full Member of National Academy
of Fire Science, the Honoured Scientist of the Russian Federation
A. N. Baratov
Dr.Sc.(Eng.), Professor, Academician of the Russian Academy
of Natural Sciences, the Honoured Scientist of the Russian
Federation N. N. Brushlinskiy
Cand.Sc.(Eng.), Professor E. E. Kiryuhantsev
Cand.Sc.(Eng.) D. A. Korolchenko
Cand.Sc.(Eng.) V. A. Merkulov
Dr.Sc.(Eng.), Professor, Academician of the Russian Academy
of Natural Sciences A. V. Mishuev
Dr.Sc.(Eng.), Professor, Full Member of National Academy
V. M. Roitman
Dr.Sc.(Eng.), Professor, Full Member of National Academy
of Fire Science B. B. Serkov
Dr.Sc.(Eng.), Professor, Corresponding Member
of the National Academy of Fire Science S. V. Puzach
Dr.Sc.(Eng.), Professor, Academician of the Russian Academy
of Natural Sciences, National Academy of Fire Science
N. G. Topolskiy
Dr.Sc.(Eng.), Corresponding Member of International Academy
of Ecology and Life Safety N. A. Tyichino
Dr.Sc.(Eng.), Professor, Full Member of National Academy
of Fire Science Yu. N. Shebeko
Professor Thomas Jim Shields
Dr.Sc.(Eng.), Professor, Academician and the Honoured Member
of the Russian Academy of Natural Sciences
V. V. Kholshchevnikov*

Editorial Office:

*Deputy Editor-in-Chief
Dr.Sc.(Eng.), Professor, Academician of International Academy
of Ecology and Life Safety A. Ya. Korolchenko
Editor-in-Chief
O. V. Korenkova
PR and Subscription Section:
O. I. Nesterova, L. I. Rahmanova*

Учредитель – ООО “Издательство “Пожнаука”

**Тел./факс: (495) 228-09-03
107023, г. Москва, пл. Журавлева, д. 2, стр. 2
E-mail: firepress@gmail.com; info@firepress.ru
http://www.firepress.ru**

ISSN 0869-7493



Подписано в печать 01.08.08.
Формат 60×84 1/8. Тираж 10000 экз.
Бумага офсетная №1. Печать офсетная.
Отпечатано в типографии “ГранПри”, г. Рыбинск



Dr. STHAMER HAMBURG



**СОВРЕМЕННЫЕ
ПРОТИВОПОЖАРНЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

107023, г. Москва, пл. Журавлева, д. 2, стр. 2
Тел./факс: (495) 964-05-46 E-mail: spt@pisem.net

ПЕНООБРАЗОВАТЕЛИ ДЛЯ ПОЖАРОТУШЕНИЯ



Шторм-М

Пленкообразующий синтетический фторсодержащий пенообразователь целевого и специального назначения для получения пены низкой, средней и высокой кратности, включая метод подачи пены в резервуар под слой горючей жидкости во всех климатических районах Российской Федерации. Производится двух типов: 3 и 6%.

Штамекс AFFF (STHAMEX AFFF 3/6), Штамекс многоцелевой (STHAMEX-Multiform AFFF 3/6)

Высокоэффективные пленкообразующие синтетические фторсодержащие пенообразователи целевого и специального назначения для получения пены низкой, средней и высокой кратности. Служат для тушения пожаров классов А и В. Могут использоваться для подслоного пожаротушения.

Штамекс F-15 (STHAMEX F-15)

Углеродородный пенообразователь на основе синтетических ПАВ с широким спектром применения.

ISSN 0869-7493



9 770869 749006