

2-2013

ПОЖ Издательство
НАУКА

ПОЖАРОВЗРЫВО-

БЕЗОПАСНОСТЬ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ



ISSN 0869-7493

КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

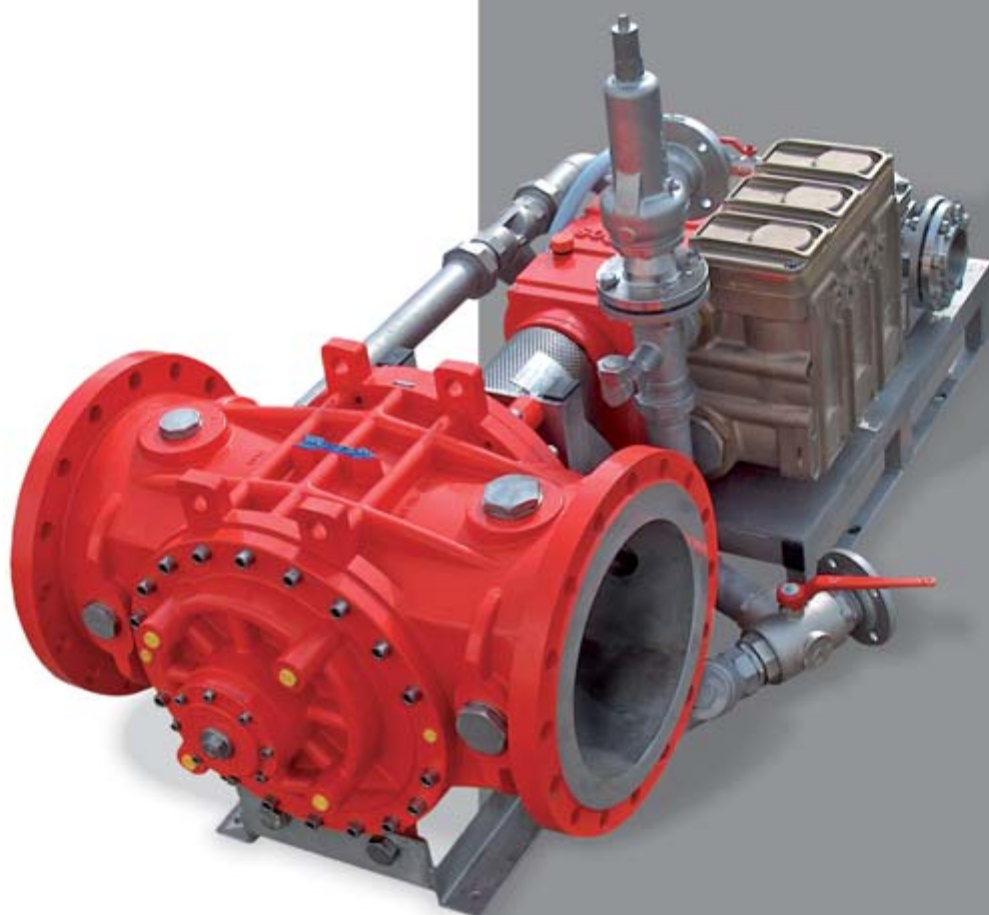
пожарная • промышленная • производственная • экологическая



ВЫБОР СРЕДСТВА
ПОЖАРОТУШЕНИЯ ДЛЯ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ



СИСТЕМЫ ДОЗИРОВАНИЯ ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЕЙ



РЕКЛАМА



ООО НПК «Гефест» — официальный представитель
FireDos® GmbH в России
121352, г. Москва, ул. Давыдовская, д. 12, стр. 3
Тел./факс (495) 735-28-13, 735-28-14
E-mail: info@gefestnpk.ru; www.gefestnpk.ru

MosBuild



АРХИТЕКТУРА • СТРОИТЕЛЬСТВО • ДИЗАЙН • ДЕКОР

2 – 5 АПРЕЛЯ 2013
ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»

**BUILDING
& INTERIORS**

Строительство • Интерьер

2 – 5 АПРЕЛЯ 2013
ВВЦ

FENESTRATION

Окна • Фасады
Ворота • Автоматика

16 – 19 АПРЕЛЯ 2013
ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»

CERSANEX

Керамика • Камень
Сантехника

Реклама

Официальный
информационный партнер:



Официальный
медиа-партнер:



Стратегический
Интернет-партнер:



При поддержке:

Коммерсантъ



www.mosbuild.com



СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

НОВОСТИ, КОНФЕРЕНЦИИ, ВЫСТАВКИ

NEWS, CONFERENCES, EXHIBITIONS

ДЕШЕВЫХ Ю. И.
О пожарной безопасности на территории России
в период новогодних праздников

DESHEVYKH Yu. I.
Fire Safety in Russia During Christmas
Holidays

4-я Конференция по исследованию поведения
пожаров и топлив "На перепутье: Взгляд на изменение
окружающей среды в будущем", 1–4 июля 2013 г.,
г. Санкт-Петербург, Россия

4th Fire Behavior and Fuels Conference
"At the Crossroads: Looking toward the Future
in a Changing Environment", July 1–4, 2013,
Saint-Petersburg, Russia

ПРОЦЕССЫ ГОРЕНИЯ И ВЗРЫВА

COMBUSTION AND EXPLOSION PROCESSES

ЖДАНОВА А. О., КУЗНЕЦОВ Г. В., СТРИЖАК П. А.
Влияние распределения капель воды в "водяном снаряде"
на температуру в его следе

ZHDANOVA A. O., KUZNETSOV G. V., STRIZHAK P. A.
Influence of Water Droplets Distribution in the "Water Shell"
on Temperature in Follow Movement

ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТЬ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

FIRE-AND-EXPLOSION HAZARD OF SUBSTANCES AND MATERIALS

КАЛАЧ А. В., СОРОКИНА Ю. Н.,
КАРТАШОВА Т. В., СПИЧКИН Ю. В.
Оценка пожароопасных свойств органических
соединений с применением дескрипторов

KALACH A. V., SOROKINA Yu. N.,
KARTASHOVA T. V., SPICHKIN Yu. V.
Evaluation of the Fire Hazards Properties of Organic
Compounds by Using Descriptors

УШКОВ В. А., ЛАЛАЯН В. М., СОКОРЕВА Е. В.
Распространение пламени по поверхности
строительных пенопластов

USHKOV V. A., LALAYAN V. M., SOKOREVA Ye. V.
Flame Spread Over Construction Foam Plastic
Surfaces

ПУЗАЧ С. В., СУЛЕЙКИН Е. В., АКПЕРОВ Р. Г., ДУТОВ В. И.
Повышение достоверности экспериментальных методов
определения показателя токсичности веществ
и материалов

PUZACH S. V., SULEYKIN Ye. V.,
AKPEROV R. G., DUTOV V. I.
Increasing the Validity of Experimental Definition
of Substance and Material Toxic Potency

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ, ОБЪЕКТОВ

FIRE SAFETY OF BUILDINGS, STRUCTURES, OBJECTS

КОРНИЛОВ А. А.
Оптимизация системы противопожарной защиты
объекта посредством дифференцированной оценки
вероятности возникновения пожара

KORNILOV A. A.
Optimization of System of Fire-Prevention Protection
of Object by Means of the Differentiated Assessment
of Probability of Emergence of a Fire

БОЧКАРЕВ А. Н., БОЧКАРЕВ И. А.
Комплексные системы и методы обеспечения
авиационной и пожарной безопасности на объектах
транспорта

BOCHKAREV A. N., BOCHKAREV I. A.
Complex Systems and Methods
for Aviation Security and Fire Safety
at Sites of Transport

БЕЗОПАСНОСТЬ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРАХ

FIRE SAFETY OF PEOPLE

ШАРХУН С. В.
Средства оповещения и управления эвакуацией людей
при пожаре на основе сетевых технологий

SHARKHUN S. V.
Tools Warning and Evacuation in Case of Fire
Based Network Technologies

ПОЖАРНАЯ ТЕХНИКА

FIRE ENGINEERING

БЕЛОУСОВ В. С., САВИН М. А., САРКИСОВ С. В.
Эксергетическая оценка эффективности использования
теплоты для самоподогрева воды насосом
пожарного автомобиля

BELOUSOV V. S., SAVIN M. A., SARKISOV S. V.
Exergic Assessment of Efficiency of Heat Application
for Self-Heating of Water by Means of Fire
Engine's Pump

СРЕДСТВА И СПОСОБЫ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

MEANS AND WAYS OF FIRE EXTINGUISHING

ЛАНИН Д. Г., ПОЛЯКОВ Д. В., ЦАРИЧЕНКО С. Г.
Обоснование выбора средства пожаротушения
для электрических кабелей

LANIN D. G., POLYAKOV D. V., TSARICHENKO S. G.
Substantiation of the Selection of Fire Extinguishing
Agent for Electric Cables

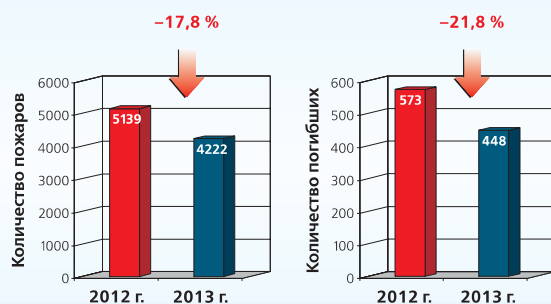
ГУРЬЕВ Ю. В., ТКАЧЕНКО И. В., ЕРЕМИН Ю. С.
Использование методов численного моделирования
в проектировании оросителей автоматических установок
пожаротушения тонкораспыленной водой

GURYEV Yu. V., TKACHENKO I. V., YEREMIN Yu. S.
Computational Modeling Methods
in Design of Irrigator with
Water Spray

ВОПРОС – ОТВЕТ

QUESTION – ANSWER

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, в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ). Сведения о журнале ежегодно публикуются в Международной справочной системе по периодическим и продолжающимся изданиям "Ulrich's Periodicals Directory". Перепечатка материалов журнала "Пожаровзрывобезопасность" только по согласованию с редакцией. При цитировании ссылка обязательна. Авторы и рекламодатели несут ответственность за содержание представленных в редакцию материалов и публикацию их в открытой печати. Мнение редакции не всегда совпадает с мнением авторов опубликованных материалов.



О пожарной безопасности в новогодние праздники



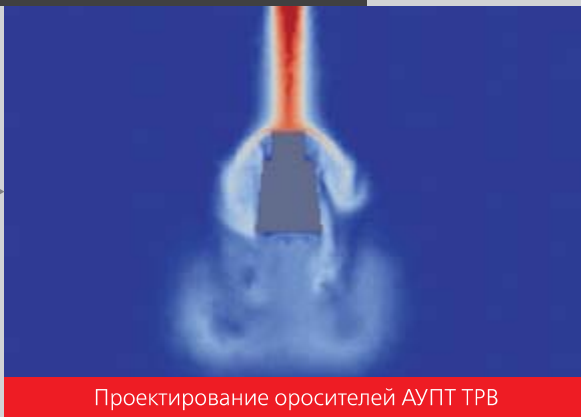
Конференция по исследованию поведения пожаров



Обеспечение авиационной и пожарной безопасности



Средства пожаротушения для электрических кабелей



Проектирование оросителей АУПТ ТРВ

Председатель Редакционного совета:

Корольченко А. Я.

д. т. н., профессор, академик МАНЭБ (Россия)

Зам. председателя Редакционного совета:

Мольков В. В.

д. т. н., профессор (Великобритания)

Редакционный совет:

Баратов А. Н.

д. т. н., профессор, действительный член НАНПБ, заслуженный деятель науки РФ (Россия)

Барбин Н. М.

д. т. н., профессор (Россия)

Брушлинский Н. Н.

д. т. н., профессор, академик РАЕН, заслуженный деятель науки РФ (Россия)

Кирюханцев Е. Е.

к. т. н., профессор (Россия)

Корольченко Д. А.

к. т. н. (Россия)

Меркулов В. А.

к. т. н. (Россия)

Мишуев А. В.

д. т. н., профессор, академик РАЕН (Россия)

Ройтман В. М.

д. т. н., профессор, академик НАНПБ и ВАНКБ (Россия)

Сенин Н. И.

к. т. н., профессор (Россия)

Серков Б. Б.

д. т. н., профессор, действительный член НАНПБ (Россия)

Пузач С. В.

д. т. н., профессор, член-корреспондент НАНПБ (Россия)

Теличенко В. И.

д. т. н., профессор (Россия)

Топольский Н. Г.

д. т. н., профессор, академик РАЕН и НАНПБ, заслуженный деятель науки РФ (Россия)

Тычино Н. А.

д. т. н., член-корреспондент МАНЭБ (Белоруссия)

Холщевников В. В.

д. т. н., профессор, академик и почетный член РАЕН, заслуженный работник высшей школы РФ (Россия)

Шебеко Ю. Н.

д. т. н., профессор, действительный член НАНПБ (Россия)

Шилдс Т. Дж.

профессор (Великобритания)

Учредитель — ООО "Издательство "Пожнаука"

Тел./факс: (495) 228-09-03, (495) 735-28-03,
(495) 737-65-74, 8-909-940-63-94.

121352, г. Москва, а/я 43.

E-mail: info@fire-smi.ru, mail@firepress.ru,

www.fire-smi.ru, www.firepress.ru.

Подписано в печать 15.02.13.

Формат 60×84 1/8. Тираж 5000 экз.

Бумага мелованная матовая. Печать офсетная.

Отпечатано в типографии "ГранПри", г. Рыбинск.

МЧС РОССИИ

информирует



О ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ В ПЕРИОД НОВОГОДНИХ ПРАЗДНИКОВ



В праздничные дни, и особенно в продолжительные новогодние праздники, как правило, возрастает число пожаров и несчастных случаев. В группе риска оказываются люди, находящиеся в состоянии алкогольного опьянения, которые часто сами становятся виновниками пожаров. Кроме того, для создания праздничной атмосферы многие применяют петарды, фейерверки и салюты, которые в случае неправильного использования могут привести к несчастным случаям, в том числе к возникновению возгораний.

О пожарной безопасности на территории России в новогодние праздники 2012/2013 гг. — в интервью директора Департамента надзорной деятельности МЧС России **Юрия ДЕШЕВЫХ**.

Юрий Иванович, расскажите, пожалуйста, как обеспечивалась пожарная безопасность на территории Российской Федерации в новогодние праздники?

Сначала хотелось бы кратко сказать о результатах деятельности МЧС России по обеспечению пожарной безопасности в 2012 г. В прошлом году в Российской Федерации зарегистрировано 162 510 пожаров, что на 3,6 % меньше, чем в 2011 г. Число погибших на пожарах снизилось на 3,7 % и составило 11 570 чел.

Что касается новогодних праздников, то надзорными органами МЧС России проведено свыше 77 тысяч проверок противопожарного состояния объектов, задействованных в проведении новогодних и рождественских мероприятий, а также мест производства, хранения и реализации пиротехнической продукции.

Во взаимодействии со службой судебных приставов была приостановлена эксплуатация объектов проведения новогодних праздников, на которых не были устранены в установленные сроки грубые нарушения противопожарных требований. Меры, предпринятые по пресечению выявленных правонарушений, позволили устранить более 48 тысяч нарушений требований пожарной безопасности.

С помощью средств массовой информации, а также системы "ОКСИОН" организовано информирование населения о мерах безопасности во время организации новогодних представлений и применения пиротехнических изделий.

С руководителями и персоналом объектов, задействованных в праздничных мероприятиях, были проведены противопожарные инструктажи, а также

осуществлена практическая отработка действий в случае возникновения пожара и других чрезвычайных ситуаций. На наиболее значимых объектах проведения праздничных мероприятий было организовано дежурство личного состава надзорных органов МЧС России.

Совместно с муниципальными органами власти, органами внутренних дел и социальной защиты



были спланированы и проведены подворовые обходы домовладений, где проживают социально не адаптированные группы населения.

Значительное число мест, где предполагалась реализация пиротехнической продукции, было обеспечено памятками и инструкциями по ее применению. В городах и других населенных пунктах России оборудованы специальные площадки для безопасного использования пиротехники.

Каковы результаты этой масштабной работы?

Проведенная работа позволила существенно сократить потери от пожаров в праздничный период (см. диаграмму). В сравнении с аналогичным периодом прошлого года общее количество пожаров сократилось на 17,8 %, а число погибших на них людей — на 21,8 %. В абсолютных цифрах в праздничный период на территории Российской Федерации зарегистрировано 4222 пожара, что на 917 случаев меньше, чем в прошлом году. Количество погибших на пожарах снизилось на 125 чел. и составило 448 чел. В местах проведения массовых праздничных мероприятий гибели людей не допущено.

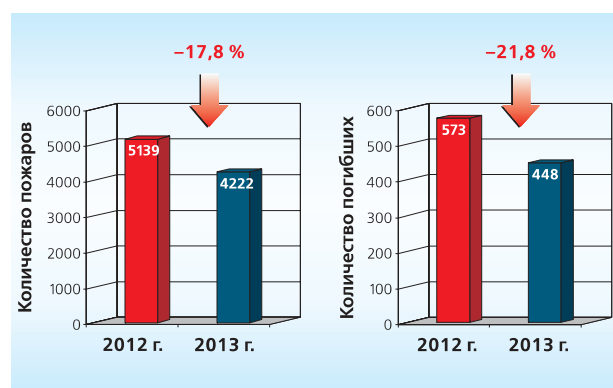


Диаграмма обстановки с пожарами в России в период с 30.12.2012 г. по 08.01.2013 г. по сравнению с аналогичным периодом прошлого года

При общей положительной тенденции отмечен одновременный рост количества пожаров и погибших людей в праздничные дни в Республиках Мордовия, Чувашия и в Оренбургской области. Увеличение числа пожаров зарегистрировано в Республиках Алтай, Марий Эл, в Ульяновской и Архангельской областях. Рост числа погибших при пожарах людей зафиксирован в Республиках Коми, Тыва, Хакасия, в Самарской, Волгоградской, Кировской областях, а также в Пермском и Красноярском краях.

Имели ли место пожары с групповой гибелью людей?

К сожалению, да. Пожары с одновременной гибелью 2 чел. произошли в 26 субъектах Российской Федерации; 3 чел. — в Самарской, Свердлов-



ской, Вологодской областях, а также в Красноярском крае; 4 чел. — в Московской области и Пермском крае. Пожар в жилом доме в Волгоградской области унес жизни 5 чел.

Наряду с этим в новогодний период зарегистрирован ряд пожаров на социально значимых объектах. Так, 1 января 2013 г. произошел пожар в Каменском сельском Доме культуры в Ковернинском районе Нижегородской области. К счастью, в момент происшествия людей в здании не было, так как массовых мероприятий в дни праздников в Доме культуры не планировалось. В тот же день в гостинице ООО «МК Омега» (г. Москва, ул. Фрязевская, д. 6) в результате пожара пострадало 5 чел. Вместе с тем благодаря работе пожарной сигнализации и системы оповещения были успешно эвакуированы 185 чел.

Хотелось бы отметить, что благодаря успешной работе систем пожарной сигнализации и оповещения, а также своевременным действиям пожарных подразделений во многих населенных пунктах России удалось ликвидировать пожары на ранней стадии и не допустить гибели людей.

Юрий Иванович, скажите, пожалуйста, что явилось основной причиной пожаров в эти новогодние праздники?

Проведенный анализ показал, что большинство пожаров приходится на частный сектор, расположенный в сельской местности, и значительная часть из них произошла из-за неосторожного обращения с огнем лиц, находившихся в состоянии алкогольного опьянения, а также из-за нарушений правил эксплуатации приборов отопления.

В целом, реализованные мероприятия по предупреждению и тушению пожаров соответствовали сложившейся на период праздников оперативной обстановке и позволили сохранить позитивную динамику снижения количества пожаров и последствий от них.

4-я КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ПОВЕДЕНИЯ ПОЖАРОВ И ТОПЛИВ

НА ПЕРЕПУТЬЕ: Взгляд на изменение
окружающей среды в будущем

1–4 июля 2013 г.
г. Санкт-Петербург, Россия



Представляют
Международная ассоциация природных пожаров (IAWF)
и Ассоциация пожарной безопасности (IAFSS)



в содействии
с Томским государственным университетом (Россия)
и Политехническим институтом Вустера (WPI, США)



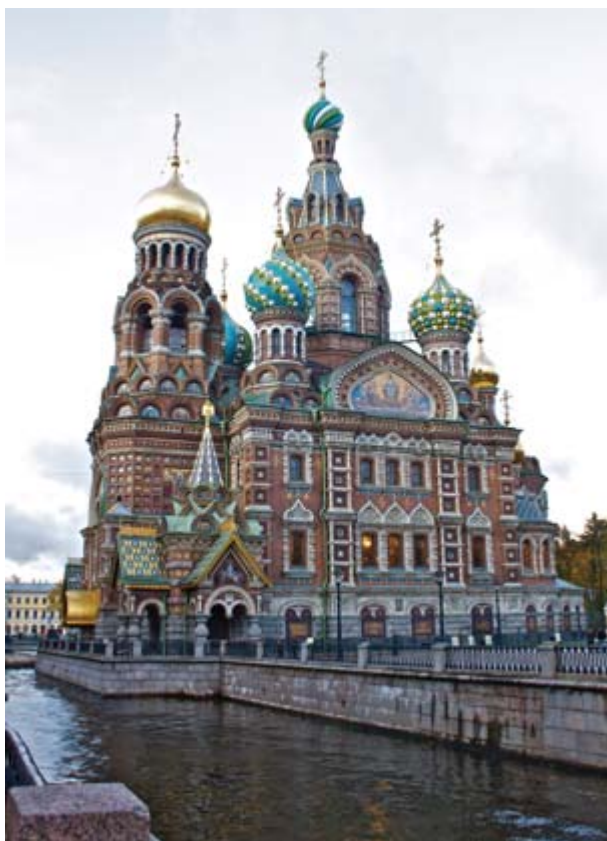
Приглашаем Вас принять участие в 4-й конференции по исследованию поведения пожаров и топлив, которая пройдет с 1 по 4 июля 2013 г. в отеле “Азимут” г. Санкт-Петербурга. Тема конференции: “На перепутье: Взгляд на изменение окружающей среды в будущем”.

Цели конференции:

- создать форум, на котором докладчики и участники смогут обмениваться информацией в различных областях;
- обсудить развитие инновационных программ борьбы с пожарами, которые уменьшат антропогенные риски и улучшат состояние экосистем;
- повысить осведомленность о разнообразии подходов, способов и идей для борьбы с природными пожарами;
- продемонстрировать и содействовать развитию исследовательских идей и инновационного управления борьбы с пожарами;
- способствовать обмену опытом и идеями между менеджерами, исследователями, пожарными, бизнесом различных регионов и стран.

Конференция предоставит возможность ученым, исследователям, государственным служащим и частным компаниям всех уровней поделиться информацией о поведении природных пожаров и способах борьбы с ними с точки зрения различных областей науки, в том числе физико-математической, биологической, экономической и общественной.

Сфера управления и борьбы с пожарами в настоящее время находится на перепутье — перед выбором, с одной стороны, пути развития достижений,



полученных в последние десятилетия, для улучшения существующих программ и повышения их эффективности, а с другой — более инновационного пути, направленного на расширение исследований, которые будут в большей мере отвечать изменяющимся и



усложняющимся условиям пожаров, росту техногенного фактора, а также научным и технологическим возможностям на данном этапе. Необходимо ускорить данные исследования и интеграцию полученных результатов в систему принятия решений, чтобы в будущем борьба с пожарами была основана на лучших научных разработках и, соответственно, являлась более эффективной. Конференция по исследованию поведения пожаров и топлив даст возможность ее участникам обсудить опыт прошлого, последние научные достижения, идеи и технологии с целью разработки будущего курса, направленного на решение проблем пожарной безопасности не только на локальном уровне, в регионах, но и в мировом масштабе.



На конференции планируется выступление более 200 участников, представляющих МЧС, правитель-

ство, промышленность, академические и образовательные учреждения. Ожидается, что выставка, проведение которой предусмотрено в рамках конференции, станет ярким дополнением к программе конференции и предоставит участникам большие возможности для установления деловых контактов.

Прием тезисов

В программу конференции будут включены устные и стендовые доклады. Рабочий язык конференции — английский. Планируется синхронный перевод пленарных докладов, рабочих столов и отдельных секций.

Тезис доклада на английском языке Вы можете представить на сайте конференции: <http://www.iawfonline.org/2013FuelsConference>.

Крайний срок подачи тезисов **1 марта 2013 г.** Все тезисы пройдут рецензирование. Уведомление о принятии докладов будет разослано участникам до **15 апреля 2013 г.**



Возможны различные варианты участия и спонсорской помощи, и мы будем рады предоставить Вам вариант, который будет соответствовать потребностям и возможностям Вашей организации.

По вопросам получения дополнительной информации или участия в выставке Вы можете связаться с **Александром Фильковым** по электронной почте aifilkov@gmail.com.

Если Вы заинтересованы в организации круглого стола, то, пожалуйста, вносите свои предложения, связавшись с **Albert Simeoni** по электронной почте asimeoni@wpi.edu.

Дополнительную информацию Вы можете найти на сайте конференции:
<http://iawfonline.org/2013FuelsConference/index.php>.

**СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ СЕКЦИЯ
В РАМКАХ КРУПНЕЙШЕЙ ВЫСТАВКИ
ПО БЕЗОПАСНОСТИ В РОССИИ И СНГ!**



Mips
O S C O W

15 – 18 апреля 2013 года

Москва, ВВЦ, 75 павильон

с 2013 года на ВВЦ!



**ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ.
АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА.
ОХРАНА ТРУДА**



- системы аварийно-пожарного оповещения
- автоматические системы пожаротушения
- системы жизнеобеспечения
- приборы приемно-контрольные пожарные
- извещатели пожарные
- огнетушители пожарные
- огнетушащие вещества
- огнезащитные и взрывозащитные материалы
- пожарная автоматика, роботы
- пожарный инвентарь и оборудование
- аварийно-спасательное оборудование
- спецодежда

Организатор:



Тел.: +7 (495) 935 7350
Факс: +7 (495) 935 7351
security@ite-expo.ru

При поддержке:



МВД России

Генеральный
партнер выставки:



www.mips.ru

А. О. ЖДАНОВА, студентка, Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Россия, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 30; e-mail: zhdanooova@mail.ru)

Г. В. КУЗНЕЦОВ, д-р физ.-мат. наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической и промышленной теплотехники, Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Россия, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 30)

П. А. СТРИЖАК, д-р физ.-мат. наук, профессор, Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Россия, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 30; e-mail: pavelspa@tpu.ru)

УДК 536.46

ВЛИЯНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КАПЕЛЬ ВОДЫ В "ВОДЯНОМ СНАРЯДЕ" НА ТЕМПЕРАТУРУ В ЕГО СЛЕДЕ

Приведены результаты численных исследований влияния условий распыления типичного флегматизатора горения — воды на температуру в следе движения "водяного снаряда". Выполнена оценка эффективности воздействия воды на температуру в области горения. Показаны предельные значения параметров, характеризующих расстояния между каплями, при которых в следе "водяного снаряда" обеспечивается минимальная температура.

Ключевые слова: высокотемпературные газы; пожар; тушение; испарение; капли воды; моделирование.

Введение

Применение авиации для тушения лесных и крупных городских пожаров становится все более распространенной формой борьбы с этими стихийными бедствиями [1, 2]. Однако до сих пор отсутствуют результаты теоретических и экспериментальных исследований этих технологий, которые иллюстрировали бы возможности повышения эффективности использования воды для борьбы с огнем на больших площадях лесных пожаров. В последние годы тонкораспыленная вода рассматривается как один из самых перспективных флегматизаторов горения [3–6]. Однако физические основы технологии тушения пожаров таким распыленным флегматизатором не разработаны в полной мере до настоящего времени. Масштабность процесса горения во времени и в пространстве даже при относительно умеренных площадях распространения пожаров [7] делает нецелесообразным экспериментальное исследование процессов, происходящих при взаимодействии больших масс воды с пламенем, на малоразмерных моделях. Полученные в таких экспериментах результаты затруднительно использовать при анализе реальных процессов. Для этих целей целесообразно проведение теоретических исследований с использованием современных алгоритмов и методов решения задач тепломассопереноса и гидродинамики.

В работах [8–13] приведены результаты численных исследований, выполненных для монодисперсной совокупности капель тонкораспыленной воды при ее прохождении через высокотемпературные

продукты сгорания. Исследованы условия испарения одиночной [8, 9], двух [10] капель и группы из четырех [11] и пяти [12] капель. Определены зависимости времени испарения капель от температуры продуктов сгорания, скорости движения, размеров и расстояния между каплями для нескольких наиболее типичных систем "водяной снаряд" — пламя [8–12]. Проанализированы условия движения капель в струях тушащей жидкости [13]. Представляет интерес анализ влияния условий распыления флегматизатора горения на температуру в следе "водяного снаряда".

Цель работы — численное исследование влияния условий распыления "водяного снаряда" на температуру в следе его движения.

Постановка задачи

Установлено [8–13], что основные закономерности движения типичного тонкораспыленного флегматизатора горения — воды через высокотемпературные продукты сгорания можно рассматривать на примере нескольких капель, движущихся последовательно и/или параллельно на некотором расстоянии друг от друга L_n . На рис. 1 приведены схемы областей решения задач тепломассопереноса для трех моделей:

- модель 1: две капли, движущиеся последовательно (рис. 1,а);
- модель 2: две капли, движущиеся параллельно (рис. 1,б);
- модель 3: группа из пяти капель (рис. 1,в).

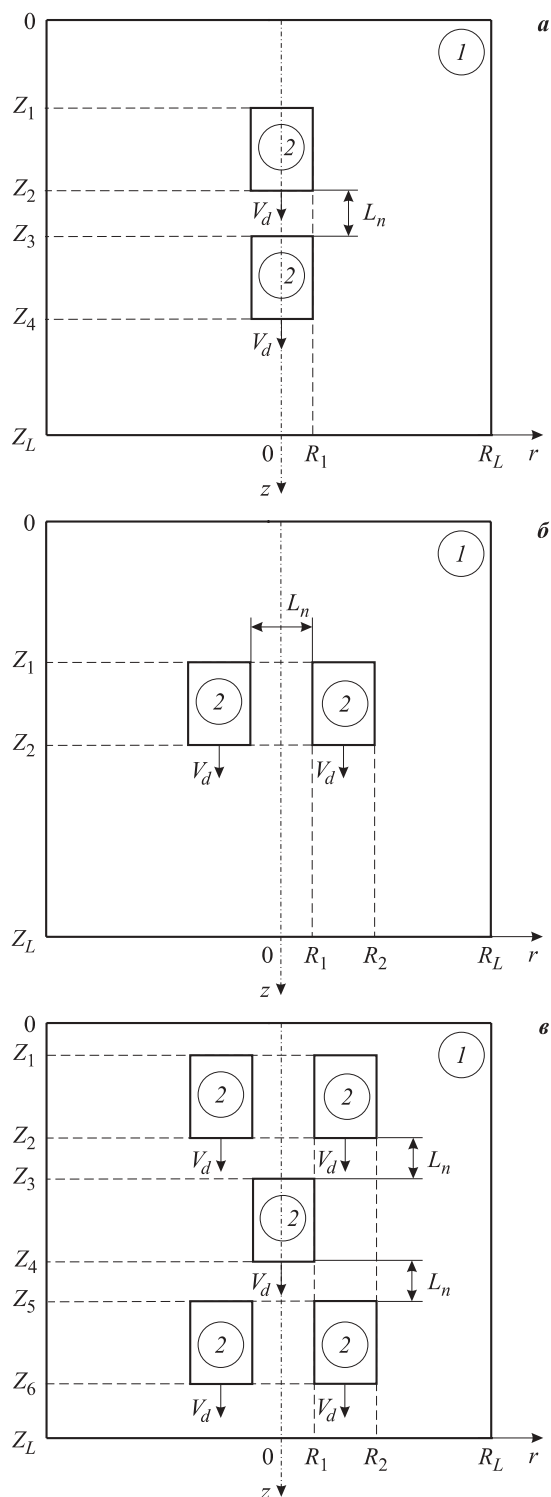


Рис. 1. Схема области решения задачи для двух капель, движущихся последовательно (а), параллельно (б), и группы из пяти капель (в): 1 — высокотемпературная газовая смесь; 2 — капли воды

В работах [10–12] показано, что если расстояние между каплями L_n больше некоторого предельного значения L_n^* , то их “совместное” влияние на температуру и концентрацию продуктов сгорания в следе “водяного снаряда” будет несущественным. Поэтому при постановке задачи (см. рис. 1) приня-

то, что капли движутся со скоростью V_d на некотором расстоянии друг от друга $L_n < L_n^*$. Начальная температура капель T_0 принималась значительно меньше температуры газообразных продуктов сгорания T_f , равной средней температуре пожара 1170 К. При постановке задачи считалось, что капли прогреваются за счет теплопроводности при их прохождении через газы и испаряются. Пары воды вдуваются в пристенную область капель и смешиваются с продуктами сгорания. Температура газов в непосредственной близости от траектории движения капель снижается. В условиях интенсивного парообразования размеры капель уменьшаются, и через некоторое время возможно их полное испарение. Время с начала движения капель до полного испарения считалось временем существования τ_d .

Численные исследования выполнены для продуктов сгорания типичного жидкого (представляющего наиболее пожаровзрывоопасную группу [14]) топлива — керосина. Допущения, принятые при численном моделировании в рассматриваемых системах (см. рис. 1), аналогичны постановкам [8–13].

Математические модели, соответствующие приведенным постановкам задач тепломассопереноса (см. рис. 1), включают системы нестационарных дифференциальных уравнений в частных производных [8–13], сформулированные в соответствии с основными положениями математической физики [15–17]. Так, например, для модели, приведенной на рис. 1,а, система уравнений в цилиндрической системе координат имеет следующий вид:

- $0 < r < R_L, 0 < z < Z_1, Z_2 < z < Z_3, Z_4 < z < Z_L;$
 $R_1 < r < R_L, Z_1 < z < Z_2, Z_3 < z < Z_4;$

$$C_1 \rho_1 \frac{\partial T_1}{\partial \tau} = \lambda_1 \left[\frac{\partial T_1^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_1}{\partial r} + \frac{\partial T_1^2}{\partial z^2} \right]; \quad (1)$$

$$\frac{\partial C_w}{\partial \tau} = D_3 \left[\frac{\partial C_w^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial C_w}{\partial r} + \frac{\partial C_w^2}{\partial z^2} \right]; \quad (2)$$

$$C_f + C_w = 1; \quad (3)$$

- $0 < r < R_1, Z_1 < z < Z_2, Z_3 < z < Z_4;$

$$C_2 \rho_2 \frac{\partial T_2}{\partial \tau} = \lambda_2 \left[\frac{\partial T_2^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_2}{\partial r} + \frac{\partial T_2^2}{\partial z^2} \right]. \quad (4)$$

Здесь r, z — координаты цилиндрической системы, м; R_L, Z_L — размеры области решения, м; C — удельная теплоемкость, Дж/(кг·К); ρ — плотность, кг/м³; T — температура, К; τ — время, с; λ — теплопроводность, Вт/(м·К); C_w — концентрация паров воды; D — коэффициент диффузии, м²/с; C_f — концентрация продуктов сгорания; 1, 2, 3 — индексы, соответствующие продуктам сгорания, каплям и парам воды.

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

- $T = T_0$ при $0 < r < R_1$, $Z_1 < z < Z_2$, $Z_3 < z < Z_4$;
- $T = T_f$, $C_f = 1$, $C_w = 0$ при $0 < r < R_L$, $0 < z < Z_1$, $Z_2 < z < Z_3$, $Z_4 < z < Z_L$; $R_1 < r < R_L$, $Z_1 < z < Z_2$, $Z_3 < z < Z_4$.

Граничные условия:

- на границах *жидкость – высокотемпературная газовая среда* ($r = R_1$, $Z_1 < z < Z_2$, $Z_3 < z < Z_4$; $z = Z_1$, $z = Z_2$, $z = Z_3$, $z = Z_4$, $0 < r < R_1$): условия IV рода — для уравнений энергии с учетом парообразования; условия II рода — для уравнения диффузии с учетом вдува паров воды;
- на оси симметрии ($r = 0$, $0 < z < Z_L$) и внешних границах ($r = R_L$, $0 < z < Z_L$; $z = 0$, $z = Z_L$, $0 < r < R_L$): для всех уравнений — условие равенства нулю градиентов соответствующих функций.

Уравнение движения капель в условиях парообразования (см. рис. 1) с учетом действия сил сопротивления и тяжести имеет следующий вид [18]:

$$\frac{dV_d}{dt} = \frac{3\rho_3}{4\rho_2 2R_d} c_\chi |V_d - V_e| (V_d - V_e) + g,$$

где V_d — скорость движения капель, м/с;

R_d — радиус капель, м;

c_χ — безразмерный коэффициент сопротивления;

V_e — линейная скорость оттока паров воды от торцевых поверхностей капель при испарении, м/с;

g — ускорение свободного падения, м/с².

Безразмерный коэффициент сопротивления c_χ , зависящий в общем случае от конфигурации поверхности тела и его положения относительно направления движения обтекающего потока, определялся согласно [18].

Толщина испаряющегося слоя капли L_e определялась по формуле [19]:

$$L_e = W_e \tau / \rho_2.$$

Для вычисления массовой скорости испарения капель воды W_e использовалось следующее выражение [19]:

$$W_e = \frac{A(P^n - P)}{\sqrt{2\pi R_i T_e / M}},$$

где A — коэффициент аккомодации;

P^n — давление насыщенных паров воды, Н/м²;

P — давление паров воды вблизи границ испарения, Н/м²;

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

T_e — температура капли вблизи границы испарения, К;

M — молярная масса воды, кг/кмоль.

Коэффициент аккомодации рассчитывался по формуле [20]:

$$A = 35/(P^n)^{0,56}.$$

Для вычисления давления паров воды использовалось уравнение Клапейрона – Менделеева [15].

Системы дифференциальных уравнений для рассматриваемых постановок (см. рис. 1) решались методом конечных разностей, а разностные аналоги дифференциальных уравнений — локально-одномерным методом [21]. Для решения одномерных разностных уравнений применялся метод прогонки с использованием неявной четырехточечной схемы [21]. Для решения разностных аналогов дифференциальных уравнений с нелинейными граничными условиями применялся метод простых итераций [22]. Для повышения точности решения системы дифференциальных уравнений использовались неравномерные шаги по времени (10^{-6} – 10^{-4} с) и координатной сетке (0,001–0,1 мм). Вблизи границ фазового перехода разностная сетка сгущалась.

Методика оценки достоверности результатов теоретических исследований, основанная на проверке консервативности применяемой разностной схемы, аналогична используемой в [23–25].

Результаты исследований и их обсуждение

Численные исследования выполнены при типичных для практики значениях параметров процесса [18, 26–29]: начальная температура капель воды $T_0 = 300$ К; температура продуктов сгорания $T_f = 1170$ К; тепловой эффект испарения воды $Q_e = 2,26$ МДж/кг; размеры капель $R_d = 0,25$ мм, $Z_d = 1$ мм; расстояние между каплями $L_n = 0,01 \div 5$ мм; размеры области решения $R_L = 0,1$ м, $Z_L = 2$ м; молярная масса воды $M = 18$ кг/кмоль; коэффициент сопротивления движению “водяного снаряда” $c_\chi = 0,98$. Теплофизические характеристики взаимодействующих веществ (капель воды, продуктов сгорания жидкого топлива, паров воды) приведены в [27–29].

Анализ влияния параметров распыления выбранного флегматизатора горения — воды (распределения капель жидкости в “водяном снаряде”) на температуру в следе его движения выполнен с использованием изотерм [10–12], полученных для систем, приведенных на рис. 1. В следе движения “водяного снаряда” выбрано характерное расстояние от последней капли, равное пяти продольным размерам капли, т. е. $L^* = 5Z_d$. На рис. 2 приведены изотермы для системы с двумя каплями, движущимися параллельно на расстоянии $L_n = 0,3$ мм друг от друга [10], и выделенным сечением L^* . По приведенным изотермиям выполнен анализ распределения температуры парогазовой смеси в следе “водяного снаряда”

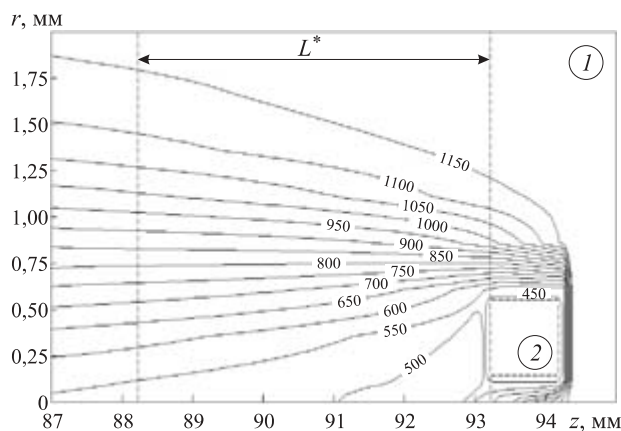


Рис. 2. Изотермы T (K) в системе с двумя параллельно движущимися каплями при $\tau = 0,1$ с, $L_n = 0,3$ мм: 1 — высокотемпературная газовая смесь; 2 — капли воды

в сечении L^* (см. рис. 2). Аналогично выбиралось характерное расстояние L^* на изотермах, приведенных в [11, 12] для двух капель, движущихся последовательно (модель 1), и группы из пяти капель (модель 3).

В целях определения оптимальных с точки зрения эффективного снижения температуры газов в следе “водяного снаряда” расстояний между каплями выполнено варьирование параметров L_n . Для системы с двумя параллельно движущимися каплями (модель 2) параметр L_n изменялся в диапазоне от 0,01 до 0,6 мм, с двумя последовательно движущимися каплями (модель 1) и с группой из пяти капель (модель 3) — от 0,01 до 5 мм. Это наиболее типичные диапазоны изменения L_n , при которых “совместное” действие капель на интегральные характеристики тепломассопереноса существенно [10–12].

На рис. 3 приведены зависимости $T^* = f(S^*)$, полученные для рассматриваемых систем с двумя и пятью каплями (см. рис. 1). Параметр T^* представляет собой отношение температуры в следе движения капель на расстоянии L^* от последней капли (на оси симметрии $r = 0$) к начальной температуре продуктов сгорания T_f . Параметр S^* иллюстрирует отношение площади испарения “водяного снаряда” S_e к занимаемой им площади S_w и, как следствие, характеризует количество и расположение капель в “водяном снаряде”.

Для вычисления площадей S_e и S_w использовались соотношения:

$$S_e = \sum_{i=1}^n (2\pi R_d L_d + 2\pi R_d^2) i;$$

$$S_w = 2\pi R_1 (2L_d + L_n) + 2\pi R_1^2 \text{ — модель 1};$$

$$S_w = 2\pi R_2 L_d + 2\pi R_2^2 \text{ — модель 2};$$

$$S_w = 2\pi R_2 (3L_d + 2L_n) + 2\pi R_2^2 \text{ — модель 3},$$

где i — номер капли;

n — количество капель.

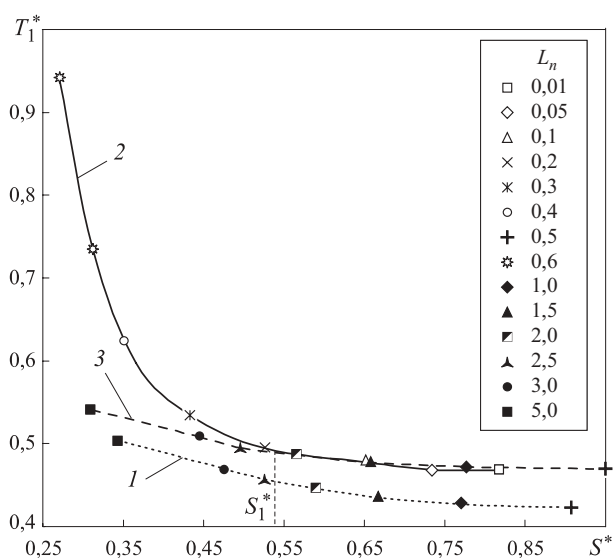


Рис. 3. Зависимости параметра T^* от S^* при $\tau = 0,1$ с: 1 — модель 1; 2 — модель 2; 3 — модель 3

Зависимости на рис. 3 достаточно хорошо иллюстрируют динамику снижения температуры в следе “водяного снаряда” при уменьшении расстояний между каплями L_n (и, как следствие, при увеличении S^*). При этом в случае достаточно больших значений L_n (для двух параллельно движущихся капель при $L_n > 2R_d$) температура в следе несущественно меняется относительно T_f . При увеличении S^* вне зависимости от расположения капель относительно друг друга температура в следе “водяного снаряда” значительно снижается относительно T_f (см. рис. 3). Это особенно хорошо видно на примере системы с двумя параллельно движущимися каплями (кривая 2).

Как видно из рис. 3, при $S^* > 0,5$ характерные значения T^* для систем с двумя (кривая 2) и пятью (кривая 3) каплями отличаются менее чем на 3 %. Можно выделить значение $S_1^* \approx 0,54$, при котором эти кривые пересекаются. Дальнейший рост параметра S^* относительно S_1^* не приводит к заметному изменению T^* . Установленная закономерность позволяет сделать вывод о том, что при распределении капель в “водяном снаряде” и обеспечении неравенства $S^* \leq S_1^*$ могут быть достигнуты условия, достаточные для снижения температуры в зоне горения. Дальнейшее повышение S^* не приведет к значительному снижению T^* (см. рис. 3).

В то же время важно отметить, что для систем, представленных на моделях 1 и 3 (см. рис. 1, а и 1, в), изменения значений T^* с ростом S^* не так существенны, как для системы с двумя параллельно движущимися каплями (модель 2, рис. 1, б). Этот результат показывает, что определяющую роль играет траектория движения капель. На линии, соответствующей траектории движения капли, при варьировании L_n температура в следе изменяется не так

значительно, как в окрестности этой линии. Это достаточно хорошо видно на изотермах (см. рис. 2), полученных ранее [10–12]. Можно сделать вывод о том, что максимальный эффект по снижению температуры в следе снаряда может быть достигнут при $L_n \ll L_n^*$. Однако при этом существенно возрастает масса неиспарившегося после прохождения через продукты сгорания флегматизатора [10–12].

Как правило, при тушении крупных пожаров (в частности, лесных) с применением авиации масса единовременно выбрасываемой воды — “водяного снаряда” достигает нескольких тонн [30–32]. Если воспользоваться приведенными выражениями для S_e и S_n , то для системы последовательного и параллельного распределения капель в “водяном снаряде”, близкой к модели 3 (см. рис. 1, в), нетрудно показать, что $S^* \gg 1$ (например, $S^* \approx 310$ при массе воды 2 т, характерных размерах капель $R_d = 0,25$ мм и $Z_d = 1$ мм, расстояниях между каплями $L_n = 0,5$ мм). Отсюда можно сделать вывод, что при росте массы выбрасываемой воды характерные расстояния между каплями L_n целесообразно увеличивать (причем как в рамках одного “слоя”, так и между “водяными слоями”). В этом случае будет обеспечиваться эффективное снижение температуры в следе при максимальной степени испарения воды.

Полученные зависимости $T^* = f(S^*)$ показывают, что для снижения температуры в зоне горения целесообразно, скорее всего, специальное распыление флегматизатора. Для увеличения размеров зоны в следе “водяного снаряда”, в которой температура может быть снижена относительно T_f до некоторого минимального значения, необходимо применение “водяных снарядов” с последовательным

и параллельным распределением капель (например, как показано на рис. 1, в). Задачей дальнейших исследований является определение оптимальных размеров отдельных капель и расстояний между ними при создании капельно-водяного облака над участком пожара (например, лесного) определенных размеров.

Заключение

Установлено, что расположение капель в “водяном снаряде” относительно соседних играет определяющую роль в снижении температуры в зоне горения. На основании исследований с изменением расстояния между каплями L_n в достаточно широком диапазоне и их наиболее типичным расположением относительно друг друга (см. рис. 1) показано, что для эффективного снижения температуры в следе “водяного снаряда” целесообразно его последовательное и параллельное распыление. При возрастании массы воды, используемой для тушения пожара, необходимо обеспечение существенного увеличения расстояния между соседними каплями L_n для повышения эффективности использования тушащей жидкости.

Можно сделать вывод о том, что при тушении крупных пожаров с применением авиации целесообразна специальная подготовка “водяных снарядов” посредством распыления воды с оптимальным расположением капель относительно друг друга и выбором их размеров исходя из высоты столба пламени и площади обрабатываемого участка пожара.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации (МК-620.2012.8).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горшков В. С., Москвиллин Е. А., Хасанов И. Р. Оценка параметров тушения лесных пожаров авиационными средствами // Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций и их источников : сб. тез. науч.-практ. конф. — М. : ИИЦ ВНИИ ГОЧС, 2001. — С. 34–35.
2. Хасанов И. Р., Москвиллин Е. А. Авиационные методы тушения крупных лесных пожаров // Проблемы горения и тушения пожаров на рубеже веков : матер. XV науч.-практ. конф. — М. : ВНИИПО, 1999. — Ч. 1. — С. 300–301.
3. Карпышев А. В., Душкин А. Л., Рязанцев Н. Н. Разработка высокоэффективного универсального огнетушителя на основе генерации струй тонкораспыленных огнетушащих веществ // Пожаровзрывобезопасность. — 2007. — Т. 16, № 2. — С. 69–73.
4. Гаев Д. В., Еришов А. В., Прохоров В. П., Карпышев А. В., Душкин А. Л. Система противопожарной защиты салона вагона метрополитена на базе высоких технологий // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. — 2009. — № 3. — С. 67–72.
5. Душкин А. Л., Ловчинский С. Е. Взаимодействие пламени горючей жидкости с тонкораспыленной водой // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 11. — С. 53–55.
6. Душкин А. Л., Карпышев А. В., Ловчинский С. Е. Особенности распространения жидкостной струи в атмосфере // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 12. — С. 45–48.

7. Кузнецов Г. В., Барановский Н. В. Прогноз возникновения лесных пожаров и их экологических последствий. — Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2009. — 300 с.
8. Волков Р. С., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Численная оценка оптимальных размеров капель воды в условиях ее распыления средствами пожаротушения в помещениях // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 5. — С. 74–78.
9. Глушков Д. О., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Численное исследование тепломассопереноса при движении “тандема” капель воды в высокотемпературной газовой среде // Тепловые процессы в технике. — 2012. — Т. 4, № 12. — С. 531–538.
10. Стрижак П. А. Численное исследование условий испарения совокупности капель воды при движении в высокотемпературной газовой среде // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 8. — С. 26–31.
11. Волков Р. С., Высокоморная О. В., Стрижак П. А. Численное исследование условий взаимодействия диспергированного флегматизатора горения с высокотемпературными продуктами сгорания // Безопасность труда в промышленности. — 2012. — № 10. — С. 74–79.
12. Андреев Г. Г., Глушков Д. О., Панин В. Ф., Стрижак П. А. Тепломассоперенос при взаимодействии диспергированного флегматизатора горения с высокотемпературными продуктами сгорания // Бутлеровские сообщения. — 2012. — Т. 31, № 8. — С. 86–94.
13. Стрижак П. А. Численный анализ процесса испарения капли, движущейся в струе воды через высокоскоростные продукты сгорания // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 9. — С. 17–23.
14. Акинин Н. И., Булхов Н. Н., Герши В. А. Статистический анализ причин аварий и травматизма на опасных производственных объектах // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 10. — С. 53–55.
15. Кутателадзе С. С. Основы теории теплообмена. — М. : Атомиздат, 1979. — 416 с.
16. Пасконов В. М., Полежаев В. И., Чудов Л. А. Численное моделирование процессов тепло- и массообмена. — М. : Наука, 1984. — 277 с.
17. Франк-Каменецкий Д. А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. — М. : Наука, 1987. — 490 с.
18. Лойцанский Л. Г. Механика жидкости и газа. — М. : Наука, 1970. — 904 с.
19. Полежаев Ю. В., Юрьевич Ф. Б. Тепловая защита. — М. : Энергия, 1976. — 391 с.
20. Исаченко В. П. Теплообмен при конденсации. — М. : Энергия, 1977. — 239 с.
21. Самарский А. А. Теория разностных схем. — М. : Наука, 1983. — 616 с.
22. Коздоба Л. А. Методы решения нелинейных задач теплопроводности. — М. : Наука, 1975. — 227 с.
23. Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Численное решение задачи воспламенения жидкого пожароопасного вещества одиночной “горячей” частицей // Физика горения и взрыва. — 2009. — Т. 45, № 5. — С. 42–50.
24. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. The influence of heat transfer conditions at the hot particle – liquid fuel interface on the ignition characteristics // Journal of Engineering Thermophysics. — 2009. — Vol. 19, No. 2. — P. 162–167.
25. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Transient heat and mass transfer at the ignition of vapor and gas mixture by a moving hot particle // International Journal of Heat and Mass Transfer. — 2010. — Vol. 53, Issues 5–6. — P. 923–930.
26. Варгафтик Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. — М. : ООО “Старс”, 2006. — 720 с.
27. Теплотехнический справочник / Под ред. В. Н. Юренева, П. Д. Лебедева. — М. : Энергия, 1975. — Т. 1. — 743 с.
28. Теплотехнический справочник / Под ред. В. Н. Юренева, П. Д. Лебедева. — М. : Энергия, 1975. — Т. 2. — 896 с.
29. Корольченко А. Я. и др. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник. — М. : Пожнаука, 2004. — Ч. 1. — 713 с.
30. Щетинский Е. А. Тушение лесных пожаров. — М. : ВНИИЛМ, 2002. — 328 с.
31. Баратов А. Н. Горение — Пожар — Взрыв — Безопасность. — М. : ФГУП ВНИИПО МЧС России, 2003. — 364 с.
32. Горшков В. И. Тушение пламени горючих жидкостей. — М. : Пожнаука, 2007. — 268 с.

Материал поступил в редакцию 20 декабря 2012 г.

INFLUENCE OF WATER DROPLETS DISTRIBUTION IN THE "WATER SHELL" ON TEMPERATURE IN FOLLOW MOVEMENT

ZHDANOVA Alena Olegovna, Student, National Research Tomsk Polytechnic University
(Lenina Avenue, 30, Tomsk 634050, Russia; e-mail address: zhdanooova@mail.ru)

KUZNETSOV Geniy Vladimirovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences,
Professor, Head of Department of Theoretical and Engineering Thermophysics,
National Research Tomsk Polytechnic University (Lenina Avenue 30, Tomsk 634050, Russia)

STRIZHAK Pavel Aleksandrovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences,
Professor, National Research Tomsk Polytechnic University
(Lenina Avenue, 30, Tomsk 634050, Russia; e-mail address: pavelspa@tpu.ru)

ABSTRACT

Results of numerical investigations for influence of typical combustion deterrent — water spraying conditions on the temperature in the "water shell" follow movement are presented in the article. Estimates of water efficiency using at impact of water on the temperature in combustion zone are performed at difference schemes drops distribution in the "water shell". Limited values of parameters which present distance between drops are determined for realization of minimal temperature.

Dependences of dimensionless temperature in follow movement of "water shell" from ratio between the areas of evaporation and gross areas are presented for three heat and mass transfer model in the system *water drops – high temperature gases* which differ in the number of drops (two and five) and their location (series-parallel location to the motion direction).

It is found that drops location in "water shell" plays a key role at the decrease of temperature in combustion zone. On the base of results variation of distances and location between drops it is shown that for effective decrease of temperature in follow movement of "water shell" appropriate to series-parallel spraying. With increasing amounts of water which is directed on the extinguishing significant removal of adjacent droplets to increase the efficiency of liquid using.

Keywords: high-temperature gases; fire; extinguishing; quenching evaporation; water drops; simulation.

REFERENCES

1. Gorshkov V. S., Moskvilin Ye. A., Khasanov I. R. Otsenka parametrov tusheniya lesnykh pozharov aviatsionnymi sredstvami [Parameter estimation forest fire fighting air assets]. *Problemy prognozirovaniya chrezvychaynykh situatsiy i ikh istochnikov: sbornik tezisev nauchno-prakticheskoy konferentsii* [The problem of forecasting of emergency situations and their sources: book of abstracts of scientific and practical conference]. Moscow, 2001, pp. 34–35.
2. Khasanov I. R., Moskvilin Ye. A. Aviatsionnyye metody tusheniya krupnykh lesnykh pozharov [Aviation methods extinguishing large forest fires]. *Problemy goreniya i tusheniya pozharov na rubezhe vekov: materialy XV nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Problems of burning and extinguishing fires at the turn of the century]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 1999, part 1, pp. 300–301.
3. Karpyshev A. V., Dushkin A. L., Ryazantsev N. N. Razrabotka vysokoeffektivnogo universalnogo ognetushitelya na osnove generatsii struy tonkoraspylennykh ognetushashchikh veshchestv [Development of high performance, multipurpose fire extinguisher based on the generation of jets mist fire extinguishing agents]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2007, vol. 16, no. 2, pp. 69–73.
4. Gayev D. V., Yershov A. V., Prokhorov V. P., Karpyshev A. V., Dushkin A. L. Sistema protivopozharnoy zashchity salona vagona metropolitena na baze vysokikh tekhnologiy [Fire protection system of interior underground car based high-tech]. *Problemy bezopasnosti i chrezvychaynykh situatsiy — Problems of Safety and Emergencies*, 2009, no. 3, pp. 67–72.
5. Dushkin A. L., Lovchinskiy S. Ye. Vzaimodeystviye plameni goryuchey zhidkosti s tonkoraspylennoy vodoy [Combustible liquid flame and water mist interaction]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 11, pp. 53–55.

6. Dushkin A. L., Karpyshev A. V., Lovchinskiy S. Ye. Osobennosti rasprostraneniya zhidkostnoy strui v atmosfere [Liquid propagation features in atmosphere]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 12, pp. 45–48.
7. Kuznetsov G. V., Baranovskiy N. V. *Prognoz vozniknoveniya lesnykh pozharov i ikh ekologicheskikh posledstviy* [Prediction of forest fires and their environmental impacts]. Novosibirsk, 2009. 300 p.
8. Volkov R. S., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Chislennaya otsenka optimalnykh razmerov kapel vody v usloviyakh yeye raspyleniya sredstvami pozharotusheniya v pomeshcheniyakh [Numerical estimation of optimum sizes for water drops at the conditions of its dispersion by firefighting devices at place-ments]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 5, pp. 74–78.
9. Glushkov D. O., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Chislennoye issledovaniye teplomassoperenosa pri dvizhenii “tandema” kapel vody v vysokotemperaturnoy gazovoy srede [Numerical investigation of heat and mass transfer during the motion of the “tandem” of water droplets in the high temperature gas phase]. *Teplovyye protsessy v tekhnike — Thermal Processes in Engineering*, 2012, vol. 4, no. 12, pp. 531–538.
10. Strizhak P. A. Chislennoye issledovaniye usloviy ispareniya sovokupnosti kapel vody pri dvizhenii v vysokotemperaturnoy gazovoy srede [Numerical investigation of evaporation conditions for set of wa-ter drops at the moving after high temperature gas mixture]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 8, pp. 26–31.
11. Volkov R. S., Vysokomornaya O. V., Strizhak P. A. Chislennoye issledovaniye usloviy vzaimodey-stviya dispergirovannogo flegmatizatora goreniya s vysokotemperaturnymi produktami sgoraniya [Numerical investigation of the conditions of interaction of dispersed phlegmatizer burning with high temperature combustion]. *Bezopasnost truda v promyshlennosti — Safety in Industry*, 2012, no. 10, pp. 74–79.
12. Andreyev G. G., Glushkov D. O., Panin V. F., Strizhak P. A. Teplomassoperenos pri vzaimodeystvii dispergirovannogo flegmatizatora goreniya s vysokotemperaturnymi produktami sgoraniya [Heat and mass transfer in the interaction of dispersed phlegmatizer burning with high temperature combustion]. *Butlerovskiyee soobshcheniya — Butlerov Communications*, 2012, vol. 31, no. 8, pp. 86–94.
13. Strizhak P. A. Chislennyy analiz protsessa ispareniya kapli, dvizhushcheysya v struye vody cherez vy-sokoskorostnyye produkty sgoraniya [Numerical analysis of evaporation process for droplet moving at the water jet through high temperature combustion products]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 9, pp. 17–23.
14. Akinin N. I., Bulkhov N. N., Gerish V. A. Statisticheskiy analiz prichin avariy i travmatizma na opas-nykh proizvodstvennykh ob'yektakh [The statistical analysis of reasons of accident and industrial in-juries on dangerous industrial objects]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2010, vol. 19, no. 10, pp. 53–55.
15. Kutateladze S. S. *Osnovy teorii teploobmena* [Foundations of the theory of heat transfer]. Moscow, Atomizdat Publ., 1979. 416 p.
16. Paskonov V. M., Polezhayev V. I., Chudov L. A. *Chislennoye modelirovaniye protsessov teplo- i massoobmena* [Numerical modeling of heat and mass transfer]. — Moscow, Nauka Publ., 1984. 277 p.
17. Frank-Kamenetskiy D. A. *Diffuziya i teploperedacha v khimicheskoy kinetike* [Diffusion and heat transfer in chemical kinetics]. Moscow, Nauka Publ., 1987. 490 p.
18. Loytsanskiy L. G. *Mekhanika zhidkosti i gaza* [Fluid and gas mechanics]. Moscow, Nauka Publ., 1984. 904 p.
19. Polezhayev Yu. V., Yuryevich F. B. *Teplovaya zashchita* [Thermal protection]. Moscow, Energiya Publ., 1976. 391 p.
20. Isachenko V. P. *Teploobmen pri kondensatsii* [Heat transfer at condensation]. — Moscow, Energiya Publ., 1976. 239 p.
21. Samarskiy A. A. *Teoriya raznostnykh skhem* [The theory of difference schemes]. Moscow, Nauka Publ., 1983. 616 p.
22. Kozdoba L. A. *Metody resheniya nelineynykh zadach teploprovodnosti* [Methods for solving nonlinear heat conduction problems]. Moscow, Nauka Publ., 1975. 227 p.
23. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Chislennoye resheniye zadachi vosplameneniya zhidkogo pozharo-opasnogo veshchestva odinochnoy “goryachey” chastitsey [Numerical solution to the ignition of liquid fire hazardous substances single “hot” particle]. *Fizika goreniya i vzryva — Physics of Combustion and Explosion*, 2009, vol. 45, no. 5, pp. 42–50.
24. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. The influence of heat transfer conditions at the hot particle – liquid fuel interface on the ignition characteristics. *Journal of Engineering Thermophysics*, 2009, vol. 19, no. 2, pp. 162–167.

25. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Transient heat and mass transfer at the ignition of vapor and gas mixture by a moving hot particle. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2010, vol. 53, issues 5–6, pp. 923–930.
26. Vargaftik N. B. *Spravochnik po teplofizicheskim svoystvam gazov i zhidkostey* [Reference for thermophysical properties of gases and liquids]. Moscow, “Stars” Publ., 2006. 720 p.
27. Yurenev V. N., Lebedev P. D. *Teplotekhnicheskii spravochnik* [Thermophysical reference]. Moscow, Energiya Publ., 1975, vol. 1. 743 p.
28. Yurenev V. N., Lebedev P. D. *Teplotekhnicheskii spravochnik* [Thermophysical reference]. Moscow, Energiya Publ., 1975, vol. 2. 896 p.
29. Korolchenko A. Ya. et al. *Pozharovzryvoopasnost veshchestv i materialov i sredstva ikh tusheniya: spravochnik* [Fire and explosion hazard of substances and materials and their means of fighting: reference]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2004, part 1. 713 p.
30. Shchetinskiy Ye. A. *Tusheniye lesnykh pozharov* [Fighting forest fires]. Moscow, 2002. 328 p.
31. Baratov A. N. *Goreniye – Pozhar – Vzryv – Bezopasnost* [Combustion – Fire – Explosion – Safety]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2003. 364 p.
32. Gorshkov V. I. *Tusheniye plameni goryuchikh zhidkostey* [Extinguishing the flame flammable liquids]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2007. 268 p.



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу

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



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

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

121352, г. Москва, а/я 43;
 тел./факс: (495) 228-09-03; e-mail: mail@firepress.ru

А. В. КАЛАЧ, д-р хим. наук, доцент, профессор кафедры химии и физики, Воронежский архитектурно-строительный университет (Россия, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84; e-mail: a_kalach@mail.ru)

Ю. Н. СОРОКИНА, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры химии и процессов горения, Воронежский институт Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 394052, г. Воронеж, ул. Краснознаменная, 231; e-mail: sorokina-jn@mail.ru)

Т. В. КАРТАШОВА, канд. хим. наук, доцент кафедры химии и процессов горения, Воронежский институт Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 394052, г. Воронеж, ул. Краснознаменная, 231)

Ю. В. СПИЧКИН, д-р хим. наук, профессор, профессор кафедры химии и процессов горения, Воронежский институт Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 394052, г. Воронеж, ул. Краснознаменная, 231)

УДК 614.841.41

ОЦЕНКА ПОЖАРООПАСНЫХ СВОЙСТВ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДЕСКРИПТОРОВ

Рассчитаны некоторые дескрипторы для органических соединений, относящихся к гомологическим рядам альдегидов, сложных эфиров и ароматических карбоновых кислот. Проанализировано изменение значений дескрипторов и пожароопасных свойств в зависимости от строения молекул веществ. Установлены количественные корреляции *структура – свойство* в указанных гомологических рядах. Получены аппроксимационные уравнения для прогнозирования температуры вспышки альдегидов, сложных эфиров и ароматических карбоновых кислот.

Ключевые слова: органические вещества; фармацевтические препараты; пожароопасные свойства; температура вспышки; дескрипторы.

Изучение взаимосвязи химического строения веществ с их пожароопасными свойствами представляется перспективным направлением в развитии методов прогнозирования пожароопасных свойств органических соединений. Актуальным является применение расчетных методов, основанных на представлениях топологии и теории графов. Такие методы предполагают выполнение процедуры построения моделей, позволяющих на основе расчета дескрипторов устанавливать количественные корреляции *структура – свойство* в рядах выбранных соединений [1, 2].

В литературе имеются экспериментальные данные о пожароопасных свойствах большого количества органических веществ [3, 4]. Экспериментальное изучение пожароопасных свойств, как правило, сопряжено со значительными техническими трудностями, связанными с техникой измерения, наличием примесей в изучаемых образцах, возможной нестойкостью, токсичностью и агрессивностью веществ. В связи с этим актуальным является вопрос разработки расчетных методов исследования, позволяющих прогнозировать пожароопасные свойства новых, еще не изученных веществ и выбрать из них те, которые удовлетворяют требованиям пожарной безопасности, установленным федеральным законом.

Цель данной работы — изучение возможности применения метода расчета дескрипторов для прогнозирования пожароопасных свойств веществ на примере ряда кислородсодержащих органических соединений. Объектами исследования выбраны представители рядов альдегидов, сложных эфиров и карбоновых кислот, что обусловлено наличием литературных данных по их пожароопасным свойствам и применением этих соединений в производстве строительных материалов, фармацевтических и лекарственных препаратов.

Описание структур органических соединений осуществляется путем решения регрессионной задачи с помощью векторов. Такой способ анализа предполагает, что исследуемой химической структуре соответствует вектор молекулярных дескрипторов, каждый из которых представляет собой инвариант молекулярного графа. Изучение корреляций *структура – свойство* проводится через инварианты графа — топологические и геометрические индексы, которые включают информацию о размере и форме молекулы, о соединении атомов и структурных групп в ней и об их взаимном расположении.

В работе представлены результаты расчета дескрипторов, характеризующих особенности топологии, геометрии и электростатики молекул, и проанализирована закономерность их изменения в

Таблица 1. Дескрипторы, рассчитанные для исследуемых молекул альдегидов

Дескриптор	Значение дескриптора для молекулы					
	метаналь	бутаналь	гексаналь	деканаль	2-бутеналь	бензальдегида
Индекс Винера	1	20	56	220	20	64
Индекс Рандича	2	4,1	5,5	8,3	4,1	5,8
Площадь поверхности молекулы	44	133	197	328	113	130
Гравитационный индекс (все связанные пары атомов)	110	359	522	848	359	818
Гравитационный индекс (все пары атомов)	118	470	714	1216	470	1297

зависимости от пожароопасных свойств веществ (табл. 1 и 2).

В результате анализа установлено, что от строения молекул наибольшим образом зависят следующие дескрипторы: индексы Винера и Рандича, гравитационные индексы и площадь поверхности молекулы. Например, с увеличением длины углеводородного радикала молекулы наблюдается резкое возрастание значений топологического индекса Винера: в ряду альдегидов (C_1-C_{10}) — от 2 до 220, а в ряду сложных эфиров — от 18 до 444.

Наличие в молекуле кратной связи не приводит к заметному изменению дескрипторов. В то же время присутствие в структуре молекулы ароматического кольца способствует снижению значений ряда дескрипторов, особенно топологических индексов.

В результате анализа показателей пожароопасности изученных альдегидов и алкилацетатов линейного строения установлено, что данные свойства зависят от длины углеводородного радикала и практически не зависят от наличия в структуре кратных связей [3, 4]. При этом ароматическая связь в молекуле обуславливает заметное повышение температуры вспышки и самовоспламенения вещества и в то же время уменьшение концентрационных пределов распространения пламени (КПРП).

Таким образом, аналогичные закономерности в изменении значений дескрипторов и показателей пожароопасности органических соединений указывают на взаимосвязь между этими параметрами.

На основании проведенных исследований получены аппроксимационные уравнения (коэффициент

корреляции $r^2 = 0,9$), позволяющие рассчитать температуру вспышки на основе данных о дескрипторах:

- для предельных альдегидов

$$y = -58,7 - 0,36x_1 + 0,15x_2 - 0,07x_3 - 2,14x_4 + 0,91x_5; \quad (1)$$

- для алкилацетатов линейного строения

$$y = -120 + 0,65x_1 - 0,4x_2 - 0,05x_3 + 3,20x_4 + 0,66x_5, \quad (2)$$

где y — температура вспышки;

x_1, x_2 — гравитационные индексы, учитывающие соответственно все связанные пары атомов и все пары атомов;

x_3 — индекс Винера;

x_4 — индекс Рандича;

x_5 — площадь поверхности молекулы.

Среднее отклонение рассчитанных по уравнениям (1) и (2) значений температуры вспышки от справочных не превышает 10 % (табл. 3).

Аналогичный подход использован при получении уравнений, позволяющих рассчитать температуру вспышки представителей гомологического ряда ароматических карбоновых кислот и ароматических сложных эфиров:

- применяемых в синтезе фармацевтических препаратов (2-фенил-3-(4-гидроксифенил)-пропионовая кислота, фенилацетат, фенилэтилацетат);
- являющихся самостоятельными лекарственными средствами (бензойная кислота, 2-гидроксibenзойная (салициловая) кислота, 2-(4-изобутилфенил)-пропионовая кислота (ибупрофен) и метилсалицилат).

Таблица 2. Дескрипторы, рассчитанные для исследуемых молекул сложных эфиров

Дескриптор	Значение дескриптора для молекулы					
	метил-ацетата	пропил-ацетата	гексил-ацетата	децил-ацетата	винил-ацетата	фенил-ацетата
Индекс Винера	18	52	158	444	32	126
Индекс Рандича	4,2	5,7	7,8	10,6	5,0	7,3
Площадь поверхности молекулы	—	158	233	332	128	202
Гравитационный индекс (все связанные пары атомов)	168	544	788	1140	462	383
Гравитационный индекс (все пары атомов)	251	854	1270	1850	712	681

Таблица 3. Сопоставление расчетных и справочных данных по температуре вспышки альдегидов и алкилацетатов

Вещество	Температура вспышки, °C	
	Расчет по (1) и (2)	Справочные данные [3, 4]
<i>Альдегиды</i>		
Пропаналь	–21	–20
Бутаналь	–7	–7
2-Метилпропаналь	–22	–22
Гексаналь	24	30
2-Этилбутаналь	17	21
2,3-Диметилпентаналь	35	34
Октаналь	55	52
Деканаль	84	86
<i>Алкилацетаты</i>		
Этилацетат	–2	–3
Пропилацетат	13	14
Бутилацетат	25	29
Гексилацетат	56	57
Октилацетат	84	82
Нонилацетат	97	100
Децилацетат	113	114

Для выбранных органических веществ рассчитаны значения дескрипторов (табл. 4 и 5).

Установлено, что присутствие в ароматическом кольце различных заместителей характеризуется существенным изменением значений ряда дескрипторов. Например, значение топологического индекса

Винера в ряду ароматических карбоновых кислот изменяется от 88 до 628, в ряду ароматических сложных эфиров — от 152 до 304 (см. табл. 4 и 5). Это изменение обусловлено появлением в структуре молекул гидроксильной группы, удлинением углеводородной цепи и увеличением количества заместителей. В то же время индекс Рандича в ряду изученных соединений изменяется незначительно.

Для ароматических карбоновых кислот и ароматических сложных эфиров получены соответственно следующие аппроксимационные уравнения:

$$y = -230,6 - 0,76x_1 + 0,08x_2 - 0,48x_3 - 0,66x_4; \quad (3)$$

$$y = -84,7 + 0,28x_1 - 0,047x_2 - 0,020x_3 - 0,043x_4, \quad (4)$$

где y — температура вспышки;

x_1, x_2 — гравитационные индексы, учитывающие соответственно все связанные пары атомов и все пары атомов;

x_3 — индекс Винера;

x_4 — площадь поверхности молекулы.

Среднее отклонение рассчитанных по уравнениям (3) и (4) значений температуры вспышки ароматических карбоновых кислот от справочных данных не превышает 5 % (табл. 6).

С целью апробации аппроксимационных уравнений (3) и (4) проведен расчет температур вспышки для ряда ароматических сложных эфиров и ароматических карбоновых кислот, не вошедших в выборку. Результаты расчетов представлены в табл. 7.

На основании проведенных расчетов выявлено, что среднее отклонение рассчитанных по уравне-

Таблица 4. Дескрипторы, рассчитанные для исследуемых молекул ароматических карбоновых кислот

Дескриптор	Значение дескриптора для молекулы				
	бензойной кислоты	2-гидроксibenзойной кислоты	3-фенилпропионовой кислоты	2-(4-изобутилфенил)-пропионовой кислоты	2-фенил-3-(4-гидроксифенил)-пропионовой кислоты
Индекс Винера	88	114	174	404	628
Площадь поверхности молекулы	145	157	188	157	274
Гравитационный индекс (все связанные пары атомов)	788	896	951	1277	1630
Гравитационный индекс (все пары атомов)	1364	1680	1654	1545	3590

Таблица 5. Дескрипторы, рассчитанные для исследуемых молекул ароматических сложных эфиров

Дескриптор	Значение дескриптора для молекулы				
	метил-салицилата	этил-салицилата	фенил-ацетата	фенилэтил-ацетата	2-фенокс-этилацетата
Индекс Винера	152	197	126	197	304
Площадь поверхности молекулы	174	186	168	195	226
Гравитационный индекс (все связанные пары атомов)	1005	1087	870	1032	1168
Гравитационный индекс (все пары атомов)	1898	2236	1545	2001	2045

Таблица 6. Сопоставление расчетных и справочных данных по температуре вспышки ароматических карбоновых кислот и сложных эфиров карбоновых кислот

Вещество	Температура вспышки, °С		Относи- тельная погреш- ность рас- четов, %
	Расчет по (3) и (4)	Справочные данные [3, 4]	
<i>Ароматические карбоновые кислоты</i>			
Бензойная кислота	121	120	0,8
2-Гидроксibenзойная кислота	158	157	0,6
3-Фенилпропановая кислота	152	150	1,3
2-(4-Изобутилфенил)- пропионовая кислота	167	165	1,2
2-Фенил-3-(4-гид- роксифенил)-про- пионовая кислота	238	235	1,2
<i>Сложные эфиры ароматических карбоновых кислот</i>			
Метилсалицилат	99	101	2,0
Этилсалицилат	100	102	2,0
Фенилацетат	78	80	2,5
Фенилэтилацетат	105	107	2,0

нию (4) значений температуры вспышки от справочных не превышает 10 % (см. табл. 7).

Поскольку справочные данные по температурам вспышки предельных ароматических монокарбоновых кислот малочисленны, апробация уравнения (3) с целью прогнозирования температуры вспышки веществ указанного гомологического ряда в настоящее время затруднена. Кроме того, установлено, что увеличение длины углеводородного радикала, наличие в молекуле двух карбоксильных групп, а также кратных связей приводит к заметному отклонению расчетных значений температуры вспышки от справочных (порядка 20 %) (см. табл. 7).

Полученные закономерности и уравнения носят общий характер и могут применяться для прогнози-

Таблица 7. Сопоставление расчетных и справочных данных по температуре вспышки ароматических карбоновых кислот и ароматических сложных эфиров

Вещество	Температура вспышки, °С		Относительная погрешность расчетов, %
	Расчет по (3) и (4)	Справочные данные [3, 4]	
Ароматические сложные эфиры			
Этилбензоат	80	79	0
Изобутилбензоат	109	99	10
Изопропилбензоат	92	86	6
Изоамилбензоат	115	124	7
Амилсалицилат	138	132	4
Бензилсалицилат	177	167	5
Бензилацетат	92	90	2
Бензилбензоат	163	148	10
Бензиладипинат	234	185	21
Бензилоктиладипинат	274	> 200	—
Бутилбензилсебацинат	254	202	20
Бензилбутил-о-фталат	246	185	24
Этилбензоилацетат	124	146	15
Этилбензоилбензоат	178	188	5
Ароматические карбоновые кислоты			
Бутилбензойная кислота	104	113	7
Бензилянтарная кислота	135	200	32
1,4-Бензоилдикарбоновая кислота	154	260	40
Фенол (карболовая кислота)	132	79	40

рования температуры вспышки рассмотренных классов кислородсодержащих органических соединений. Аналогичным образом можно получить уравнения для прогнозирования других пожароопасных свойств рассмотренных органических веществ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боридко В. С. Применение вычислительной техники, математического моделирования и математических методов в научных исследованиях (химическая технология) : дис. ... канд. техн. наук / Моск. гос. академия тонкой хим. пром. — М., 2000. — 107 с.
2. Девдариани Р. О. Новые топологические индексы в количественных соотношениях “структура — свойство” : дис. ... канд. хим. наук / МГУ им. Ломоносова. — М., 1992. — 170 с.
3. Корольченко А. Я., Корольченко Д. А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник. В 2 ч. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Пожнаука, 2004. — Ч. I. — 713 с.
4. Корольченко А. Я., Корольченко Д. А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник. В 2 ч. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Пожнаука, 2004. — Ч. II. — 774 с.
5. Калач А. В., Карташова Т. В., Сорокина Ю. Н., Облиенко М. В. Особенности прогнозирования пожароопасных свойств органических веществ с применением дескрипторов // Вестник Воронежского института МЧС России. — 2012. — № 1. — С. 20–23.

Материал поступил в редакцию 5 декабря 2012 г.

EVALUATION OF THE FIRE HAZARDS PROPERTIES OF ORGANIC COMPOUNDS BY USING DESCRIPTORS

KALACH Andrey Vladimirovich, Doctor of Chemistry Sciences, Associate Professor, Professor of Physics and Chemistry Department, Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering (20-letiya Oktyabrya St., 84, Voronezh 394006, Russian Federation; e-mail address: a_kalach@mail.ru)

SOROKINA Yuliya Nikolayevna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Docent of Chemistry and Combustion Department, Voronezh Institute of State Fire-Fighting Service of Emercom of Russia (Krasnoznamennaya St., 231, Voronezh 394052, Russian Federation; e-mail address: sorokina-jn@mail.ru)

KARTASHOVA Tatyana Viktorovna, Candidate of Chemistry Sciences, Docent of Chemistry and Combustion Department, Voronezh Institute of State Fire-Fighting Service of Emercom of Russia (Krasnoznamennaya St., 231, Voronezh 394052, Russian Federation)

SPICHKIN Yuriy Vasilyevich, Doctor of Chemistry Sciences, Professor, Professor of Chemistry and Combustion Department, Voronezh Institute of State Fire-Fighting Service of Emercom of Russia (Krasnoznamennaya St., 231, Voronezh 394052, Russian Federation)

ABSTRACT

Establishing of quantitative correlation of *structure – property* in a homologous series of organic compounds on the basis of calculation of the descriptor is a promising method for predicting the properties of flammable substances.

In the present study, we investigated the possibility of using the method of calculation of descriptors for predicting the flash point of organic compounds belonging to the homologous series of aldehydes, esters and carboxylic acids. The choice of these substances is due their use in the production of construction materials, pharmaceutical and medical products. For selected compounds were calculated descriptors characterizing features of the topology (Wiener and Randich indices) and geometry (the surface area of the molecule and gravitational indices) molecules and analyzed the nature of their changes depending on the fire hazardous properties. The approximation equations for calculating the flash point of limit aldehydes, alkyl acetates, aromatic carboxylic acids and aromatic esters on the basis of the calculations have been obtained. Approbation of equations represented on the example the calculation of flash point aromatic esters and aromatic carboxylic acids, are not included in the sample. The relative deviation of the calculated values from the literature data does not exceed 10 %.

Thus, the obtained equations can be used to predict flash point the classes of organic oxygenates.

Keywords: organic compounds; pharmaceutical preparations; fire hazard properties; the flash-point; descriptors.

REFERENCES

1. Boridko V. S. *Primeneniye vychislitel'noy tekhniki, matematicheskogo modelirovaniya i matematicheskikh metodov v nauchnykh issledovaniyakh (khimicheskaya tekhnologiya)*. Dis. kand. tekhn. nauk [The use of computer technology, mathematical modeling and mathematical methods in scientific research (chemical technology). Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, 2000. 107 p.
2. Devdariani R. O. *Novyye topologicheskiye indeksy v kolichestvennykh sootnosheniyakh "struktura – svoystvo"*. Dis. kand. khim. nauk [New topological indices in the quantitative proportions of "structure – property". Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, 1992. 170 p.
3. Korolchenko A. Ya., Korolchenko D. A. *Pozharovzryvopasnost veshchestv i materialov i sredstva ikh tusheniya: spravochnik. V 2 ch.* [Fire and explosion hazard of substances and materials and their means of extinguishing: handbook in two parts]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2004. Part I. 713 p.
4. Korolchenko A. Ya., Korolchenko D. A. *Pozharovzryvopasnost veshchestv i materialov i sredstva ikh tusheniya: spravochnik. V 2 ch.* [Fire and explosion hazard of substances and materials and their means of extinguishing: handbook in two parts]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2004. Part II. 774 p.
5. Kalach A. V., Kartashova T. V., Sorokina Yu. N., Obliyenko M. V. Osobennosti prognozirovaniya požaroopasnykh svoystv organicheskikh veshchestv s primeneniym deskriptorov [Features of prediction of fire hazardous properties of organic substances using descriptors]. *Vestnik Voronezhskogo instituta MChS Rossii — Herald Voronezh Institute of State Fire-Fighting Service of Emercom of Russia*, 2012, no. 1, pp. 20–23.

В. А. УШКОВ, канд. техн. наук, заведующий лабораторией, Институт строительства и архитектуры Московского государственного строительного университета (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: kurs-isa@mail.ru)

В. М. ЛАЛАЯН, канд. хим. наук, старший научный сотрудник, Институт химической физики им. Н. Н. Семёнова РАН (Россия, 119991, г. Москва, ул. Косыгина, 4)

Е. В. СОКОРЕВА, аспирант кафедры полимерных строительных материалов и прикладной химии, Институт строительства и архитектуры Московского государственного строительного университета (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: kurs-isa@mail.ru)

УДК 614.841.41:691.17

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПЛАМЕНИ ПО ПОВЕРХНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЕНОПЛАСТОВ

Рассмотрено влияние кажущейся плотности строительных пенопластов на кислородный индекс (КИ), предельную концентрацию кислорода $C_{пр}$ и скорость распространения пламени $V_{р.п}$ по горизонтальной поверхности навстречу потоку окислителя (смесь O_2 и N_2). Показано, что скорость распространения пламени по горизонтальной поверхности радиационно-сшитого пенополиэтилена монотонно увеличивается с ростом дозы облучения, приближаясь к значениям, характерным для термореактивных пенопластов. Исследованиями установлено, что величина КИ и $C_{пр}$ пенопластов на основе реакционноспособных олигомеров слабо зависят от их кажущейся плотности. Показано, что с ростом кажущейся плотности строительных пенопластов горение переходит в режим, характерный для термически толстого топлива. Установлена зависимость скорости распространения пламени по горизонтальной поверхности от концентрации кислорода в окислителе для различных строительных пенопластов на основе реакционноспособных олигомеров (ППУ, резольные пенофенопласты, карбамидные и эпоксидные пенопласты) и получено уравнение для $V_{р.п}$, которое может быть использовано для сравнительной оценки горючести пенопластов.

Ключевые слова: пенопласт; скорость распространения пламени; кажущаяся плотность; кислородный индекс; предельная концентрация кислорода.

Эффективными теплоизоляционными материалами, широко используемыми в современном строительстве, являются пенопласты на основе термопластичных и термореактивных полимеров [1–3]. Быстрый рост объемов производства и применения пенопластов в строительстве обусловлен их низкой кажущейся плотностью, оптимальным соотношением прочности и массы, превосходными изолирующими свойствами, способностью поглощать энергию (включая удар, вибрацию и звук) и создавать ощущение комфорта в жилых помещениях. Пенопласты могут быть изготовлены практически из любого полимера, выбор которого зависит от требуемых эксплуатационных свойств и себестоимости теплоизоляционных изделий.

Пенопласты — это сложные гетерофазные системы с большой площадью поверхности полимерной матрицы. Особенности ячеистой структуры пен, зависящие от химической природы полимерной матрицы и дисперсной фазы, определяют не только эксплуатационные характеристики пенопластов,

но и степень их горючести. Подавляющее большинство строительных пенопластов — горючие материалы, представляющие повышенную пожарную опасность при их широком использовании [4]. В 2010 г. в России произошло 179098 пожаров, при которых 12983 чел. погибли и 13067 чел. получили травмы различной степени тяжести. В США за этот же период произошло 1331500 пожаров, при которых 3120 чел. погибли и 17720 чел. получили травмы, а прямые потери от пожаров превысили 11,5 млрд. долл. США [5]. По некоторым данным прямые потери от пожаров составляют от 0,08 до 0,40 % валового внутреннего продукта большинства развитых стран [1]. Значительная часть пожаров происходит в местах концентрации полимерных материалов (в зданиях и сооружениях, на транспорте).

Таким образом, снижение пожарной опасности строительных пенопластов является важной социально-экономической задачей, решение которой во многом зависит от знания влияния макромолекулярной и морфологической структуры пенопластов

на закономерности горения полимерных пен. Следует отметить, что горение пенопластов по сравнению с полимерами имеет ряд особенностей, установление которых позволит прогнозировать поведение пенопластов на начальной стадии развития пожара. В связи с этим в настоящей работе основное внимание было уделено выявлению общих закономерностей распространения пламени по поверхности различных строительных пенопластов навстречу потоку окислителя (смесь O_2 и N_2) в условиях мелкомасштабных испытаний.

В качестве объектов исследования использовали жесткие пенополиуретаны (ППУ), резольные пенофенопласты (ПФП), карбамидные (КФП) и эпоксидные (ПЭП) пенопласты, пенополистирол (ППС) марки ПСБ-с и радиационно-сшитый пенополиэтилен (ППЭ). Жесткие ППУ получали на основе простых оксипропилированных полиолов Лапрол-503 и Лапрол-805 (ТУ 226-009-10488057-94). Катализаторами вспенивания и отверждения ППУ являлась смесь азотсодержащего полиола Лапромол-294 (ТУ 226-010-10488057-94) с диметилэтанол амином (ТУ 2423-004-78722668-2010), а вспенивающим агентом — смесь хладона-11 (ТУ 6-02-727-78) и воды. Резольный ПФП марки ФРП-1 получали на основе смолы марки ФРВ-1А (ТУ 6-05-1104-78) и вспенивающе-отверждающего агента ВАГ-3 (ТУ 2257-008-58948815-2003); КФП — на основе смолы марки КФ-МТ (ГОСТ 14231-88), ОП-10, вспенивающего (хладон-11) и отверждающего (водный раствор ортофосфорной кислоты) агентов; ПЭП — на основе эпоксидного олигомера ЭД-20 (ГОСТ 10587-84), гидрофобизирующей жидкости 136-41 (ГОСТ 10834-76) и отверждающего агента — полиэтиленполиамин направленного синтеза марки УП-0641Д (ТУ 6-05-241-514-87).

Экспериментальные измерения предельной концентрации кислорода $C_{p,л}$ и скорости распространения пламени $V_{p,л}$ по горизонтальной поверхности строительных пенопластов проводили в условиях мелкомасштабных испытаний на образцах размером 100×20 мм и толщиной 1–8 мм, расположенных на подогреваемой асбестоцементной подложке в кварцевой трубе диаметром 50 мм. Концентрация кислорода в потоке окислителя изменялась от 20 до 75 %. Кислородный индекс (КИ) определяли по ГОСТ 12.1.044-89*.

Горение пенопластов на основе термопластичных полимеров (ППС и ППЭ) характеризуется значительным изменением геометрии образца в зоне прогрева: плавление полимера сопровождается разрушением ячеистой структуры материала и образованием монолитного расплава полимера. Горение таких пенопластов начинается только тогда, когда образуется достаточное количество расплава поли-

мера, и, по существу, испытания по определению КИ проводятся на монолитном материале. Исследованиями установлено, что значения КИ вспененных термопластов независимо от их кажущейся плотности совпадают со значениями КИ для исходных полимеров. Так, например, для ППС плотностью $40\text{--}100 \text{ кг/м}^3$ КИ = 18 %, а для ППЭ плотностью $70\text{--}150 \text{ кг/м}^3$ КИ = $17,2 \div 17,5$ %. Следует отметить, что КИ радиационно-сшитого ППЭ практически не зависит от дозы облучения пенопласта (КИ = $17,2 \div 17,3$ %) [6]. В то же время с ростом дозы облучения до 100 Мрад величина $C_{p,л}$ снижается с 27,5 до 20,5 % (рис. 1), что связано с уменьшением текучести расплава полиэтилена в зоне прогрева полимера перед фронтом пламени. Зависимость скорости распространения пламени по горизонтальной поверхности радиационно-сшитого ППЭ от концентрации кислорода в окислителе и дозы облучения приведена на рис. 2. Из рис. 2 следует, что параметр $V_{p,л}$ монотонно растет с увеличением дозы облучения, приближаясь при различных концентрациях кислорода в окислителе к значениям, характерным для пенопластов, не образующих расплава в зоне фронта пламени. Таким образом, радиационно-сшитый ППЭ занимает промежуточное положение между термопластичными и термореактивными пенопластами.

Повышенная горючесть пенопластов на основе реакционноспособных олигомеров по сравнению с монолитным полимером обусловлена в основном высокими значениями $V_{p,л}$. При этом величина параметров КИ и $C_{p,л}$ пенопластов слабо зависит от их кажущейся плотности (рис. 3). Распространение пламени по поверхности пенопластов можно рассматривать как предельный случай свечного горения полимеров бесконечно больших размеров, поэтому значения $C_{p,л}$ при распространении пламени по горизонтальной поверхности пенопластов мало отличаются от значений КИ. Причем в отличие от монолитных полимеров, где $C_{p,л}$ превышает КИ на

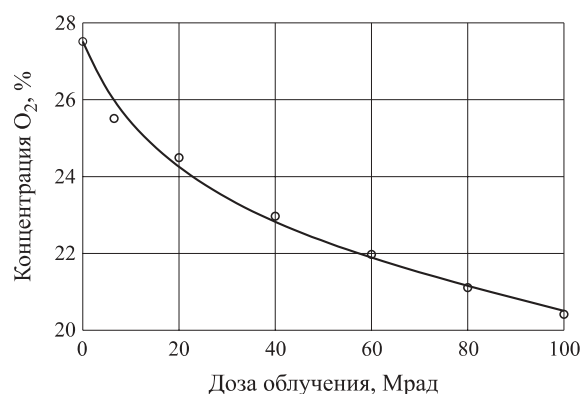


Рис. 1. Зависимость предельной концентрации кислорода при распространении пламени по горизонтальной поверхности ППЭ плотностью 100 кг/м^3 от дозы облучения

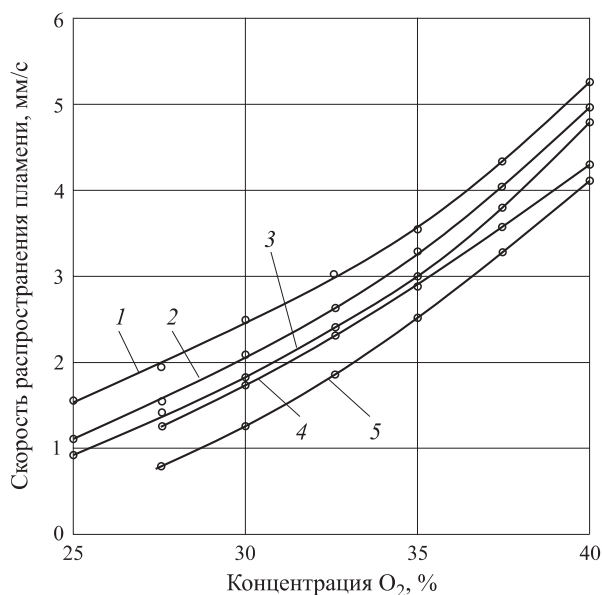


Рис. 2. Зависимость скорости распространения пламени по горизонтальной поверхности радиационно-сшитого ППЭ от концентрации кислорода в потоке окислителя при дозе облучения пенопласта: 1 — 100 Мрад; 2 — 60 Мрад; 3 — 40 Мрад; 4 — 5 Мрад; 5 — исходный ППЭ

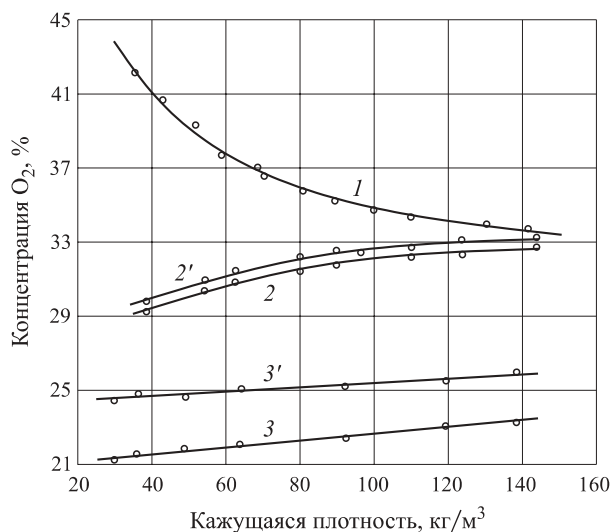


Рис. 3. Зависимость горючести заливочных пенопластов от их кажущейся плотности: 1 — ПФП; 2 — КФП; 3 — ППУ; 1, 2, 3 — кислородный индекс; 2', 3' — предельная концентрация кислорода

7–12 ед. [7], для пенопластов на основе реакционноспособных олигомеров эта разность составляет не более 2–4 ед., что характерно для всех пенопластов на основе реакционноспособных олигомеров (см. рис. 3). Так, например, для ПЭП с кажущейся плотностью 100 кг/м³ значения КИ и $C_{p,п}$ равны соответственно 19,5 и 21,0 %.

При распространении пламени по поверхности пенопластов $V_{p,п}$ достигает высоких значений. Даже в неблагоприятных (с точки зрения теплопереноса) случаях — при распространении пламени

навстречу потоку окислителя или сверху вниз — значение $V_{p,п}$ составляет несколько миллиметров в секунду. Эта особенность горения пенопластов следует из закона сохранения энергии, который может быть представлен в виде соотношения [8]:

$$\rho V_{p,п} \Delta h = q, \quad (1)$$

где ρ — плотность горючего материала;

Δh — разность энтальпий горючего при температуре воспламенения и в исходном состоянии;

q — тепловой поток, поступающий от пламени на поверхность пенопласта.

Тепловой поток q , который в основном связан с процессами в газовой фазе, определяется взаимодействием натекающего потока окислителя и продуктов разложения полимера и не зависит от структуры горящего материала.

Уравнение, которое предложил De Ris [9], позволяет определить значение скорости распространения пламени по поверхности полимеров навстречу потоку окислителя при выполнении условий, характерных для термически толстого материала:

$$V = \frac{U_a (\lambda \rho c)_q (T_f - T_i)^2}{(\lambda \rho c)_s (T_i - T_0)^2}, \quad (2)$$

где U_a — скорость потока окислителя;

λ — теплопроводность;

ρ — плотность;

c — удельная теплоемкость;

T_f — температура пламени;

q, s — индексы, соответствующие газовой и твердой фазе.

Увеличение концентрации кислорода в окружающей среде для всех горючих материалов приводит к закономерному росту параметра $V_{p,п}$. Однако в отличие от монолитных полимеров, где эта зависимость имеет степенной характер [7], при горении пенопластов на основе реакционноспособных олигомеров значение $V_{p,п}$ линейно возрастает с ростом концентрации кислорода в окислителе. В качестве примера на рис. 4 и 5 приведены экспериментальные данные по влиянию концентрации кислорода в потоке окислителя на величину $V_{p,п}$ для фосфорсодержащих ППУ и эпоксидных пенопластов. Следует отметить, что несмотря на большой статистический материал точность экспериментальных данных не превышает 5 %.

Согласно теоретическому анализу различных моделей горения полимерных материалов линейная зависимость параметра $V_{p,п}$ от концентрации кислорода реализуется для термически тонких топлив на теплоизоляционной подложке. Следовательно, полученные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что при распространении пламени по поверхности пенопластов реализуется режим, близкий

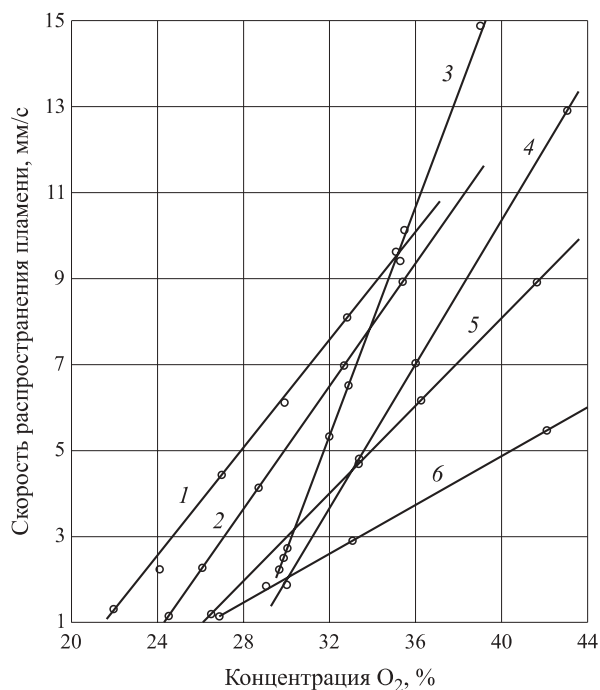


Рис. 4. Зависимость скорости распространения пламени по горизонтальной поверхности жесткого ППУ от концентрации кислорода в потоке окислителя при содержании в нем фосфора: 1 — исходный ППУ; 2 — 0,68 % (ТХЭФ); 3 — 3,05 %; 4 — 3,55 %; 5 — 1,53 %; 6 — 2,04 %

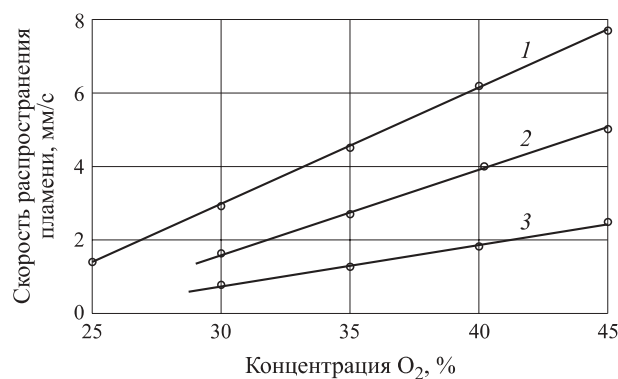


Рис. 5. Зависимость скорости распространения пламени по горизонтальной поверхности ПЭП от концентрации кислорода в потоке окислителя при его плотности: 1 — 115 кг/м³; 2 — 172 кг/м³; 3 — 315 кг/м³

к торцевому горению полимеров. Глубина прогретого слоя в предпламенной зоне падает со скоростью, которая может быть оценена параметром $\alpha/V_{p.n}$ (где α — коэффициент температуропроводности). В то же время массовая скорость выгорания задается условием существования пламени и не зависит от плотности горючего материала, а следовательно, и профиль выгорания практически не изменяется. Если в плотном термически толстом полимере глубина прогретого слоя значительно превышает глубину зоны выгорания и имеют место внутренние потери тепла (изменение энтальпии полимера, не участвующего в газификации), то для пенопластов любой толщины

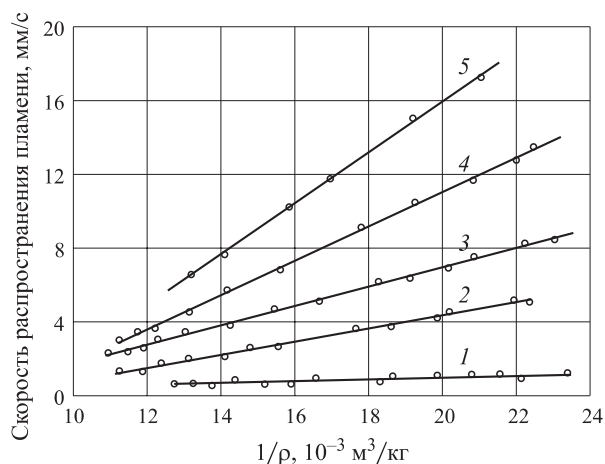


Рис. 6. Зависимость скорости распространения пламени по горизонтальной поверхности пенопласта марки ФРП-1 при концентрации кислорода в потоке окислителя, 70 % от кажущейся плотности при соотношении форполимера ФРВ-1А и продукта ВАГ-3: 1 — 100:30; 2 — 100:25; 3 — 100:20; 4 — 100:15; 5 — 100:10

размер прогретого слоя значительно меньше зоны выгорания, и в этом случае тепловыми потерями можно пренебречь. Такое качественное рассмотрение особенностей горения пенопластов объясняет и близость предельных концентраций кислорода при свечевом горении и распространении пламени [10].

В соответствии с известными соотношениями для термически тонких топлив величина $V_{p.n}$ меняется обратно пропорционально плотности материала. Такая зависимость характерна для торцевого горения (выгорания) и вытекает из фундаментального уравнения распространения пламени (1). Экспериментальные данные для всех исследованных пенопластов на основе реакционноспособных олигомеров при различных концентрациях кислорода в окислителе в пределах ошибки измерения хорошо согласуются с линейной зависимостью $V_{p.n}$ от $(1/\rho)$ (рис. 6). Из результатов экспериментальных измерений следует, что указанная зависимость справедлива для пеноматериалов плотностью менее 300 кг/м³. Здесь наличие прогретого слоя приводит лишь к нарушению прямо пропорциональной зависимости $V_{p.n}$ от $(1/\rho)$, которая следует из уравнения (1). При наличии прогретого слоя, малого по сравнению с зоной выгорания, уравнение (1) можно представить как

$$q = q_1 + q_2, \quad (3)$$

где $q_1 = \rho V_{p.n} \Delta h$; $q_2 \sim \rho \alpha \Delta h$.

Однако вклад второй составляющей в уравнении (3) для большинства исследованных пенопластов небольшой, приводящий к ошибке при оценке параметра $V_{p.n}$ в пределах 0,05–0,20 мм/с при $1/\rho \rightarrow 0$. При возрастании кажущейся плотности пенопластов горение переходит в режим, характерный для термически толстого топлива. Таким образом, скорость распространения пламени по поверх-

ности пенопластов при различных концентрациях кислорода в окислителе может быть выражена линейной зависимостью [10]:

$$V_{p.n} = A \frac{y - y_0}{\rho} - B, \quad (4)$$

где A и B — коэффициенты, постоянные для данного полимера;

y — мольная доля кислорода в потоке окислителя;

$y_0 = \text{КИ}/100$.

В таблице приведены значения коэффициентов A и B для различных пенопластов. Следует отметить, что для нахождения коэффициентов A и B использовали экстраполяцию экспериментальных зависимостей, поэтому ошибка при их определении может быть значительная.

Следует отметить, что старение пенопластов при комнатных условиях и при повышенной концентра-

ции кислорода ($C_{O_2} = 70\%$), а также открыто- или закрытопористая структура пор не оказывают заметного влияния на значение $V_{p.n}$. Таким образом, полученные в работе экспериментальные данные хорошо описываются соотношением (4), которое может быть использовано и для сравнительной оценки горючести пенопластов.

Показатель	КФП	ППУ	ПЭП	ПФП
КИ, %	30,5	20,0	19,5	47,5
A , г/(см ² ·с)	0,34	0,33	0,47	0,20
B , г/с	0,1	0,1	0,1	0,4
Коэффициент корреляции r	0,977	0,979	0,979	0,859

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клемтнер Д. Полимерные пены и технологии вспенивания / Пер. с англ. Под ред. А. М. Чеботаря. — СПб. : Профессия, 2009. — 600 с.
2. Кулешов И. В., Торнер Р. В. Теплоизоляция из вспененных полимеров. — М. : Стройиздат, 1987. — 144 с.
3. Берлин А. А., Шутков Ф. А. Пенополимеры на основе реакционноспособных олигомеров. — М. : Химия, 1976. — 296 с.
4. Баратов А. Н., Андрианов Р. А., Корольченко А. Я., Ушков В. А., Михайлов Ф. С., Филин Л. Г. Пожарная опасность строительных материалов / Под ред. А. Н. Баратова. — М. : Стройиздат, 1977. — С. 179–277.
5. Трамбовецкий В. П. Исследование причин аварий в строительстве: мировой опыт и российские реалии // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. — 2012. — № 1. — С. 33–41.
6. Ушков В. А., Лалаян В. М., Самошин В. В., Бобылев А. В., Берган С. М., Демьяненко А. И. Пожароопасные свойства радиационно-сшитого пенополиэтилена // Пластические массы. — 1989. — № 7. — С. 72–74.
7. Лалаян В. М., Халтуринский Н. А., Берлин А. А. Влияние тепловых свойств полимеров на скорость распространения пламени по поверхности // Высокомолекулярные соединения. — 1979. — Т. А XXI (Сер. А). — № 4. — С. 825–829.
8. Williams F. A. // Proceeding of Symposium (International) on Combustion. — Pittsburg : The Combust. Inst., 1976. — P. 1281.
9. De Ris J. N. // Proceeding of 12th Symposium (International) on Combustion. — Pittsburgh : Combust. Inst., 1969. — P. 241–252.
10. Лалаян В. М., Степанов М. В., Ушков В. А., Кондриков Б. Н. Скорость распространения пламени по поверхности пенопластов // Химическая физика. — 1992. — Т. 1, № 10. — С. 1378–1382.

Материал поступил в редакцию 5 декабря 2012 г.

English

FLAME SPREAD OVER CONSTRUCTION FOAM PLASTIC SURFACES

USHKOV Valentin Anatolyevich, Candidate of Technical Sciences, Head of Laboratory, Institute of Construction and Architecture of Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye shosse, 26, Moscow 129337, Russian Federation; e-mail address: kurs-isa@mail.ru)

LALAYAN Vladimir Mikhaylovich, Candidate of Chemical Sciences, Senior Research Assistant, Semenov Institute of Chemical Physics of Russian Academy of Sciences (Kosygina St., 4, Moscow 119991, Russian Federation)

SOKOREVA Yevgeniya Viktorovna, Postgraduate Student of Polymeric Construction Materials and Applied Chemistry Department, Institute of Construction and Architecture of Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye shosse, 26, Moscow 129337, Russian Federation; e-mail address: kurs-isa@mail.ru)

ABSTRACT

The article concerns influence of an apparent construction foam plastic density to an oxygen index (OI), oxygen max concentration $C_{\max}$ and flame spread speed $V_{f,s}$ and maximum oxygen concentration at horizontal surface in direction of oxidizer flow (O_2 and N_2 mix). Here was shown that the speed of flame spread over horizontal surface of radiation-linked foam propylene is evenly increasing with the increase of radiation dose and coming closer to values typical for thermoreactive foam plastics. OI and $C_{\max}$ of reactionable oligomer-based foam plastics have weak dependence of their apparent density. As opposed to monolith polymers, difference between $C_{\max}$ and OI for such foam plastics does not exceed 2 to 4 points. It is shown here that, with the increase of apparent density of construction foam plastics, the combustion switches into a mode typical for thermally thick fuels. Dependences of oxygen concentration in oxidizer were found which resulted in equation of horizontal surface $V_{f,s}$ for different kinds of reactionable oligomer-based foam plastics (foam PU, resol foam phenol plastics, carbamide and epoxide foam plastics), ratios for equation were set. The resulted equation can be used for comparative assessment of foam plastics combustibility.

Keywords: foam plastics; flame spread time; apparent density; oxygen index; maximum oxygen concentration.

REFERENCES

1. Klemptner D., Chebotar (ed.). *Polimernyye peny i tekhnologii vspenivaniya* [Handbook of Polymeric Foams and Foam Technology]. St.-Petersburg, Professia Publ., 2009. 600 p.
2. Kuleshov I. V., Torner R. V. *Teploizolyatsiya iz vspenennykh polimerov* [Polymeric foam heat insulation]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1987. 144 p.
3. Berlin A. A., Shutov F. A. *Penopolimery na osnove reaktsionnosposobnykh oligomerov* [Reactionable oligomer-based polymeric foams]. Moscow, Khimiya Publ., 1976. 296 p.
4. Baratov A. N. (ed.), Andrianov R. A., Korolchenko A. Ya., Ushkov V. A., Mikhaylov F. S., Filin L. G. *Pozharnaya opasnost stroitelnykh materialov* [Fire hazard of construction materials]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1977, pp. 179–277.
5. Trambovetskiy V. P. Issledovaniye prichin avariyy v stroitelstve: mirovoy opyt i rossiyskiye realii [Cause of construction accidents research: International experience and Russian actual cases]. *Stroitelnyye materialy, oborudovaniye, tekhnologii XXI veka — Construction Materials, Equipment and Technologies of XXI Century*, 2012, no. 1, pp. 33–41.
6. Ushkov V. A., Lalayan V. M., Samoshin V. V., Bobylev A. V., Bergyan S. M., Demyanenko A. I. Pozharoopasnyye svoystva radiatsionno-sshitogo penopolietilena [Fire hazard features of radiation cross-linked foam polystyrol]. *Plasticheskiye massy — Plastic Masses*, 1989, no. 7, pp. 72–74.
7. Lalayan V. M., Khalturinskiy N. A., Berlin A. A. Vliyaniye teplovykh svoystv polimerov na skorost rasprostraneniya plameni po poverkhnosti [Influence of polymers' thermal properties on speed of surface fire spread]. *Vysokomolekulyarnyye soyedineniya — High-molecular compounds*, 1979, vol. A XXI (A series), no. 4, pp. 825–829.
8. Williams F. A. Proceeding of Symposium (International) on Combustion. Pittsburg, Combust. Inst., 1976, p. 1281.
9. De Ris J. N. Proceeding of 12th Symposium (International) on Combustion. Pittsburgh, Combust. Inst., 1969, pp. 241–252.
10. Lalayan V. M., Stepanov M. V., Ushkov V. A., Kondrikov B. N. Skorost rasprostraneniya plameni po poverkhnosti penoplastov [Speed of fire spread over foam plastic surfaces]. *Khimicheskaya fizika — Chemical physics*, 1992, vol. 1, no. 10, pp. 1378–1382.

С. В. ПУЗАЧ, д-р техн. наук, профессор, начальник кафедры инженерной теплофизики и гидравлики, Академия Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: puzachsv@mail.ru)

Е. В. СУЛЕЙКИН, преподаватель кафедры пожарной безопасности в строительстве, Академия Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: skynet01@mail.ru)

Р. Г. АКПЕРОВ, преподаватель кафедры пожарной безопасности в строительстве, Академия Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: akperov01@mail.ru)

В. И. ДУТОВ, д-р мед. наук, профессор, профессор кафедры кадрового, правового и психологического обеспечения, Академия Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4)

УДК 614.841

ПОВЫШЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ ТОКСИЧНОСТИ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

Дан анализ термогазодинамических условий проведения экспериментов по определению токсичности продуктов горения при пожаре в помещении. Получены аналитические решения для расчета плотности токсичного газа в характерных мелко- и крупномасштабных объемах. Представлены результаты экспериментов в мелкомасштабной установке и их анализ. Проведено сопоставление расчетных значений плотности оксида углерода с экспериментальными данными. Предложены способы повышения достоверности определения показателя токсичности веществ и материалов.

Ключевые слова: пожар; показатель токсичности; горение; токсичные газы; подобие; коэффициент теплопотерь.

Введение

По статистике [1] более чем в 80 % случаев причиной смерти людей на пожарах являлось отравление продуктами горения. В связи с этим и с расширением областей использования материалов и изделий на основе полимеров, горение и тление которых сопровождается выделением большого количества токсичных продуктов горения, разработка эффективных противопожарных профилактических мероприятий на основе определения показателя токсичности материалов становится все более актуальной.

Показатели токсичности, определяемые плотностью токсичных газов и кислорода, а также температурой среды, получают, как правило, в результате мелкомасштабных экспериментов [2, 3], которые не воспроизводят полномасштабных термогазодинамических условий протекания пожара в реальных помещениях. Поэтому определение показателя токсичности по данным химического анализа необходимо проводить в таких термогазодинамических условиях, чтобы величины опасных факторов пожара (концентрация токсичных газов, пониженная концентрация кислорода и повышенная температура) были одинаковыми в смесях про-

дуктов горения и воздуха, полученных в мелкомасштабной экспериментальной установке и полномасштабном реальном помещении.

Поскольку практически невозможно в полном объеме выполнить положения теории подобия при переходе от мелкомасштабной модели к натурному помещению [4], необходимо установить связь между плотностями токсичных газов и удельными коэффициентами их образования, а также между плотностью кислорода и температурой при сгорании одного и того же горючего материала в различных термогазодинамических условиях в помещениях разных размеров.

Количество выделяющихся токсичных газов определяется химическим составом и концентрацией газообразных продуктов газификации твердых и жидких горючих веществ и материалов, а также термогазодинамическими условиями пожара [5, 6]. В настоящее время эта проблема не решена ни с теоретической, ни с экспериментальной точек зрения из-за сложности физико-химических условий протекания процессов газификации и горения, а также неопределенности химического состава современных строительных материалов. Кроме того, отсутствуют

научно обоснованные методики расчета удельных коэффициентов выделения токсичных газов с учетом конкретных термогазодинамических условий пожара (температуры, концентрации кислорода и т. д.). Значения удельных коэффициентов выделения токсичных газов при пожаре значительно отличаются друг от друга в разных базах данных [6, 7], а сведения о теплофизических и химических показателях для многих современных материалов отсутствуют.

В данной работе представлены результаты теоретического и экспериментального исследования концентраций токсичных газов (на примере оксида углерода CO) и температуры в смесях продуктов горения и воздуха, образующихся в мелкомасштабной экспериментальной установке, а также рассмотрена возможность распространения полученных результатов на реальное полномасштабное помещение.

Постановка задачи

Рассмотрим термогазодинамические условия пожара при его свободном развитии в помещениях разных размеров для твердых и жидких горючих веществ и материалов.

Схема пожара в герметичном мелкомасштабном объеме, используемая для определения показателя токсичности при стандартных испытаниях [2, 3], показана на рис. 1, а (схема № 1).

Термогазодинамическая картина пожара в полномасштабном помещении с малой площадью проемов или на начальной стадии пожара, когда через проемы происходит только вытеснение газовой среды помещения наружу, представлена на рис. 1, б (схема № 2).

В качестве токсичного газа будем рассматривать оксид углерода.

Требуется определить изменение среднеемкной плотности токсичных газов на примере оксида углерода в зависимости от температуры; исследо-

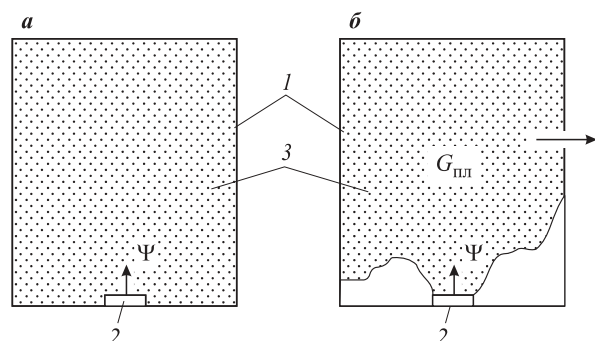


Рис. 1. Схема теплообмена в мелкомасштабной камере в замкнутом объеме (а) и полномасштабном помещении с малой площадью проемов (б): 1 — стенки камеры (помещения); 2 — горючий материал; 3 — смесь продуктов горения и воздуха

вать поведение коэффициента пропорциональности K между плотностью токсичного газа (CO) и отношением L/Q_H^p при различных теплотерях, определяемых коэффициентом ϕ (где L — удельный коэффициент выделения токсичного газа; Q_H^p — низшая рабочая теплота сгорания горючего материала, Дж/кг).

Описание экспериментальной установки

Установка для определения показателя токсичности (рис. 2) имеет следующее устройство. Камера сгорания 1 вместимостью $3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ соединена с экспозиционной камерой 6 переходными рукавами 5 и 18. В камере установлен экранированный электронагревательный излучатель 3 размером $120 \times 120 \text{ мм}$ и держатель образца 2 размером $120 \times 120 \times 25 \text{ мм}$.

Камера сгорания выполнена из листовой нержавеющей стали толщиной $(2,0 \pm 0,1) \text{ мм}$. Излучатель представляет собой нагревательную спираль, размещенную в трубках из кварцевого стекла и расположенную перед стальным полированным отражателем с водяным охлаждением. Он закреплен на верхней стенке камеры под углом 45° к горизонтали. На боковой стенке камеры сгорания имеется окно из кварцевого стекла для наблюдения за образцом

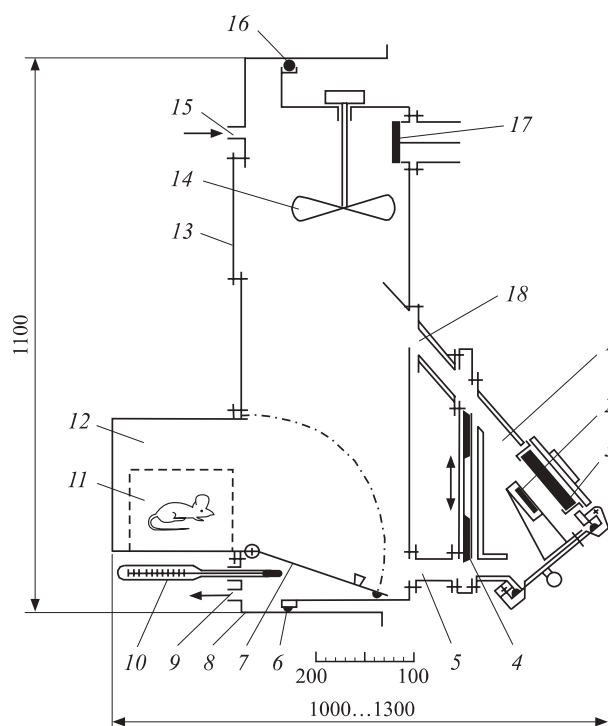


Рис. 2. Схема экспериментальной установки: 1 — камера сгорания; 2 — держатель образца; 3 — электронагревательный излучатель; 4 — заслонки; 5, 18 — переходные рукава; 6 — стационарная секция экспозиционной камеры; 7 — дверца предкамеры; 8 — подвижная секция экспозиционной камеры; 9, 15 — штуцеры; 10 — термометр; 12 — предкамера; 13 — предохранительная мембрана; 14 — вентилятор; 16 — резиновая прокладка; 17 — клапан продувки

при испытаниях. На выходе из камеры сгорания размещены заслонки верхнего и нижнего переходных рукавов.

Экспозиционная камера состоит из стационарной и подвижной секций. По периметру стационарной секции имеется паз для надувной резиновой прокладки с рабочим давлением не менее 6 МПа. В верхней части камеры находится четырехлопастной вентилятор перемешивания диаметром 150 мм с частотой вращения 5 с^{-1} . На боковой стенке установлен клапан продувки. На торцевой стенке подвижной секции закреплены предохранительная мембрана, предкамера, штуцеры для подключения газоанализаторов, термометр для измерения температуры в нижней части камеры. Перемещение подвижной секции позволяет изменять объем экспозиционной камеры от 0,1 до 0,2 м³.

Для контроля плотности теплового потока используют водоохлаждаемый датчик типа «Гордон» ФОА-013 и регистрирующий прибор типа А 565-001-06 с диапазоном измерений от 0 до 100 мВ. Погрешность измерения плотности теплового потока не превышает $\pm 8 \%$.

Для непрерывного контроля состава газовой среды в экспозиционной камере используют газоанализаторы: оксида углерода — ГИАМ-5М с диапазоном измерений от 0 до 1 %, допустимой погрешностью $\pm 2 \%$; диоксида углерода — ГИАМ-5М с диапазоном измерений от 0 до 5 %, допустимой погрешностью $\pm 2 \%$; кислорода — МН 5130-1 с диапазоном измерений от 0 до 21 %, допустимой погрешностью $\pm 2 \%$.

Для непрерывного контроля температуры в экспозиционной камере использовались девять термоэлектрических преобразователей типа ТПК 005 с диапазоном измерений от минус 40 до 1000 °С с погрешностью 6 %.

Термопары располагали на трех уровнях: 50 мм от пола установки, в середине камеры и 50 мм от потолка — по три термопреобразователя в одной плоскости.

Методика проведения эксперимента

Материалы испытывали в режиме пламенного горения. Режим пламенного горения обеспечивался при температуре испытания 650 °С (плотность падающего теплового потока 55 кВт/м²).

Предварительно взвешенный образец материала, имеющий комнатную температуру, помещали в держатель образца (вкладыш).

С момента выхода электронагревательного излучателя на стабилизированный режим открывали заслонки переходных рукавов и дверцу камеры сгорания. Вкладыш с образцом без задержки помещали в держатель образца, после чего дверцу камеры

сгорания закрывали. С периодичностью 60 с от момента начала экспозиции материала фиксировали показания концентраций СО.

Математические модели определения плотности токсичного газа

Схема № 1

Законы сохранения массы и энергии газовой среды, а также массы токсичного газа и кислорода внутри герметичного объема имеют вид:

$$V \frac{d\rho_{\text{ср}}}{d\tau} = \Psi; \quad (1)$$

$$\rho_{\text{ср}} c_v V \frac{dT_{\text{ср}}}{d\tau} = \eta \Psi Q_{\text{н}}^{\text{р}} (1 - \varphi); \quad (2)$$

$$V \frac{d\rho_{\text{г.ср}}}{d\tau} = \eta \Psi L; \quad (3)$$

$$V \frac{d\rho_{\text{О}_2\text{ср}}}{d\tau} = -\eta \Psi L_{\text{О}_2}, \quad (4)$$

где V — объем помещения, м³;

$\rho_{\text{ср}}$, $\rho_{\text{г.ср}}$, $\rho_{\text{О}_2\text{ср}}$ — среднееобъемная плотность соответственно газовой среды, токсичного газа и кислорода, кг/м³;

τ — время, с;

Ψ — скорость газификации горючего материала, кг/с;

c_v — удельная изохорная теплоемкость газа, Дж/(кг·К);

$T_{\text{ср}}$ — среднееобъемная температура газовой среды, К;

η — полнота сгорания;

φ — коэффициент теплопотерь, равный доле теплоты, выделившейся в очаге горения и поступающей в ограждающие конструкции из всего объема помещения;

$L_{\text{О}_2}$ — удельный коэффициент потребления кислорода.

Удельную изохорную теплоемкость принимаем одинаковой для газовой смеси и воздуха [4, 7] — $c_v = 714 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$.

Выражение для среднееобъемной плотности токсичного газа через промежуток времени τ с момента начала горения, полученное после интегрирования уравнения (3), примет вид:

$$\rho_{\text{г.ср}} = \rho_{\text{г.в}} + \frac{\eta L}{V} \int_0^{\tau} \Psi d\tau, \quad (5)$$

где $\rho_{\text{г.в}}$ — среднееобъемная плотность токсичного газа в чистом воздухе, кг/м³.

Токсичный газ в воздухе перед пожаром отсутствует, т. е. $\rho_{\text{г.в}} = 0$.

Коэффициент пропорциональности K_1 между плотностью токсичного газа и отношением $L/Q_{\text{н}}^{\text{р}}$

получим, разделив и умножив правую часть выражения (5) на Q_H^p :

$$K_1 = \frac{\eta Q_H^p}{V} \int_0^{\tau} \Psi d\tau. \quad (6)$$

Пренебрегаем суммарной массой продуктов газификации за полное время горения по сравнению с массой воздуха, находящегося внутри герметичного объема. Тогда исходя из условий $\eta \Psi \tau \ll \rho_{cp} V$, $\rho_{cp} = \rho_v$ (изохорный процесс) и из решения уравнения (2) получим:

$$T_{cp} = T_v + \frac{\eta Q_H^p (1 - \varphi)}{\rho_v c_v V} \int_0^{\tau} \Psi d\tau, \quad (7)$$

где ρ_v — плотность воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$.

С учетом (7) из уравнения (6) получим значение коэффициента пропорциональности:

$$K_1 = \frac{p_v c_v (T_{cp} - T_v)}{RT_v (1 - \varphi)} \quad (8)$$

или

$$K_1 = \frac{2,5 \cdot 10^5}{1 - \varphi} \frac{T_{cp} - T_v}{T_v}. \quad (9)$$

где p_v — давление наружного воздуха, Па.

Среднеобъемная плотность кислорода из решения уравнения (4)

$$\rho_{O_2 cp} = \rho_{O_2 v} - \frac{\eta L_{O_2}}{V} \int_0^{\tau} \Psi d\tau, \quad (10)$$

где $\rho_{O_2 v}$ — плотность кислорода в воздухе, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Уравнение (10), используя выражение (7), можно привести к виду:

$$\rho_{O_2 cp} = \rho_{O_2 v} - \frac{p_v c_v}{R(1 - \varphi)} \frac{T_{cp} - T_v}{T_v} \frac{L_{O_2}}{Q_H^p}. \quad (11)$$

Схема № 2

Зависимости среднеобъемной плотности токсичного газа (при $\rho_{г.в} = 0$), среднеобъемной температуры газовой среды и среднеобъемной плотности кислорода от времени имеют вид [7]:

$$\rho_{г.ср} = \rho_{п} \left[1 - \exp \left(-\frac{A}{B} \tau^n \right) \right]; \quad (12)$$

$$T_{cp} = T_v \exp \left(\frac{A}{B} \tau^n \right); \quad (13)$$

$$\rho_{O_2 cp} = \frac{B \eta L_{O_2}}{V} \times \left\{ \left(1 + \frac{V}{B \eta L_{O_2}} \rho_{O_2 v} \right) \exp \left(-\frac{A}{B} \tau^n \right) - 1 \right\}, \quad (14)$$

где $\rho_{п}$ — пороговая плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$;

$$\rho_{п} = \frac{c_p T_v L}{(1 - \varphi) Q_H^p} \rho_v;$$

c_p — удельная изобарная теплоемкость газа, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$;

T_v — температура воздуха, К;

A и n — параметры, зависящие от вида горючего вещества (твердое или жидкое);

B — размерный параметр, кг; $B = \frac{c_p \rho_v T_v L}{\eta (1 - \varphi) Q_H^p}$.

При достижении пороговой плотности ($\tau \rightarrow \infty$) среднеобъемная плотность токсичного газа из уравнения (12) может быть представлена в виде:

$$\rho_{г.ср} = \rho_{п} = \frac{c_p \rho_v T_v}{1 - \varphi} \frac{L}{Q_H^p}. \quad (15)$$

Максимальное значение коэффициента пропорциональности между плотностью токсичного газа и отношением L/Q_H^p в выражении (15) определим по выражению

$$K_{2 \max} = \frac{c_p \rho_v T_v}{1 - \varphi} \quad (16)$$

или

$$K_{2 \max} = \frac{3,5 \cdot 10^5}{1 - \varphi}, \quad (17)$$

где $c_p = 1000 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ [8];

$\rho_v T_v = p_v/R$ — из уравнения состояния идеального газа;

R — газовая постоянная смеси газов, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$.

Коэффициент пропорциональности между плотностью токсичного газа и отношением L/Q_H^p можно получить из выражения (12) с учетом уравнения (13):

$$K_2 = \frac{3,5 \cdot 10^5}{1 - \varphi} \frac{T_{cp} - T_v}{T_v}. \quad (18)$$

Зависимость среднеобъемной плотности кислорода (уравнение (14)) от времени с учетом уравнения (13) можно привести к виду:

$$\rho_{O_2 cp} = \frac{B \eta L_{O_2}}{V} \left(\frac{V T_v}{B \eta L_{O_2} T_{cp}} \rho_{O_2 v} - \frac{T_{cp} - T_v}{T_{cp}} \right). \quad (19)$$

Таким образом, в рассмотренных выше двух схемах (но их может быть больше: в работе [8] — пять схем) характерная плотность токсичного газа может быть описана следующей зависимостью:

$$\rho_{гi}^* = K_i \frac{L}{Q_H^p}, \quad (20)$$

где $\rho_{гi}^*$ — характерная плотность токсичного газа для i -й схемы, $\text{кг}/\text{м}^3$;

K_i — коэффициент пропорциональности между характерной плотностью оксида углерода и отношением L/Q_H^p в i -й схеме пожара, $\text{Дж}/\text{м}^3$.

Полученные формулы показывают, что коэффициент пропорциональности не зависит от свойств горючего материала, размеров помещения и площа-

ди открытой поверхности горючего материала и является функцией только трех параметров, характеризующих термодинамическую картину пожара:

$$K_i = f(T_{cp}, T_b, \varphi). \quad (21)$$

В качестве характерных показателей принимались среднеобъемная температура и среднеобъемная плотность газовой среды помещения.

Таким образом, коэффициент теплопотерь является необходимым критерием равенства характерных концентраций токсичных газов, полученных в мелкомасштабной экспериментальной установке и реальном помещении.

Необходимо отметить, что коэффициент теплопотерь в общем случае изменяется во времени [9], а не является постоянным.

Исходные данные

Коэффициент теплопотерь φ принимался равным 0,3; 0,6 и 0,9.

Начальные условия задавались следующими: $T_b = 293$ К; $p_b = 101300$ Па.

Рассматривались следующие горючие материалы:

- твердая горючая нагрузка — изоляция силового кабеля, свойства которой принимались по типовой базе горючей нагрузки [7]: $Q_n^p = 30,7$ МДж/кг; $\psi_{уд} = 0,0244$ кг/(м²·с); $w_l = 0,0071$ м/с; $L_{CO} = 0,1295$; $L_{O_2} = -2,19$ (где L_{CO} — удельный коэффициент образования оксида углерода; $\psi_{уд}$ — удельная скорость газификации горючего материала, кг/(м²·с); w_l — линейная скорость распространения пламени по поверхности твердого горючего материала, м/с);
- жидкая горючая нагрузка — промышленное масло, свойства которого принимались по типовой базе горючей нагрузки [7]: $Q_n^p = 42,7$ МДж/кг; $\psi_{уд} = 0,043$ кг/(м²·с); $L_{CO} = 0,122$; $L_{O_2} = -1,589$.

Результаты экспериментов и их анализ

Зависимости коэффициентов пропорциональности K_i между характерной плотностью оксида углерода, рассчитанной по (20), и отношением L/Q_n^p , полученные для рассмотренных выше схем, а также с использованием интегральной модели расчета тепломассообмена при пожаре, от среднеобъемной температуры газовой среды при горении изоляции силового кабеля и промышленного масла приведены на рис. 3.

Тестирование полученных теоретических зависимостей на полученных опытных данных является оценочным, так как в данной работе измерялась плотность оксида углерода только в одной точке.

Экспериментальные значения коэффициента K_i определялись из формулы (20) с использованием экспериментальных значений локальных плотностей и

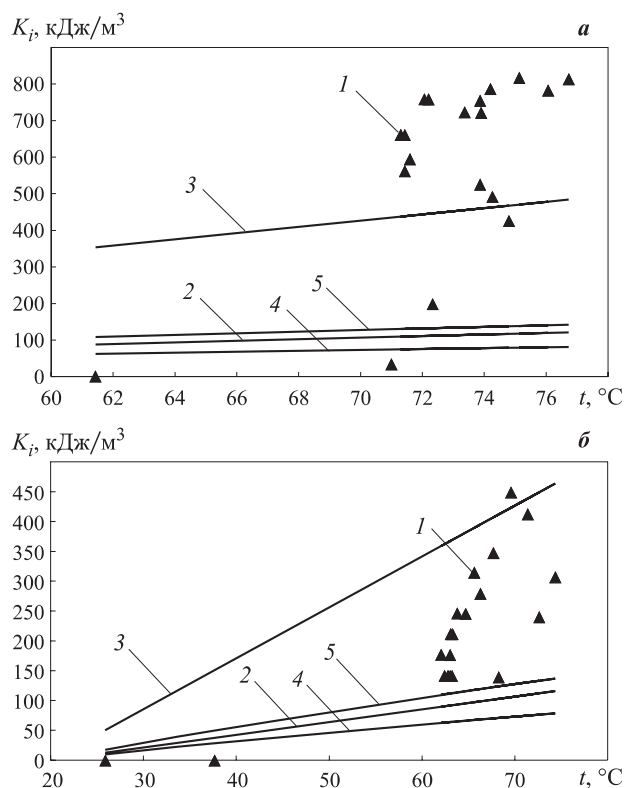


Рис. 3. Зависимости коэффициентов пропорциональности K_i между характерной плотностью оксида углерода и отношением L/Q_n^p от среднеобъемной температуры при горении кабелей (а) и промышленного масла (б): 1 — экспериментальные значения; 2, 3 — расчет по формуле (9) при $\varphi = 0,6$ (2) и $\varphi = 0,9$ (3); 4, 5 — расчет по формуле (18) при $\varphi = 0,3$ (4) и $\varphi = 0,6$ (5)

температур, а также оценочных величин L_{CO} и Q_n^p из базы данных [7].

Практический интерес для задачи обеспечения безопасной эвакуации людей представляет область температур газовой смеси, не превышающих критического значения для человека, равного 70 °С [7]. При превышении этой температуры человек гибнет, и в первую очередь от теплового ожога.

Зависимости среднеобъемной плотности оксида углерода от среднеобъемной температуры газовой среды при горении изоляции силового кабеля и промышленного масла приведены на рис. 4. Из рисунка видно, что теоретические значения среднеобъемной плотности оксида углерода в полномасштабном помещении (схема № 2) при $\varphi = 0,3$ и $\varphi = 0,6$ отличаются от значений среднеобъемной плотности оксида углерода в мелкомасштабном объеме (схема № 1) не более чем на 35 % при $\varphi = 0,6$.

При одинаковых значениях коэффициента теплопотерь ($\varphi = 0,6$) и при одной и той же среднеобъемной температуре среднеобъемная плотность оксида углерода в полномасштабном помещении примерно на 35 % больше данного показателя, полученного на испытательном стенде.

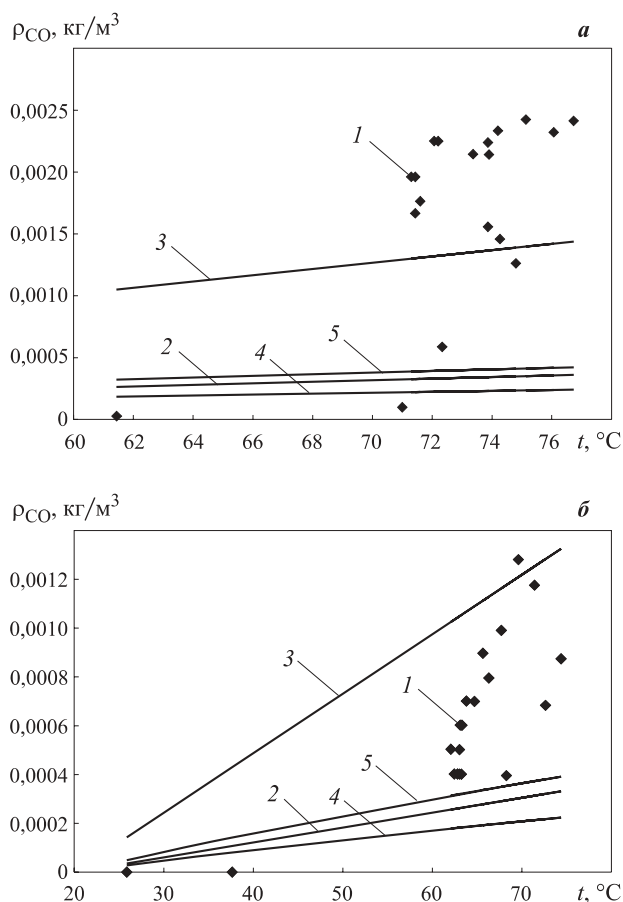


Рис. 4. Зависимости среднеобъемной плотности оксида углерода от среднеобъемной температуры при горении кабелей (а) и промышленного масла (б): 1 — экспериментальные значения; 2, 3 — расчет по формуле (9) при $\varphi = 0,6$ (2) и $\varphi = 0,9$ (3); 4, 5 — расчет по формуле (18) при $\varphi = 0,3$ (4) и $\varphi = 0,6$ (5)

Однако из-за существенной неоднородности полей концентраций СО в полномасштабном помещении локальные концентрации СО будут существенно больше, чем среднеобъемные концентрации в экспериментальной установке.

Результаты экспериментов показали существенную неоднородность температурного поля по объему газовой смеси при ее перемешивании с помощью вентилятора. Например, локальная температура t через 3 мин с момента начала горения изоляции силового кабеля составляла на уровне:

- 50 мм от пола установки — 27,4 °С;
- середины камеры — 143,1 °С;
- 50 мм от потолка — 46,4 °С.

В связи с этим в качестве определяющего значения температуры для показателя токсичности необходимо брать ее некоторое характерное значение, например среднеобъемное. В этом случае можно будет использовать вышеприведенные математические модели, позволяющие оценить адекватность показателя токсичности в мелкомасштабной уста-

новке соответствующему показателю в реальном полномасштабном помещении.

Результаты экспериментов показали существенный разброс экспериментальных данных по концентрациям СО при одинаковой средней температуре (см. рис. 4). Например, при $t = 72,3$ °С за время измерений в случае горения изоляции силового кабеля минимальная плотность СО равна 0,0006 кг/м³, максимальная — 0,0022 кг/м³ (что выше минимального значения в 3,67 раза). Это свидетельствует о существенной нестационарности процесса.

Анализ полученных экспериментальных данных показывает, что в стандартных мелкомасштабных экспериментальных установках даже в условиях перемешивания образующейся смеси продуктов горения и воздуха с помощью вентилятора нестационарное температурное поле (а следовательно, и поля концентраций токсичных газов из-за гидрогазодинамического подобия) является существенно неоднородным. Поэтому необходимо обосновать, какие значения температур и концентраций токсичных газов и в какие моменты времени следует использовать для определения показателя токсичности.

Заключение

В стандартных мелкомасштабных экспериментальных установках концентрации токсичных газов и температуры, используемые при определении показателя токсичности, не являются среднеобъемными и измерены в недостаточном количестве точек, произвольно расположенных внутри экспериментального объема. При этом термогазодинамический процесс внутри экспериментального объема является существенно нестационарным и неоднородным. В связи с этим найденные значения показателя токсичности не могут достоверно характеризовать токсичные свойства продуктов горения.

В качестве определяющих значений температуры, концентраций токсичных газов и кислорода необходимо принимать соответствующие среднеобъемные значения.

Из-за существенной неоднородности температурных и концентрационных полей, получаемых в стандартных мелкомасштабных экспериментальных установках, последние необходимо модернизировать, с тем чтобы они позволяли достоверно определять среднеобъемные температуры и концентрации токсичных газов с выходом на стационарный режим термогазодинамической картины.

Определение показателя токсичности в мелкомасштабных экспериментальных установках по данным химического анализа требует для получения газовой смеси, адекватной соответствующей смеси в полномасштабном помещении, дополнительных измерений коэффициента теплопотерь от газовой

среды экспериментального объема к его ограждающим конструкциям.

На основе анализа результатов исследований (в том числе с учетом данных работы [8]) выделены два основных направления дальнейшей работы:

- совершенствование стандартного метода испытаний;
- разработка научных основ создания мелкомасштабной проточной камеры и методики проведения в ней экспериментов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белешиников И. Л. Судебно-медицинская оценка содержания цианидов в органах и тканях людей, погибших в условиях пожара : дис. ... канд. мед. наук. — СПб., 1996.
2. Иличкин В. С. Токсичность продуктов горения полимерных материалов. Принципы и методы определения. — М. : Химия, 1993. — 136 с.
3. NFPA 269: Standard Test Method for Developing Toxic Potency Data for Use in Fire Hazard Modeling. NFPA National Fire Codes. Quincy, 2003, pp. 269-1–269-18.
4. Пузач С. В. Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2005. — 336 с.
5. Пузач С. В., Смагин А. В., Доан Вьет Мань, Лебедченко О. С. Оценка токсикологической обстановки при возникновении пожара в салоне самолета и помещениях аэропортов // Тепловые процессы в технике. — 2009. — Т. 1, № 12. — С. 531–535.
6. Пузач С. В., Смагин А. В., Лебедченко О. С., Абакумов Е. С. Новые представления о расчете необходимого времени эвакуации людей и об эффективности использования портативных фильтрующих самоспасателей при эвакуации на пожарах. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2007. — 222 с.
7. Кошмаров Ю. А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении. — М. : Академия ГПС МВД России, 2000. — 118 с.
8. Пузач С. В., Доан Вьет Мань, Пузач В. Г. К определению показателя токсичности продуктов горения горючих веществ и материалов в помещении // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 4. — С. 4–13.
9. Пузач С. В., Горячева М. Н., Андреев В. В. Расчет коэффициента теплопотерь при определении критической продолжительности пожара // Пожаровзрывобезопасность. — 2007. — Т. 16, № 6. — С. 21–24.

Материал поступил в редакцию 17 декабря 2012 г.

English

INCREASING THE VALIDITY OF EXPERIMENTAL DEFINITION OF SUBSTANCE AND MATERIAL TOXIC POTENCY

PUZACH Sergey Viktorovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Thermal Physics and Hydraulic Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow 129366, Russian Federation; e-mail address: puzachsv@mail.ru)

SULEYKIN Yevgeniy Vladimirovich, Lecturer of Department of Fire Safety in Civil Engineering, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow 129366, Russian Federation; e-mail address: skynet01@mail.ru)

AKPEROV Ruslan Gyandzhaviyevich, Lecturer of Department of Fire Safety in Civil Engineering, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow 129366, Russian Federation; e-mail address: akperov01@mail.ru)

DUTOV Vladimir Ivanovich, Doctor of Medical Sciences, Professor, Professor of Department of Human Resources, Legal and Psychological Support, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow 129366, Russian Federation)

ABSTRACT

The analysis of thermogasdynamic conditions of experiments to define the toxicity level of combustion products in case of a closed fire have been conducted. The results of theoretical and experimental research of the amounts of toxic gases concentration (as the example of carbon monoxide) and the temperature in the mixtures of combustion products and air, which are formed in the small-scale

experimental installation, and considerations on distribution possibility of the received results onto the real full-scale room are presented.

Analytical solutions have been found to calculate the density of toxic gas in sealed small-scaled and large-scaled premises with small apertures or on the first stage of the fire, when there is only a replacement of the gas environment of the room outside through apertures. It is shown that the proportionality coefficient between the characteristic density of carbon monoxide and the relation of coefficient of evolving of carbon monoxide to the lowest working warmth of combustion does not depend on the properties of the combustible material, the sizes of the room and the area of the open surface of the combustible. It is only the function of three parameters characterizing the thermodynamic picture of the fire — medium-volume temperature of the gas environment, the coefficient of heatlosses and air temperature.

The experimental small-scaled installation for defining the indicator of toxicity consists of the combustion chamber, the exposition camera, electro-heating radiator, the fan and the holder of a sample. For continuous control of the structure of the air-gas environment in the exposition camera gas analyzers of carbon oxide, carbon dioxide and oxygen dioxide are used. For continuous temperature control in the exposition camera nine thermoelectric converters were used. The tests in flame burning conditions of solid combustible loading (isolation of a power cable) and liquefiable combustible loading (industrial oil) were carried out.

Theoretical and experimental dependences on medium-volume temperature of the gas environment of medium-volume density of carbon oxide, and also the proportionality coefficients between the characteristic density of carbon monoxide and the relation of coefficient of evolving of carbon monoxide to the lowest working warmth of combustion for the considered schemes of thermogas dynamics of a fire are received. It is shown that in the standard small-scaled experimental installations the amounts of toxic gases and temperature concentrations, used in calculating the indicator of toxicity, are not medium-volume and they are measured in insufficient quantity of randomly located points in experimental volume. Thus, thermogasdynamic process in experimental volume is significantly non-stationary and inhomogeneous. Therefore, the researched data of the toxicity indicator cannot authentically characterize the toxic properties of combustion products.

Standard small-scaled experimental installations are to be modernized because of the essential inhomogeneity of temperature and concentration fields to define reliably the medium-volume temperatures and concentration of toxic gases with the exit to steady-state conditions of the thermogasdynamic picture.

The defining of the toxicity indicator on the small-scaled experimental installations according to the chemical analysis demands for the receiving the gas mixture, which is adequate to the corresponding mixture in the full-scaled premises, additional measurements of heatlosses coefficient from the gas environment of the experimental volume to its protecting constructions.

The two main directions for further research work are defined: the improvement of the standard test method and the development of the scientific bases of designing the small-scaled flowing camera and the technique to carry out experiments in it.

Keywords: fire; toxic potency; burning; toxic gases; similarity, heat losses coefficient.

REFERENCES

1. Beleshnikov I. L. *Sudebno-meditsinskaya otsenka sodержaniya tsianidov v organakh i tkanyakh lyudey, pogibshikh v usloviyakh pozhara*. Dis. kand. med. nauk [Forensic medical appraisal of the content of cyanide in organs and tissues of people died in fire. Dr. med. sci. diss.]. Saint-Petersburg, 1996.
2. Ilichkin V. S. *Toksichnost produktov goreniya polimernykh materialov. Printsipy i metody opredeleniya* [Toxic property of combustion products of polymer materials. Principals and methods of estimation]. Moscow, Khimiya Publ., 1993. 136 p.
3. *NFPA 269: Standard Test Method for Developing Toxic Potency Data for Use in Fire Hazard Modeling*. NFPA National Fire Codes. Quincy, 2003, pp. 269-1–269-18.
4. Puzach S. V. *Metody rascheta teplomassoobmena pri pozhare v pomeshchenii i ikh primeneniye pri reshenii prakticheskikh zadach pozharovzryvobezopasnosti* [Methods of calculation of heat and mass transfer in the case of indoor fire and their practical application in solving problems of fire-explosion safety]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2005. 336 p.

5. Puzach S. V., Smagin A. V., Doan Vyet Man, Lebedchenko O. S. Otsenka toksikologicheskoy obstanovki pri vozniknovenii pozhara v salone samoleta i pomeshcheniyakh aeroportov [Toxicological evaluation of fire on board an aircraft and airport premises]. *Teplovyye protsessy v tekhnike — Thermal Processes in Technology*, 2009, vol. 1, no. 12, pp. 531–535.
6. Puzach S. V., Smagin A. V., Lebedchenko O. S., Abakumov Ye. S. *Novyye predstavleniya o raschete neobkhodimogo vremeni evakuatsii lyudey i ob effektivnosti ispolzovaniya portativnykh filtruyushchikh samospasateley pri evakuatsii na pozharakh* [New concept of method of calculation of time necessary for evacuation and portable filter self-rescuer use efficiency during fire evacuation]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2007. 222 p.
7. Koshmarov Yu. A. *Prognozirovaniye opasnykh faktorov pozhara v pomeshchenii* [Forecasting of fire hazards in the case of indoor fire]. Moscow, State Fire Academy of Ministry of Interior of Russia Publ., 2000. 118 p.
8. Puzach S. V., Doan Vyet Man, Puzach V. G. K opredeleniyu pokazatelya toksichnosti produktov goreniya goryuchikh veshchestv i materialov v pomeshchenii [To definition of toxic potency of combustion products of combustible materials in compartment]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 4, pp. 4–13.
9. Puzach S. V., Goryacheva M. N., Andreyev V. V. Raschet koeffitsiyenta teplopoter pri opredelenii kriticheskoy prodolzhitelnosti pozhara v pomeshchenii [Calculation of heat loss ratio at determining critical fire duration in compartment]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2007, vol. 16, no. 6, pp. 21–24.



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу

ОГНЕТУШИТЕЛИ. УСТРОЙСТВО. ВЫБОР. ПРИМЕНЕНИЕ Д. А. Корольченко, В. Ю. Громовой



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

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

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

121352, г. Москва, а/я 43; тел./факс: (495) 228-09-03;
e-mail: mail@firepress.ru; www.firepress.ru

А. А. КОРНИЛОВ, старший преподаватель, Уральский институт Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22; e-mail: kornilov_alexei1@mail.ru)

УДК 614.849

ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ ОБЪЕКТА ПОСРЕДСТВОМ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЙ ОЦЕНКИ ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОЖАРА

Предложен способ дифференцированной оценки вероятности возникновения пожара и учета объемно-планировочных и конструктивных решений в целях совершенствования методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности. Показано, что применение данного способа позволяет выстроить оптимальную систему противопожарной защиты объекта.

Ключевые слова: пожарный риск; вероятность возникновения пожара.

Вступление в силу федеральных законов “О техническом регулировании” [1] и “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности” [2], а также ряда нормативных документов, уточняющих их требования, ознаменовало переход на систему нормирования, при которой собственнику разрешается рисковать своим имуществом, т. е. нарушать требования пожарной безопасности, при условии обеспечения требуемой величины индивидуального пожарного риска (далее — ИПР) для присутствующих на объекте людей.

Фактически основным инструментом для реализации данного механизма стал расчет пожарного риска. Наиболее востребованной и, соответственно, вызывающей большое количество споров на сегодняшний день является “Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности” [3] с изменениями [4], получившими в кругу специалистов весьма неоднозначную оценку. Данная методика распространяется преимущественно на общественные здания и позволяет определить индивидуальный пожарный риск на объекте с учетом принятых объемно-планировочных решений, наличия автоматических систем противопожарной защиты и режима эксплуатации объекта. Вместе с тем вся “гибкость” нового подхода к противопожарной защите, широко декларируемая с момента его введения, по большому счету сводится к применению достаточно ограниченного перечня технических решений, изложенных в п. 21 [3, 4]. Данный перечень можно условно разделить по следующим основным направлениям:

- меры, направленные на сокращение времени завершения эвакуации:

- устройство дополнительных эвакуационных путей и выходов;
- устройство систем оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией людей (СОУЭ) повышенного типа;
- ограничение количества людей в здании до значений, обеспечивающих безопасность их эвакуации из него;
- меры, направленные на увеличение необходимого времени эвакуации:
 - применение дополнительных объемно-планировочных решений и средств, обеспечивающих ограничение распространения пожара;
 - организация поэтапной эвакуации людей из здания;
 - применение систем противодымной защиты;
- меры, направленные на снижение расчетной величины индивидуального пожарного риска:
 - применение систем противодымной защиты;
 - устройство систем автоматического пожаротушения (далее — АУП).

При этом система противодымной защиты действительно может влиять и на динамику опасных факторов пожара (ОФП), увеличивая необходимое время эвакуации, и на расчетную величину индивидуального пожарного риска посредством повышения вероятности эффективной работы системы автоматической противопожарной защиты [3] (коэффициента, учитывающего соответствие системы противопожарной защиты, направленной на обеспечение безопасной эвакуации людей при пожаре, требованиям нормативных документов по пожарной безопасности [4]), но при условии, что при этом предусмотрена автоматическая система противодымной вентиляции (далее — ПДВ).

Таким образом, несмотря на превышение расчетной величины ИПР на конкретном объекте относительно нормативной будь то в 2, 3 или 10 раз, дополнительно можно предусмотреть только АУП или ПДВ (автоматическая установка пожарной сигнализации (АПС) и СОУЭ, как правило, на объектах предусматриваются), причем для всех помещений объекта, где того требуют нормативные документы. Это говорит о весьма незначительной “гибкости” существующей методики оценки индивидуального пожарного риска в отношении как оборудования системами пожарной автоматики, так и неучитываемых технических решений, направленных на обеспечение пожарной безопасности, коих в действительности великое множество.

В целях совершенствования существующей методики предлагается способ дифференцированной оценки вероятности возникновения пожара на объекте. Для этого обратимся к методу “дерева событий”, который предполагает возможность представить событие в виде суммы вероятностей инициирующих событий. Если предположить, что вероятность возникновения пожара на объекте можно выразить в виде суммы вероятностей возникновения пожара, то возникновение пожара на объекте можно представить в виде дерева событий (рис. 1).

В соответствии с п. 7 [4] сценарии пожара, не реализуемые при нормальном режиме эксплуатации объекта (теракты, поджоги, хранение горючей нагрузки, не предусмотренной назначением объекта, и т. д.), не рассматриваются. Следовательно, при построении дерева событий необходимо учитывать только те помещения, в которых наличие горючей нагрузки определено проектом либо предусмотрено в ходе эксплуатации объекта.

Каждая из полученных ветвей требует дальнейшей оценки последствий, а именно оценки вероятности безопасной эвакуации людей с учетом работы

систем автоматической противопожарной защиты. Чтобы исключить чрезмерно большое количество расчетных сценариев возникновения пожара и распространения ОФП, в новой редакции методики [4] приведены рекомендации по выбору предполагаемого местонахождения очага пожара, например в помещении малого объема вблизи от одного из эвакуационных выходов либо в помещении с большим количеством горючей нагрузки, характеризующейся высокой скоростью распространения пламени. Указанные рекомендации вполне логичны и могут справедливо использоваться в рамках предлагаемого способа. В то же время в случае необходимости более детального анализа или рассмотрения сравнительно небольшого объекта возможно определение величины индивидуального пожарного риска с учетом всех возможных мест (помещений) возникновения пожара.

Основной вопрос, возникающий на этой стадии, заключается в том, как оценить вероятность возникновения пожара в каждом из помещений, имеющих различную площадь? Для начала распределим вероятность возникновения пожара на объекте в целом на все помещения с горючей нагрузкой пропорционально их площади. Тогда вероятность пожара в i -м помещении будет определяться формулой

$$Q_i = Q_{\pi} \frac{F_i}{\sum_{i=1}^n F_i}, \quad (1)$$

где Q_i — вероятность возникновения пожара в i -м помещении, в котором возможно наличие горючей нагрузки, год⁻¹;

Q_{π} — частота возникновения пожара в здании в течение года, год⁻¹;

F_i — площадь i -го помещения, в котором возможно наличие горючей нагрузки, м²;

n — количество помещений в здании, в которых возможно наличие горючей нагрузки.

Формула (1) предполагает выполнение условия

$$Q_{\pi} = \sum_{i=1}^n Q_i. \quad (2)$$

Следует заметить, что равенство (2) будет выполняться независимо от количества помещений, что, безусловно, противоречит здравому смыслу. Однако это, к сожалению, следует из методики [4], где упразднена какая-либо дифференциация и частота возникновения пожара в здании не зависит ни от площади, ни от этажности, ни от численности посетителей, ни от каких-либо других параметров, а только от функционального назначения объекта. Положительным моментом в формуле (1) можно считать тот факт, что деление этажа на большее количество помещений никоим образом не скажется на суммарной вероят-

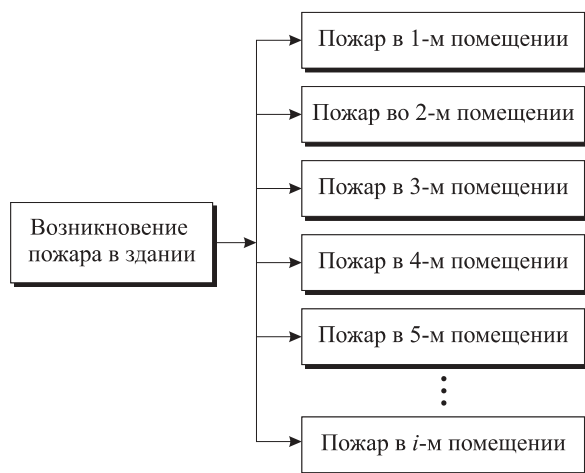


Рис. 1. Дерево событий, описывающее возникновение пожара в здании

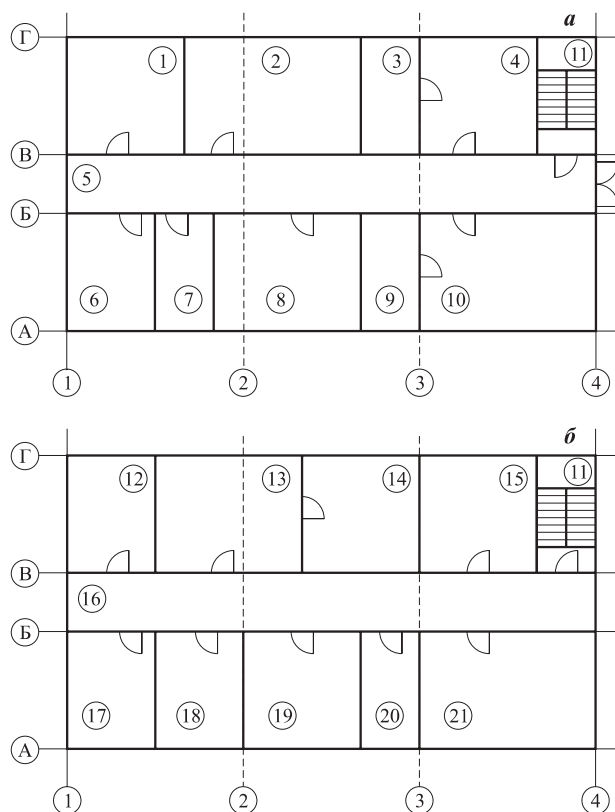


Рис. 2. План 1-го (а) и 2-го (б) этажей

ности, поэтому условное дробление или укрупнение помещений не позволит искусственно изменить величину пожарного риска.

В качестве примера рассмотрим двухэтажное административное здание с чердаком и подвалом (рис. 2).

Для каждого из помещений по формуле (1) определим вероятность возникновения пожара. Результаты расчетов сведем в табл. 1.

Данные табл. 1 отражают зависимость вероятности возникновения пожара в помещении от его площади, но не дают ответа на вопрос, как можно в равной степени распределить вероятность возникновения пожара на помещения, имеющие различную пожарную опасность. В действительности, характеристика вероятности с помощью формулы (1) является скорее количественной. Для качественного описания распределения вероятностей предлагается использовать статистические данные по количеству пожаров в соответствующих типах помещений [5] (табл. 2).

Помимо указанных сведений, можно использовать статистические данные по пожарам на каком-либо оборудовании, не учтенном в перечне, представленном в табл. 2. На сегодняшний день в статистических сборниках публикуется неполный перечень всевозможных помещений и не для всех классов (подклассов) функциональной пожарной опасности, тем не менее даже в таком виде он достаточно велик

Таблица 1. Результаты расчета вероятности возникновения пожара в различных помещениях административного здания

№ поз.	Наименование помещения	Площадь, м ²	Вероятность возникновения пожара, год ⁻¹
<i>1-й этаж</i>			
1	Зал собраний	16	$1,31 \cdot 10^{-3}$
2	Кабинет	24	$1,97 \cdot 10^{-3}$
3	Душевая, санузел	8	0
4	Гардероб женский	24	$1,97 \cdot 10^{-3}$
5	Коридор	36	0
6	Подсобное помещение	12	$9,8 \cdot 10^{-4}$
7	Электрощитовая	8	$6,6 \cdot 10^{-4}$
8	Кладовая	20	$1,64 \cdot 10^{-3}$
9	Душевая, санузел	8	0
10	Гардероб мужской	24	$1,97 \cdot 10^{-3}$
11	Лестничная клетка	8	0
<i>2-й этаж</i>			
12	Кабинет	12	$9,8 \cdot 10^{-4}$
13	Кабинет	20	$1,64 \cdot 10^{-3}$
14	Кабинет	16	$1,31 \cdot 10^{-3}$
15	Кабинет	24	$1,97 \cdot 10^{-3}$
16	Коридор	36	0
17	Кабинет	12	$9,8 \cdot 10^{-4}$
18	Венткамера	12	$9,8 \cdot 10^{-4}$
19	Подсобное помещение	16	$1,31 \cdot 10^{-3}$
20	Кладовая	8	$6,6 \cdot 10^{-4}$
21	Кабинет	24	$1,97 \cdot 10^{-3}$
11	Лестничная клетка	8	0
	Подвал	108	$8,85 \cdot 10^{-3}$
	Чердак	108	$8,85 \cdot 10^{-3}$
	Итого:	576	$4 \cdot 10^{-2}$

и при необходимости может быть расширен. Следует также учесть, что горючая нагрузка может быть постоянной (тогда нужно учитывать и помещения, в которых по условиям эксплуатации не предусматривается хранение горючих материалов) и переменной (к которой относятся все горючие материалы, принесенные на объект, в том числе в нарушение противопожарного режима). В любом случае такие помещения, как подвал и чердак, следует учитывать обязательно, принимая во внимание неутешительную статистику и высокую опасность развития подобных пожаров.

С целью определения величины вероятности возникновения пожара в помещении с учетом его площади и пожарной опасности условно разделим всю площадь каждого этажа здания на такое количество равных элементарных участков площадью

Таблица 2. Статистические данные по пожарам, происшедшим в различных помещениях зданий общественного назначения

Тип помещения	Количество пожаров в год
Гардероб, раздевалка	48
Складское помещение, кладовка	358
Основное производственное помещение, цех	66
Подсобное и вспомогательное производственное помещение	211
Помещение для хранения и ремонта транспорта (гараж)	77
Курительная комната	4
Почтовый ящик	6
Помещение для содержания животных, птицы	29
Кормокухня	3
Помещение котельной, теплогенерирующих и других установок	130
Подсобное помещение	952
Веранда, терраса, тамбур	273
Зал экспозиции музея, выставки	3
Сауна	126
Пристройка к зданию	228
Балкон, лоджия	10
Комната, жилое, спальное помещение, палата	705
Ванная, душевая, туалет	90
Коридор	286
Кухня	400
Вне здания	2439
Лестничная клетка	106
Подвальное помещение	144
Чердачное помещение	506
Сцена	12
Зрительный зал, зал заседаний	32
Киноаппаратная	4
Класс, аудитория, читальный зал	52
Радиоузел	6
Административное, служебное помещение, кабинет	622
Лабораторное помещение	19
Фойе, вестибюль	45
Хранилище архива, библиотеки	34
Зал ожидания	1
Буфет, бар	99
Обеденный зал	65
Торговый зал, операционный зал почты, биржи, банка и пр.	1241
Зал ЭВМ	5
Коммуникационный тоннель и коллектор	35
Кабельный тоннель и коллектор	7
Тамбур-шлюз	6
Прочие помещения	3122

F_o , чтобы в каждом помещении их было натуральное (целое положительное) число (рис. 3), как если бы это были самостоятельные помещения. При этом условии будет выполняться равенство

$$\sum_{i=1}^n F_i = \sum_{j=1}^X F_j = XF_o, \quad (3)$$

где F_j — площадь j -го элементарного участка, принятая равной F_o , m^2 ;

X — целое число участков, на которые разбита суммарная площадь помещений, в которых возможно наличие горючей нагрузки, m^2 .

Тогда по формуле (1) с учетом выражения (3) вероятность возникновения пожара для каждого элементарного участка может быть определена по формуле

$$Q_j = Q_n \frac{F_o}{\sum_{j=1}^X F_j} = Q_n \frac{F_o}{\sum_{i=1}^n F_i} = Q_n \frac{F_o}{XF_o} = \frac{Q_n}{X}. \quad (4)$$

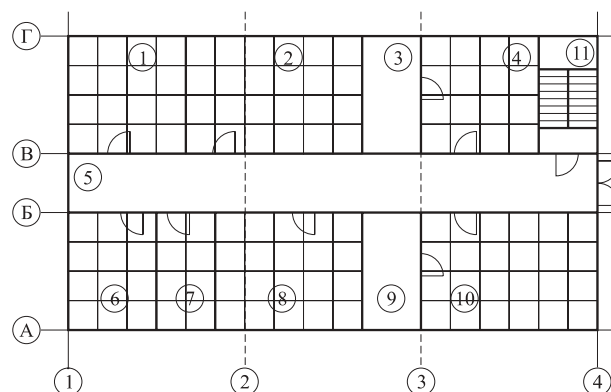
Деление на элементарные участки также предполагает тождество

$$Q_n = \sum_{i=1}^n Q_i = \sum_{j=1}^X Q_j. \quad (5)$$

Принимая во внимание допущение о том, что соотношение вероятностей возникновения пожаров на элементарных участках может быть пропорционально соотношению статистического количества пожаров на каждом из этих участков, аналогично формуле (1) определим вероятность возникновения пожара на элементарном участке с учетом его пожарной опасности:

$$Q_j = Q_n \frac{F_o}{\sum_{j=1}^X F_j} \frac{m_j}{m_j^{cp}}, \quad (6)$$

где m_j — определенное на основании статистических данных количество пожаров для i -го помещения, на площади которого размещен j -й элементарный участок;

**Рис. 3.** План 1-го этажа, условно разделенного на участки

m_j^{cp} — среднее количество пожаров в соответствии со статистическими данными среди всех элементарных участков:

$$m_j^{cp} = \frac{\sum_{j=1}^X m_j}{X} = \frac{1}{X} \sum_{i=1}^n \left(m_i \frac{F_i}{F_o} \right). \quad (7)$$

Достоверность формулы (6) можно проверить путем ряда несложных преобразований. Подставив формулу (7) в формулу (6), получим частоту возникновения пожара в здании, определяемую по формуле (5):

$$\begin{aligned} Q_n &= \sum_{j=1}^X \left(Q_n \frac{F_o}{\sum_{j=1}^X F_j} \frac{m_j}{\sum_{j=1}^X m_j / X} \right) = \\ &= Q_n \sum_{j=1}^X \left(\frac{X F_o}{\sum_{j=1}^X F_j} \frac{m_j}{\sum_{j=1}^X m_j} \right) = Q_n \sum_{j=1}^X \frac{m_j}{\sum_{j=1}^X m_j} = Q_n. \end{aligned} \quad (8)$$

Проведенное аналитическое преобразование (8) подтверждает справедливость предложенной формулы (6).

Если помещения не объединяют в своем составе участки с различной пожарной опасностью (т. е. для одного и того же помещения не может быть определено различное количество пожаров по имеющимся статистическим данным), то для каждого конкретного помещения будет соблюдаться условие

$$Q_i = \sum_{j=1}^{X_i} Q_j = Q_j \frac{F_i}{F_o} = Q_j X_i, \quad (9)$$

где X_i — количество элементарных участков, на которое разделено i -е помещение.

Условие (9), являющееся одним из основополагающих допущений, необходимых для проведения инженерных расчетов, может быть оспорено, если, например, в составе административного помещения расположен еще и радиоузел, но тогда при оценке количества пожаров m_i следует просто принять максимальное из двух подходящих по формальным признакам значений.

Из формул (7) и (9) следует также, что для каждого конкретного помещения будет соблюдаться и еще одно условие, легко проверяемое путем простых преобразований:

$$m_i = \sum_{j=1}^{X_i} m_j / X_i. \quad (10)$$

Однако для выполнения инженерных расчетов деление объекта на так называемые элементарные участки неприемлемо, поэтому необходимо преобразовать формулу (6) с целью придания ей более

Таблица 3. Результаты расчета вероятности возникновения пожара в различных помещениях административного здания

№ поз.	Наименование помещения	Площадь, м ²	Количество пожаров [5]	Вероятность возникновения пожара, год ⁻¹	Доля вероятности в составе объекта, %
<i>1-й этаж</i>					
1	Зал собраний	16	36	$1,04 \cdot 10^{-4}$	0,26
2	Кабинет	24	803	$3,02 \cdot 10^{-3}$	7,56
3	Душевая, санузел	8	—	—	—
4	Гардероб женский	24	149	$2,33 \cdot 10^{-4}$	0,58
5	Коридор	36	—	—	—
6	Подсобное помещение	12	6523	$5,13 \cdot 10^{-4}$	1,28
7	Электрощитовая	8	2710	$5,06 \cdot 10^{-3}$	12,64
8	Кладовая	20	1837	$1,45 \cdot 10^{-3}$	3,62
9	Душевая, санузел	8	—	—	—
10	Гардероб мужской	24	149	$2,33 \cdot 10^{-4}$	0,58
11	Лестничная клетка	8	—	—	—
<i>2-й этаж</i>					
12	Кабинет	12	803	$1,51 \cdot 10^{-3}$	3,78
13	Кабинет	20	803	$2,52 \cdot 10^{-3}$	6,30
14	Кабинет	16	803	$2,01 \cdot 10^{-3}$	5,04
15	Кабинет	24	803	$3,02 \cdot 10^{-3}$	7,56
16	Коридор	36	—	—	—
17	Кабинет	12	803	$1,51 \cdot 10^{-3}$	3,78
18	Венткамера	12	130	$3,16 \cdot 10^{-4}$	0,79
19	Подсобное помещение	16	6523	$6,83 \cdot 10^{-4}$	1,71
20	Кладовая	8	1837	$5,8 \cdot 10^{-4}$	1,45
21	Кабинет	24	803	$3,02 \cdot 10^{-3}$	7,56
11	Лестничная клетка	8	—	—	—
	Подвал	108	1380	$3,15 \cdot 10^{-3}$	7,87
	Чердак	108	9191	$1,11 \cdot 10^{-2}$	27,66
	Итого:	576		$4 \cdot 10^{-2}$	100

удобного для использования вида. Для этого формулы (3), (6) и (7) подставим в (9), в результате получим:

$$\begin{aligned} Q_i &= Q_j X_i = X_i Q_n \frac{F_o}{\sum_{i=1}^n F_i} \frac{m_j}{\frac{1}{X} \sum_{i=1}^n \left(m_i \frac{F_i}{F_o} \right)} = \\ &= X_i Q_n \frac{F_o X}{\sum_{i=1}^n F_i} \frac{m_j}{\sum_{i=1}^n \left(m_i \frac{F_i}{F_o} \right)} = X_i Q_n \frac{m_j}{\frac{1}{F_o} \sum_{i=1}^n (m_i F_i)} = \\ &= X_i F_o Q_n \frac{m_j}{\frac{1}{F_o} \sum_{i=1}^n (m_i F_i)} = Q_n \frac{F_i m_j}{\sum_{i=1}^n (m_i F_i)}. \end{aligned} \quad (11)$$

Принимая во внимание тот факт, что для одного и того же помещения $m_j = m_i$, получим формулу для определения вероятности возникновения пожара в помещении, в котором предусмотрено размещение горючей нагрузки:

$$Q_i = Q_{\text{п}} \frac{F_i m_i}{\sum_{i=1}^n (m_i F_i)}. \quad (12)$$

При этом суммарная вероятность возникновения пожара на объекте по-прежнему остается равной табличному значению, предусмотренному методикой [4].

Для помещений объекта, рассмотренного в качестве примера, проведем расчет вероятности возникновения пожара Q_i . Полученные результаты сведем в табл. 3.

По полученным значениям вероятностей можно судить о степени пожарной опасности каждого из помещений, а также о необходимости защиты каждого из них с целью снижения суммарной величины индивидуального пожарного риска для объекта в целом. Для адаптирования рассмотренного подхода к действующей методике обратимся к формуле расчета риска согласно [4]:

$$Q_{\text{в}} = \max \{Q_{\text{п},y} (1 - K_{\text{ап},y}) P_{\text{пр},y} (1 - P_{\text{э},y}) (1 - K_{\text{п.з},y})\}, \quad (13)$$

где y — индекс, означающий в данной формуле соответствующий сценарий;

$Q_{\text{п},y}$ — частота возникновения пожара в здании в течение года;

$K_{\text{ап},y}$ — коэффициент, учитывающий соответствие установок автоматического пожаротушения требованиям нормативных документов по пожарной безопасности;

$P_{\text{пр},y}$ — вероятность присутствия людей в здании;

$P_{\text{э},y}$ — вероятность эвакуации людей;

$K_{\text{п.з},y}$ — коэффициент, учитывающий соответствие системы противопожарной защиты, направленной на обеспечение безопасной эвакуации людей при пожаре, требованиям нормативных документов по пожарной безопасности.

В правой части формулы (13) произведение множителей $Q_{\text{п},y}$ и $(1 - K_{\text{ап},y})$, по существу, означает вероятность возникновения пожара и распространение его опасных факторов (хотя для подобного анализа больше подошла бы аналогичная формула в предыдущей редакции методики [3]). Если снова обратиться к дереву событий, то на данном этапе представляется возможным учесть наличие нескольких решений в конкретном помещении, направленных на исключение распространения пожара (рис. 4).

На основании дерева событий можно исключить ситуации, которые не представляют опасности (например, если эффективно сработала установка по-

жаротушения). Тогда произведение $Q_{\text{п},y} (1 - K_{\text{ап},y})$ в формуле (13) можно заменить с учетом тождества:

$$Q_{\text{п},i} (1 - K_{\text{ап},i}) = \sum_{i=1}^n \left[Q_i \prod_{j=1}^{j=a_i} (1 - R_j) \right], \quad (14)$$

где R_j — вероятность эффективной работы технического решения, в том числе автоматической установки пожаротушения (либо коэффициент, учитывающий соответствие технического решения нормативным требованиям);

a_i — количество технических решений, направленных на ликвидацию или ограничение распространения пожара в i -м помещении.

Физический смысл формулы (14) заключается в том, что лишь некоторые из помещений могут быть оборудованы установками автоматического пожаротушения либо иным техническим решением, а не весь объект в целом.

С учетом (14) формулу (13) можно записать в виде:

$$Q_{\text{в}} = \sum_{i=1}^n \left[Q_i P_{\text{пр},i} \prod_{j=1}^{j=a_i} (1 - R_j) \right] \times (1 - P_{\text{э},i}) (1 - K_{\text{п.з},i}), \quad (15)$$

где $P_{\text{пр},i}$ — вероятность присутствия людей в помещении (например, на путях эвакуации), в которое распространяются ОФП при пожаре в i -м помещении; позволяет учесть различный режим работы многофункциональных зданий;

$P_{\text{э},i}$ — вероятность эвакуации людей из здания в случае возникновения пожара в i -м помещении;

$K_{\text{п.з}}$ — коэффициент, учитывающий соответствие системы противопожарной защиты, направленной на обеспечение безопасной эвакуации людей при пожаре, требованиям нормативных документов по пожарной безопасности.

В формуле (15) разность $(1 - P_{\text{э},i})$ может быть также внесена под знак суммы, но в этом случае возникает принципиальное противоречие с методикой в нынешней редакции [4], а именно: индивидуальный пожарный риск принимается равным *максимальному значению* из всех рассмотренных сценариев, т. е. из всех сценариев предполагается принимать максимальное значение вероятности “небезопасной” эвакуации. Хотя методика [6], наоборот, позволяет учесть конкретные последствия каждого события.

Сложность использования формулы (15) заключается в том, что введенные в методику изменения [4] заменили технические параметры (вероятность эффективной работы, которая могла учитывать надежность применяемой системы) на условные коэффициенты. В связи с этим замена параметра R на K может спровоцировать возникновение противоречий, связанных с тем, что нельзя расчетным способом обосновать отступление от нормативных требований,

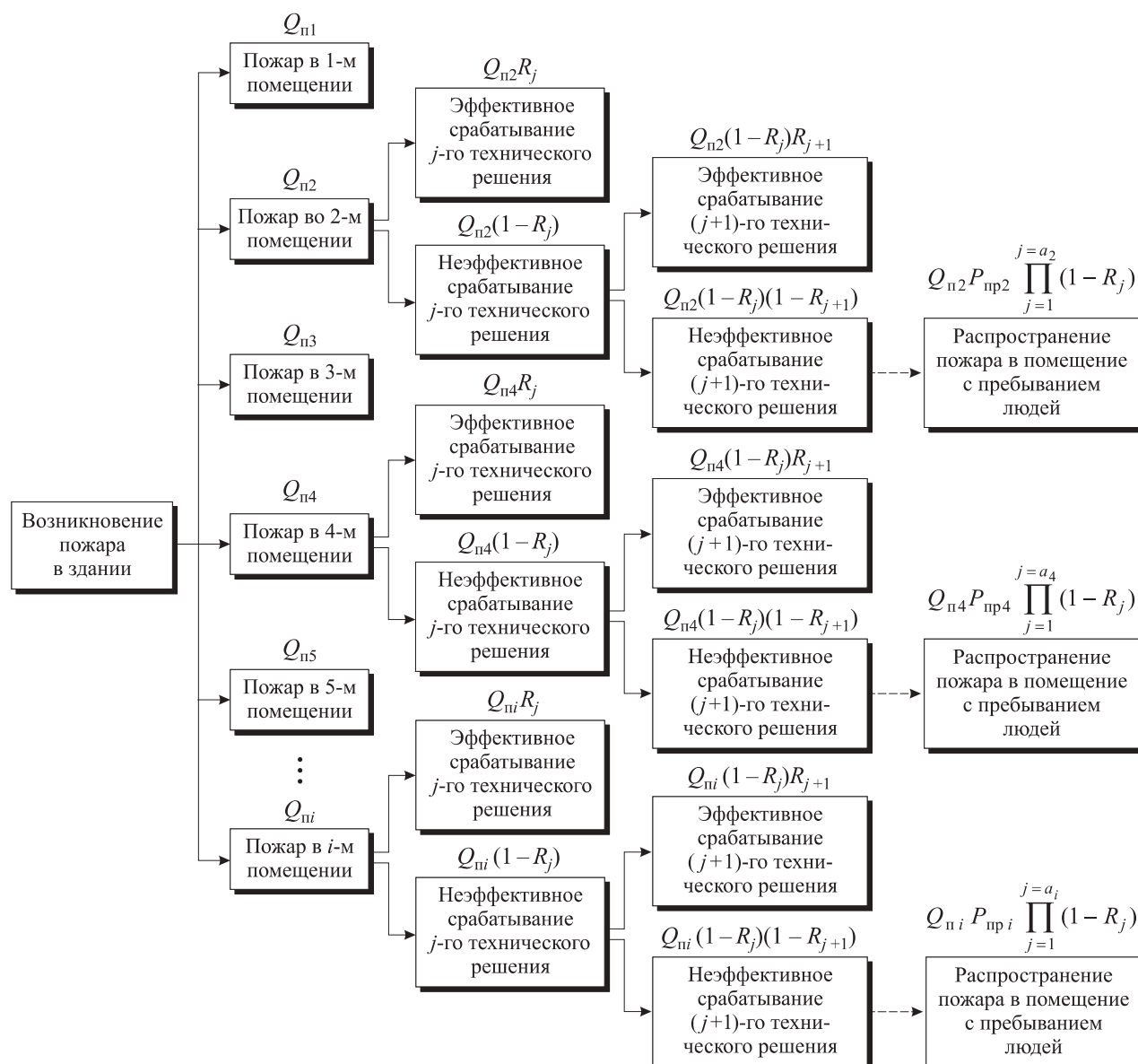


Рис. 4. Дерево событий с учетом применяемых технических решений

выполнение которых необходимо для того, чтобы величина K принималась равной условному значению. Например, если на объекте в 2 раза превышена расчетная величина пожарного риска, то согласно (15) может быть достаточным оборудование системами защиты около 60 % помещений объекта с горючей нагрузкой, чтобы пожарный риск снизился до нормативной величины. Однако в соответствии с п. А.5 [7] при необходимости защиты 40 % и более от общей площади этажей здания следует предусматривать оборудование системами защиты здания в целом. Таким образом, коэффициент $K_{апi}$ следует принимать равным нулю, тогда обосновать частичное оборудование объекта установкой пожаротушения не представляется возможным.

Разность $(1 - K_{п.3i})$ в формуле (15) также может быть внесена под знак суммы. Тогда становится воз-

можным учесть частичное оборудование путей эвакуации системами приточно-вытяжной противодымной вентиляции. В этом случае данный коэффициент будет характеризовать соответствие исполнения системы ПДВ требованиям нормативных документов.

Однако не следует останавливаться лишь на автоматических системах противопожарной защиты. Одним из недостатков действующей методики многие специалисты считают весьма ограниченный круг учитываемых технических решений. Поэтому еще одним положительным фактором предлагаемого способа является возможность учета таких решений, как устройство противопожарных преград, противопожарное заполнение проемов, устройство водяных завес, тамбур-шлюзов и т. п. Таким образом, становится возможным учесть отступления в части объемно-планировочных решений, коих на действующих

объектах встречается большое количество, и разработать действительно оптимальную систему противопожарной защиты.

Теория надежности строительных конструкций, позволяющая оценить вероятность выполнения конструкцией своих функций, разработана на достаточно высоком уровне и учитывает множество факторов, что в каждом конкретном случае потребует затрат большого количества времени на качественную и весьма скрупулезную оценку, поэтому данную оценку предлагается проводить приблизительно, исходя из основной функции.

Если принять во внимание, что противопожарная преграда в зависимости от типа способна выдержать воздействие ОФП в течение 15, 45, 60 или 150 мин, то вероятность выполнения ею своих функций на начальной стадии возникновения и развития пожара (приблизительно 10 мин) может быть определена в соответствии с подходом, предусмотренным теорией надежности в технических системах, а именно формулой вероятности безотказной работы:

$$R(t) = e^{-\lambda t}, \quad (16)$$

где λ — интенсивность потока отказов, ч^{-1} ;
 t — рассматриваемый период времени, в данном случае приблизительная продолжительность начальной стадии развития пожара (10 мин) или максимальное значение расчетного времени эвакуации из здания, мин.

Интенсивность потока отказов определяется формулой

$$\lambda = 1/T_0, \quad (17)$$

где T_0 — среднее время наработки на отказ, в данном случае предел огнестойкости преграды, мин; определяется по справочным данным или расчетным путем.

Подставив формулу (17) в (16) с заменой необходимых переменных, получим выражение для расчета вероятности эффективной работы противопожарной преграды:

$$R_{\text{пр}} = \exp\left(-\frac{t_{\text{р}} + t_{\text{н.э}}}{T_{\text{пр}}}\right), \quad (18)$$

где $t_{\text{р}}$ — расчетное время эвакуации, мин;
 $t_{\text{н.э}}$ — время начала эвакуации, мин;
 $T_{\text{пр}}$ — предел огнестойкости противопожарной преграды, мин.

В формуле (18) сумма в числителе, как было отмечено выше, может быть определена расчетным путем либо условно (для упрощения расчетов) принята равной 10 мин.

В качестве примера был проведен расчет вероятности безотказной работы противопожарных пре-

Таблица 4. Вероятность эффективной работы противопожарных преград

Предел огнестойкости преграды, мин	Значение вероятности при времени выхода людей из здания (пожарного отсека) с учетом времени начала эвакуации, мин		
	5	7	10
15	0,717	0,627	0,513
45	0,895	0,856	0,801
60	0,920	0,890	0,846
150	0,967	0,954	0,936

град в зависимости от предела огнестойкости. Полученные результаты приведены в табл. 4.

В отношении противопожарных преград можно принять и единое значение вероятности, поскольку даже перегородка 2-го типа имеет предел огнестойкости, превышающий, как правило, время эвакуации людей из здания. Однако если вспомнить, что методика должна способствовать внедрению более эффективных технических решений, то дифференциация вероятности безотказной работы в зависимости от предела огнестойкости имеет смысл. В этом случае не требуется учитывать массу факторов, влияющих на надежность конструкции, как то материал преград, тип, фактическая нагрузка и т. п., хотя все эти и многие другие факторы также будут оказывать влияние на огнестойкость.

При проведении расчетов вероятности эффективной работы противопожарных преград в качестве расчетного времени эвакуации логично принимать время выхода людей за пределы части здания (или пожарного отсека), в которой прогнозируется воздействие ОФП в случае разрушения рассматриваемой противопожарной преграды. Однако это приведет к существенному усложнению расчета риска и появлению большего количества ошибок из-за возможной неоднозначности трактовки последствий разрушения противопожарных преград, включая прогрессирующее обрушение конструкций. Введение показателя вероятности эффективной работы противопожарных стен и перекрытий 1-го типа позволит учесть деление здания на пожарные отсеки, что должно способствовать внедрению данного технического решения на тех объектах, на которых на сегодняшний день, исходя из табличного значения вероятности возникновения пожара, обеспечить требуемую величину индивидуального пожарного риска представляется возможным только посредством устройства АУП или систем ПДВ. Если по условиям эвакуации люди покидают различные отсеки по самостоятельным эвакуационным путям и выходам (для частей зданий разных классов функционального назначения зачастую это предусмотрено), то расчет индивидуального пожарного риска

следует производить отдельно для различных отсеков, а затем для объекта в целом выбирать наибольшее из полученных значений.

В случае устройства проема в противопожарной преграде надежность технического решения в целом следует оценивать иным способом. Фактически противопожарная дверь, установленная в проеме противопожарной преграды, ограничивает распространение опасных факторов за пределы помещения, в котором произошел пожар. Многие специалисты при проведении расчетов индивидуального пожарного риска применяют этот способ с целью исключения сценариев, для которых не выполняется условие безопасной эвакуации людей. Но это верно лишь отчасти, поскольку, как и любое техническое устройство, противопожарная дверь обладает надежностью, зависящей от качества ее исполнения и режима эксплуатации. Производитель часто указывает ресурс изготавливаемых противопожарных дверей, который может составлять от 70 до 500 тыс. циклов открываний/закрываний, хотя согласно рекомендациям [8] минимальный требуемый ресурс составляет 200 тыс. циклов. Исходя из этих данных и приблизительной частоты открывания дверей, представляется возможным определить и вероятность эффективной работы данного технического решения, которое аналогично автоматической установке пожаротушения исключит распространение пожара за пределы помещения на время, необходимое для эвакуации людей.

Следует учесть, что распространение пожара за пределы помещения пожара возможно в том случае, если хотя бы один из элементов противопожарной преграды не выполнит свою функцию, например противопожарная дверь не обеспечит требуемую герметичность, в самой противопожарной перегородке образуется прогар и т. п. Следовательно, вероятность выполнения противопожарной преградой с дверью своих функций по ограничению распространения пожара (без учета систем пожарной автоматики) будет определяться формулой

$$R_{\text{огр}} = R_{\text{пр}} R_{\text{дв}}, \quad (19)$$

где $R_{\text{дв}}$ — вероятность эффективной работы противопожарной двери.

В свою очередь, величина $R_{\text{дв}}$ будет определяться исходя из выполнения своих функций одновременно запорными устройствами и огнестойким дверным полотном. Следовательно, вероятность эффективной работы противопожарной двери может быть выражена формулой

$$R_{\text{дв}} = R_{\text{мех}} R_{\text{пол}}, \quad (20)$$

где $R_{\text{мех}}$ — вероятность надежной работы механизмов открывания/закрывания противопожарной двери;

Таблица 5. Вероятность эффективной работы запорных элементов противопожарной двери

Ресурс, тыс. циклов	Значение вероятности при количестве открываний/закрываний в сутки			
	1	10	30	50
70	0,995	0,949	0,855	0,771
100	0,996	0,964	0,896	0,833
200	0,998	0,982	0,947	0,913
300	0,999	0,988	0,964	0,941
400	0,999	0,991	0,973	0,955
500	0,999	0,993	0,978	0,964

$R_{\text{пол}}$ — вероятность эффективного выполнения своих функций по ограничению распространения пожара полотном противопожарной двери.

Для оценки вероятности надежной работы механизмов открывания/закрывания воспользуемся формулами (16) и (17). Для перехода от количества циклов, заявленных производителем, к временным параметрам необходимо, исходя из приблизительно количества открываний/закрываний в сутки, определить время выработки ресурса применяемой двери. Тогда формула расчета вероятности надежной работы механизмов открывания/закрывания противопожарной двери примет вид:

$$R_{\text{мех}} = \exp\left(-\frac{0,365a}{b}\right), \quad (21)$$

где a — среднее (приблизительное) количество циклов открываний/закрываний в сутки;

b — ресурс открываний/закрываний двери, указанный производителем, тыс. циклов.

Значения вероятности эффективной работы запорных элементов противопожарной двери в зависимости от периодичности циклов открывания/закрывания и заявленного ресурса приведены в табл. 5.

С учетом огнестойкости двери, оцениваемой аналогично противопожарной преграде, которая может составлять от 15 до 60 мин, формула (18) примет вид:

$$R_{\text{дв}} = \exp\left\{-\left(\frac{0,365a}{b} + \frac{t_p + t_{н.э}}{\Pi_{\text{дв}}}\right)\right\}, \quad (22)$$

где $\Pi_{\text{дв}}$ — предел огнестойкости противопожарной двери, мин.

Значения вероятности эффективной работы противопожарной двери в зависимости от периодичности циклов открывания/закрывания, заявленного ресурса и огнестойкости приведены в табл. 6.

Подставив формулу (22) в (19), получим формулу для определения вероятности эффективной работы противопожарных преград в зависимости от заполнения проемов, периодичности открывания дверей, их заявленного ресурса и огнестойкости:

Таблица 6. Вероятность надежной работы противопожарной двери

b, тыс. циклов	a, циклов в сутки	П _{дв} , мин	Значение вероятности при времени выхода людей из здания (пожарного отсека) с учетом времени начала эвакуации, мин		
			5	7	10
70	1	15	0,713	0,624	0,511
		30	0,842	0,788	0,713
		60	0,915	0,885	0,842
	50	15	0,552	0,483	0,396
		30	0,652	0,610	0,552
		60	0,709	0,686	0,652
200	1	15	0,715	0,626	0,512
		30	0,845	0,790	0,715
		60	0,918	0,888	0,845
	50	15	0,654	0,572	0,469
		30	0,773	0,723	0,654
		60	0,840	0,812	0,773
500	1	15	0,716	0,627	0,513
		30	0,846	0,791	0,716
		60	0,919	0,889	0,846
	50	15	0,691	0,605	0,495
		30	0,816	0,764	0,691
		60	0,887	0,858	0,816

Таблица 7. Вероятность надежной работы противопожарной преграды с соответствующим заполнением проема

b, тыс. циклов	a, циклов в сутки	П _{пр} , мин	П _{дв} , мин	Значение вероятности при расчетном времени эвакуации из здания, мин		
				5	7	10
70	1	15	15	0,511	0,391	0,262
		45	30	0,754	0,674	0,571
		150	60	0,885	0,845	0,788
	50	15	15	0,552	0,483	0,396
		45	30	0,652	0,610	0,552
		150	60	0,709	0,686	0,652
200	1	15	15	0,512	0,393	0,263
		45	30	0,756	0,677	0,573
		150	60	0,888	0,848	0,790
	50	15	15	0,469	0,359	0,241
		45	30	0,691	0,619	0,524
		150	60	0,812	0,775	0,723
500	1	15	15	0,513	0,393	0,263
		45	30	0,757	0,677	0,573
		150	60	0,889	0,849	0,791
	50	15	15	0,495	0,379	0,254
		45	30	0,730	0,654	0,553
		150	60	0,858	0,819	0,764

$$R_{\text{огр}} = \exp \left\{ - \left(\frac{t_p + t_{\text{н.э}}}{P_{\text{пр}}} + \frac{0,365a}{b} + \frac{t_p + t_{\text{н.э}}}{P_{\text{дв}}} \right) \right\}. \quad (23)$$

Результаты расчета вероятности эффективной работы противопожарной преграды двери по формуле (22) приведены в табл. 7.

Наиболее целесообразно условно принимать вероятность эффективной защиты противопожарных преград с учетом влияния всех вышеперечисленных факторов (табл. 8).

При этом, если характеристики применяемого технического решения отличаются от принятых в таблице (например, предел огнестойкости противопожарной перегородки выше, чем требуется для 1-го типа), то допускается оценивать вероятность эффективной защиты противопожарной преграды расчетным путем:

- при наличии проема и его противопожарного заполнения — по формуле (23);
- при отсутствии проема — по формуле (18).

Специалисты могут отметить, что зачастую перегородка, выполненная из негорючего материала, может по пределу огнестойкости соответствовать, например, противопожарной стене 1-го типа. Следовательно, даже при отсутствии противопожарного заполнения проема такая преграда будет работать в качестве средства ограничения распространения

Таблица 8. Вероятность надежной работы противопожарной преграды с соответствующим заполнением проема

П _{пр} , мин	П _{дв} , мин	Вероятность	Тип помещения
15	15	0,3	Для помещений, посещаемых относительно редко, например электрощитовых, кладовых и подсобных помещений
45	30	0,6	
60	30	0,7	
150	60	0,8	Для помещений, посещаемых регулярно в равной степени с остальными помещениями здания
15	15	0,2	
45	30	0,5	
60	30	0,6	
150	60	0,7	

Примечания:

1. Ресурс противопожарных дверей принят равным 200 тыс. циклов.
2. Сумма расчетного времени эвакуации и начала эвакуации принята равной 10 мин.
3. Для помещений, посещаемых редко, принят ресурс, равный 1 циклу открывания/закрывания в сутки; для помещений, посещаемых регулярно, — 50 циклам открывания/закрывания в сутки

пожара. Однако согласно формуле (19) в случае, когда один из элементов (преграда или заполнение проема) не обладает требуемыми свойствами по ограничению распространения ОФП, т. е. вероятность эффективной работы равна нулю, то и общая

вероятность эффективной работы рассматриваемой преграды будет равна нулю, как это принято на сегодняшний день при построении возможных сценариев развития пожара.

Существенно упростить ситуацию могло бы условие рассмотрения вероятности распространения пожара за границы помещения только в пределах этажа, за исключением подвала и чердака, поскольку оценить последствия, например, потери целостности или теплоизолирующей способности перекрытия с точки зрения динамики ОФП достаточно сложно, тогда как для перегородки помещения можно принять допущение, что она в пределах этажа обрушивается.

Оценить применение водяных завес в качестве заполнения проемов или противопожарных преград значительно проще, поскольку их устройство аналогично установкам автоматического пожаротушения, следовательно, вероятность эффективной работы может быть принята равной 0,9 [3, 4]. Если применяется более сложное техническое решение, например водяная завеса с противодымными шторами или противопожарный тамбур-шлюз, то необходимо проводить оценку надежности совокупности устройств. Так, например, вероятность надежной работы тамбур-шлюза 1-го или 2-го типа $R_{тш}$ с подпором воздуха при пожаре будет определяться выражением

$$R_{тш} = 1 - (1 - R_{обн} R_{ПДВ})(1 - R_{огр})^2, \quad (24)$$

где $R_{обн}$ — вероятность эффективного срабатывания системы пожарной сигнализации;

$R_{ПДВ}$ — условная вероятность эффективного срабатывания системы вытяжной противодымной вентиляции в случае эффективного срабатывания системы пожарной сигнализации.

Таким образом, вероятность исключения распространения пожара через нормально эксплуати-

руемый тамбур-шлюз 1-го типа с подпором воздуха составит:

$$R_{тш} = 1 - (1 - 0,8 \cdot 0,8) \cdot (1 - 0,6)^2 \approx 0,94.$$

Логика формулы (24) проста: в качестве допущения принято условие, при котором каждый элемент технического решения в отдельности может обеспечить ограничение распространения ОФП на начальной стадии развития пожара. Следовательно, тамбур-шлюз не выполнит задачу, если откажут все входящие в его конструкцию основные элементы. Если развивать данное направление оценки, то для разных решений можно ввести различные показатели надежности, способствуя тем самым внедрению наиболее эффективных. В действительности, любое техническое решение можно представить в виде произведения коэффициента, характеризующего эффективность выполнения системой своих функций в случае технической исправности, и вероятности надежной работы. В приведенных выше формулах и рассуждениях коэффициент эффективности выполнения функций принят равным единице, а определение его величины для каждого технического решения является трудоемкой, но вполне выполнимой задачей.

В качестве примера рассмотрим уже упомянутое выше двухэтажное административно-бытовое здание, оборудованное АПС и СОУЭ, с подвалом и чердаком, с коридором без естественного освещения через проем в наружных стенах, с круглосуточным пребыванием людей.

Для начала в качестве сравнения проведем вычисления по действующей методике [3, 4], которая после проведения анализа пожарной опасности предполагает определение перечня расчетных сценариев и вычисление необходимого и расчетного времени эвакуации. В целях упрощения примера предположим, что условие безопасной эвакуации выполняет-

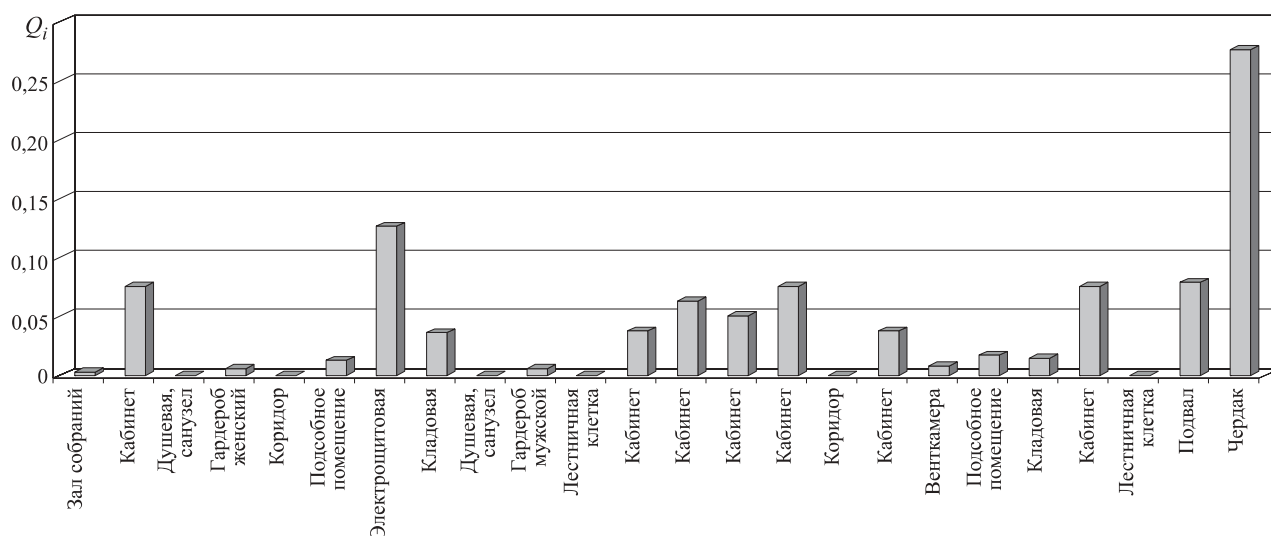


Рис. 5. Диаграмма вероятностей возникновения пожара в помещениях здания

ся. Тогда вероятность эвакуации равна максимальному возможному значению — 0,999. При этом примем, что расчетное время эвакуации с учетом времени до начала эвакуации не превышает 5 мин. Определим величину индивидуального пожарного риска по формуле (13), принимая во внимание, что устройство АУП согласно [7] на объекте не требуется, а устройство ПДВ согласно [9] для коридоров без естественного освещения длиной более 15 м необходимо предусматривать. Тогда

$$Q_v = 4 \cdot 10^{-2} \cdot (1 - 0,9) \cdot 1 \cdot (1 - 0,999)(1 - 0,64) \approx 1,44 \cdot 10^{-6}.$$

Полученная величина хотя и несущественно, но превышает нормативное значение. Чтобы расчетная величина соответствовала нормативной, необходимо устройство системы ПДВ. Таким образом, для рассматриваемого объекта, являющегося относительно простым, реализовать “гибкий” подход к нормированию и расчетным путем обосновать отсутствие ПДВ с помощью иных технических решений не представляется возможным.

Расчет в соответствии с предлагаемой методикой также предполагает определение перечня расчетных сценариев и вычисление необходимого и расчетного времени эвакуации, после чего рассчитываются вероятности возникновения пожара (см. табл. 3) и строится диаграмма (рис. 5), позволяющая сопоставить полученные результаты.

По диаграмме видно, что наибольшую вероятность возникновения пожара имеют помещения электрощитовой, подвала, чердака и несколько кабинетов. Теперь рассмотрим каждое из них.

Согласно проекту (или фактическому состоянию) помещение электрощитовой выгорожено кирпичными перегородками толщиной 120 мм; проем заполнен противопожарной дверью огнестойкостью EI 30 с ресурсом 200 тыс. циклов; посещается относительно редко. По формуле (22) определим вероятность эффективной защиты преградой:

$$R_{огр} = \exp \left\{ - \left(\frac{5}{150} + \frac{0,365 \cdot 1}{200} + \frac{5}{30} \right) \right\} \approx 0,82.$$

Подвал отделен от остальной части здания железобетонным перекрытием, имеющим предел огнестойкости REI 60; проемов в указанной конструкции нет; непосредственное сообщение с надземными этажами не предусмотрено. Следовательно, воспользуемся формулой (18):

$$P_{пр} = e^{-5/60} \approx 0,92.$$

Пожар, происшедший на чердаке здания, может распространиться в коридор в случае разрушения (повреждения) перекрытия либо на лестничную клетку через проем в стене лестничной клетки, заполненный противопожарной дверью. Из двух пред-

ставленных путей развития пожара следует принимать тот, который возможен с наибольшей вероятностью (наименьшей вероятностью эффективного срабатывания противопожарной защиты). Для распространения ОФП через перекрытие, не имеющее люков, можно принять величину, определенную в случае с подвалом, т. е. 0,92, поскольку техническое решение аналогично.

Противопожарная дверь 2-го типа с ресурсом 200 тыс. циклов предусмотрена в кирпичной стене лестничной клетки толщиной 250 мм, предел огнестойкости которой составляет не менее 330 мин [10]. Следовательно, воспользуемся формулой (22):

$$R_{огр} = \exp \left\{ - \left(\frac{5}{60} + \frac{0,365 \cdot 1}{200} + \frac{5}{30} \right) \right\} \approx 0,83.$$

Из двух полученных для чердака значений (0,92 и 0,83) примем наименьшее. Следовательно, вероятность исключения распространения пожара из помещений коридора на пути эвакуации составит 0,83.

С целью выполнения требований нормативных документов по пожарной безопасности подсобное помещение (поз. 6), кладовая (поз. 8), венткамера (поз. 18), подсобное помещение (поз. 19) и кладовая (поз. 20) выгораживаются аналогично электрощитовой, рассмотренной выше (табл. 9).

Таким образом, вероятность воздействия ОФП на эвакуирующихся снижается практически в 2 раза. Определим величину индивидуального пожарного риска по формуле (15), проведя предварительно некоторые преобразования:

$$\begin{aligned} Q_v &= \sum_{i=1}^n \left[Q_i P_{пр i} \prod_{j=1}^{j=a_i} (1 - R_j) \right] (1 - P_{э i}) (1 - K_{п.э i}) = \\ &= P_{пр i} \sum_{i=1}^n \left[Q_i \prod_{j=1}^{j=a_i} (1 - R_j) \right] (1 - P_{э i}) (1 - K_{п.э i}) = \\ &= 1 \cdot [2,1 \cdot 10^{-2}] \cdot (1 - 0,999) \cdot (1 - 0,64) \approx 0,76 \cdot 10^{-6}. \end{aligned}$$

Как видим, полученное значение удовлетворяет нормативному. При этом вместо устройства дополнительных автоматических систем достаточно учесть существующие объемно-планировочные и конструктивные решения. Более того, если комплекс мероприятий разрабатывать для достижения величины риска 10^{-6} , то для данного здания часть объемно-планировочных решений может быть не выполнена.

В рамках данной работы умышленно упущен вопрос о расчете риска для помещения, в котором случился пожар, поскольку это — тема для отдельной статьи, требующая дополнительной проработки. В число факторов, используемых при определении вероятности возникновения пожара, не включено количество людей, хотя согласно статистике человеческий фактор является основным. Во-первых, площадь помещения в некотором смысле учитывает этот

Таблица 9. Результаты расчета вероятности возникновения пожара в различных помещениях административного здания

№ поз.	Наименование помещения	Вероятность возникновения пожара, год ⁻¹	Вероятность эффективной работы технического решения	Вероятность распространения пожара за пределы помещения, год ⁻¹
1	Зал собраний	$1,04 \cdot 10^{-4}$	0	$1,04 \cdot 10^{-4}$
2	Кабинет	$3,02 \cdot 10^{-3}$	0	$3,02 \cdot 10^{-3}$
4	Гардероб женский	$2,33 \cdot 10^{-4}$	0	$2,33 \cdot 10^{-4}$
6	Подсобное помещение	$5,13 \cdot 10^{-4}$	0,82	$9,23 \cdot 10^{-5}$
7	Электрощитовая	$5,06 \cdot 10^{-3}$	0,82	$9,1 \cdot 10^{-4}$
8	Кладовая	$1,45 \cdot 10^{-3}$	0,82	$2,61 \cdot 10^{-4}$
10	Гардероб мужской	$2,33 \cdot 10^{-4}$	0	$2,33 \cdot 10^{-4}$
12	Кабинет	$1,51 \cdot 10^{-3}$	0	$1,51 \cdot 10^{-3}$
13	Кабинет	$2,52 \cdot 10^{-3}$	0	$2,52 \cdot 10^{-3}$
14	Кабинет	$2,01 \cdot 10^{-3}$	0	$2,01 \cdot 10^{-3}$
15	Кабинет	$3,02 \cdot 10^{-3}$	0	$3,02 \cdot 10^{-3}$
17	Кабинет	$1,51 \cdot 10^{-3}$	0	$1,51 \cdot 10^{-3}$
18	Венткамера	$3,16 \cdot 10^{-4}$	0,82	$5,68 \cdot 10^{-5}$
19	Подсобное помещение	$6,83 \cdot 10^{-4}$	0,82	$1,23 \cdot 10^{-4}$
20	Кладовая	$5,8 \cdot 10^{-4}$	0,82	$1,04 \cdot 10^{-4}$
21	Кабинет	$3,02 \cdot 10^{-3}$	0	$3,02 \cdot 10^{-3}$
	Подвал	$3,15 \cdot 10^{-3}$	0,92	$2,52 \cdot 10^{-4}$
	Чердак	$1,11 \cdot 10^{-2}$	0,83	$1,88 \cdot 10^{-3}$
	Итого:	$4 \cdot 10^{-2}$		$2,1 \cdot 10^{-2}$

фактор, поскольку количество людей может быть прямо пропорционально его площади. Во-вторых, практика применения методики в редакции [3] показала, что зачастую искусственное занижение количества людей, присутствующих на объекте, уменьшало вероятность возникновения пожара на объекте в целом. Иначе говоря, расчетная величина риска попросту подгонялась под нормативную. Площадью помещения в данном случае варьировать сложнее; не повлияет на величину пожарного риска и условное дробление или укрупнение помещений.

Есть ряд вопросов, относительно которых у специалистов могут быть различные мнения: например, действительно ли стоит исключать помещения, в которых по статистике пожары все-таки происходят (коридор, санузел и т. п.), хотя согласно [3, 4] рассматриваются только те помещения, где предусматривается размещение горючей нагрузки. В этом случае возможно введение коэффициента (аналогичного вероятности эффективной защиты какого-либо технического решения), характеризующего соблюдение правил противопожарного режима.

Предлагаемый способ, конечно, далек от совершенства и предполагает лишь некий компромисс с действующей ныне методикой расчета риска; ряд принципиальных противоречий не устранен по-прежнему, особенно в свете последних изменений [4]. Кроме того, предлагаемый способ увеличивает трудоемкость проведения расчетов, однако, в действительности, это требует лишь более квалифицированного подхода и больших затрат времени. Так, для объекта средних размеров оценка вероятности возникновения пожара займет не больше часа. Трудоемкость работы над каждым объектом действительно увеличится, но зато возникнет возможность применить и учесть целый ряд технических решений, ранее вообще не принимавшихся во внимание. И вместо того чтобы различными “мошенническими” уловками подгонять расчетную величину к требуемой и нести потом за это ответственность, более целесообразно предложить собственнику ограниченное число эффективных мероприятий, которые будут выполнены с большей вероятностью, нежели оборудование объекта установкой дымоудаления, пожаротушения и т. п. Кроме того, для вероятности эффективной работы каких-либо технических решений можно условно (или посредством проведения иной оценки) установить и более высокие значения, чтобы повысить привлекательность их внедрения. В этом случае представляется возможным заменить устройство АУП набором менее затратных объемно-планировочных и конструктивных решений.

Многие специалисты могут отметить, что указанный способ увеличит и количество расчетных сценариев, которые необходимо учитывать. Однако, во-первых, для промышленных объектов уже сложилась аналогичная ситуация (если не более сложная), при которой необходимо учитывать каждую единицу оборудования и полный перечень последствий; во-вторых, подобный способ вследствие большей детальности позволяет учесть широкий спектр отступлений и предлагаемых технических решений.

Предлагаемый способ реализован в виде программного обеспечения и на сегодняшний день используется на кафедре пожарной автоматики в дипломном проектировании в качестве альтернативной оценки индивидуального пожарного риска в учебных целях, а также для накопления опыта использования данного способа с целью его дальнейшего совершенствования.

В целом предлагаемый способ позволяет осуществить внедрение противопожарных мероприятий именно в тех случаях, в которых они будут наиболее эффективны, что, в свою очередь, повышает гибкость системы нормирования и обеспечивает возможность выстроить оптимальную систему противопожарной защиты объекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О техническом регулировании : Федер. закон от 27.12.2002 г. № 184-ФЗ; принят Гос. Думой 15.12.2002 г.; одобрен Сов. Федерации 18.12.2002 г. // Российская газета. — 2002. — № 245.
2. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ; принят Гос. Думой 04.07.2008 г.; одобрен Сов. Федерации 11.07.2008 г. // Собр. законодательства РФ. — 2008. — № 30 (ч. I), ст. 3579.
3. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности : приказ МЧС России от 30.06.2009 г. № 382; введ. 30.06.2009 г. — М. : ВНИИПО МЧС России, 2009.
4. Изменения, вносимые в методику определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности, утвержденную приказом МЧС России от 30.06.2009 г. № 382 : приказ МЧС России от 12.12.2011 г. № 749; введ. 12.12.2011 г. — М. : ВНИИПО МЧС России, 2011.
5. Пожары и пожарная безопасность в 2011 году : статистический сборник / Под общ. ред. В. И. Климкина. — М. : ВНИИПО МЧС России, 2012. — 137 с.
6. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах : приказ МЧС России от 10.07.2009 г. № 404; введ. 10.07.2009 г. — М. : ВНИИПО МЧС России, 2009.
7. СП 5.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования : приказ МЧС России от 25.03.2009 г. № 175; введ. 01.05.2009 г. — М. : ВНИИПО МЧС России, 2009.
8. Проектирование, испытание и оценка огнестойкости противопожарных дверей : рекомендации. — Введ. 01.01.90 г. — М. : ВНИИПО МВД СССР, 1990.
9. СП 7.13130.2009. Отопление, вентиляция и кондиционирование. Противопожарные требования : приказ МЧС России от 25.03.2009 г. № 177; введ. 01.05.2009 г. — М. : ВНИИПО МЧС России, 2009.
10. *Ройтман В. М.* Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий. — М. : Асс. "Пожнаука", 2001. — 382 с.

Материал поступил в редакцию 18 октября 2012 г.

English

OPTIMIZATION OF SYSTEM OF FIRE-PREVENTION PROTECTION OF OBJECT BY MEANS OF THE DIFFERENTIATED ASSESSMENT OF PROBABILITY OF EMERGENCE OF A FIRE

KORNILOV Aleksey Aleksandrovich, Chief Lecturer, Ural State Fire Service
Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg 620062, Russian Federation;
e-mail address: kornilov_alexei1@mail.ru)

ABSTRACT

The method of calculation of risk existing today for public buildings considers very limited circle of technical solutions. Space-planning and constructive decisions are considered only when forecasting dangerous factors of a fire. In this regard, introduction of similar actions when carrying out calculation isn't taken into account. Besides, the existing technique contains limited amount of information about probability of emergence of a fire on various objects. Thus characteristics of concrete object aren't taken into account. In this work the way of definition of probability of emergence of a fire in each concrete room of the building depending on its area and fire danger is offered. The simplified way of an assessment of efficiency of application of fire-prevention barriers is considered. The offered way allowed to estimate need of the device of fire-prevention barriers or other fire-prevention actions for the concrete room, and also to determine the size of fire risk for the building as a whole. Application of this way provides opportunity to build the optimum fire protection system of object.

Keywords: fire risk; probability of emergence of a fire.

REFERENCES

1. O tekhnicheskoy regulirovani: Feder. zakon ot 27.12.2002 № 184-FZ [On technical regulation. Law of Russian Federation on 27.12.2002 No. 184-FZ]. *Rossiyskaya gazeta — Russian Newspaper*, 2002, no. 245.
2. *Tekhnicheskyy reglament o trebovaniyakh pozharnoy bezopasnosti: Feder. zakon ot 22.07.2008 № 123-FZ* [Technical Regulations on Fire Safety. Law of Russian Federation on 22.07.2008 No. 123-FZ]. *Sobraniye zakonodatelstva RF* [Collection of Laws of the Russian Federation], 2008, no. 30 (part I), art. 3579.
3. *Metodika opredeleniya raschetnykh velichin pozharnogo riska v zdaniyakh, sooruzheniyakh i stroyeni-yakh razlichnykh klassov funktsionalnoy pozharnoy opasnosti: prikaz MChS Rossii ot 30.06.2009 № 382* [Technique of determination of settlement sizes of fire risk in buildings, constructions and structures of various classes of functional fire danger. Order of Emercom of Russia on 30.06.2009 No. 382]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2009.
4. *Izmeneniya, vnosimyye v metodiku opredeleniya raschetnykh velichin pozharnogo riska v zdaniyakh, sooruzheniyakh i stroyeni-yakh razlichnykh klassov funktsionalnoy pozharnoy opasnosti, utverzhdenuyu prikazom MChS Rossii ot 30.06.2009 № 382: prikaz MChS Rossii ot 12.12.2011 № 749* [The changes made to a technique of determination of settlement sizes of fire risk in buildings, constructions and structures of various classes of the functional fire danger, approved by the order of Emercom of Russia on 30.06.2009 No. 382. Order of Emercom of Russia on 12.12.2011 No. 749]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2011.
5. Klimkin V. I. (ed.). *Pozhary i pozharnaya bezopasnost v 2011 godu: statisticheskiy sbornik* [Fires and fire safety in 2011. Statistical collection]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2012. 137 p.
6. *Metodika opredeleniya raschetnykh velichin pozharnogo riska na proizvodstvennykh ob'yektakh: prikaz MChS Rossii ot 10.07.2009 № 404* [Technique of determination of settlement sizes of fire risk on production objects. Order of Emercom of Russia on 10.07.2009 No. 404]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2009.
7. *SP 5.13130.2009. Sistemy protivopozharnoy zashchity. Ustanovki pozharnoy signalizatsii i pozharo-tusheniya avtomaticheskoye. Normy i pravila proyektirovaniya* [Sets of rules No. 5.13130.2009. Systems of fire protection. Automatic fire-extinguishing and alarm systems. Designing and regulations rules]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2009.
8. *Proyektirovaniye, ispytaniye i otsenka ognestoykosti protivopozharnykh dverey* [Design, test and assessment of fire resistance of fire-prevention doors]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Minister of Interior of USSR, 1990.
9. *SP 7.13130.2009. Otopleniye, ventilyatsiya i konditsionirovaniye. Protivopozharnyye trebovaniya* [Sets of rules No. 7.13130.2009. Heating, ventilation and conditioning. Fire requirements]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2009.
10. Roytman V. M. *Inzhenernyye resheniya po otsenke ognestoykosti proyektiruyemykh i rekonstruiruyemykh zdaniy* [Engineering decisions on an assessment of fire resistance of projected and reconstructed buildings]. Moscow, Pozhnauka Publishing House, 2001. 382 p.

Из пожарно-технического энциклопедического словаря

ПОМЕЩЕНИЕ БЕЗ ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ — помещение (в том числе коридор), не имеющее окон или световых проемов в наружных ограждающих строительных конструкциях.

ПОМЕЩЕНИЕ С МАССОВЫМ ПРЕБЫВАНИЕМ ЛЮДЕЙ — помещение (залы и фойе театров, кинотеатров, залы заседаний, совещаний, лекционные аудитории, рестораны, вестибюли, кассовые залы, производственные и др.) площадью 50 м² и более с постоянным или временным пребыванием людей (кроме аварийных ситуаций) числом более одного человека на 1 м² площади помещения.

ПОСТОЯННОЕ РАБОЧЕЕ МЕСТО — место, где люди работают более 2 ч непрерывно или более 50 % рабочего времени.



Пенообразователи

Шторм

Точный расчет на безопасность!

РЕКЛАМА

Шторм-ОН — синтетический углеводородный пенообразователь общего назначения. Основная область применения: для нужд пожарных бригад в городах, для тушения лесов, деревянных строений, торфяников. Относится к биологически маловредным средствам (БИО). Срок годности пенообразователя до 5 лет, после чего необходимо либо проводить дополнительные исследования, либо использовать его для учений.

ГФЭКТ

НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ КОМПАНИЯ

Тел.: (495) 995-82-72

www.gefestnpg.ru

www.shtpena.ru



29 мая – 31 мая 2013

0+

VIII специализированный форум-выставка

АНТИТЕРРОР

современные
системы
безопасности

**ГЛАВНАЯ СИБИРСКАЯ
ПЛОЩАДКА БЕЗОПАСНОСТИ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ**



**Технологии,
системы и техника в**

- промышленной
 - пожарной
 - информационной
 - общественной
- БЕЗОПАСНОСТИ**

а также:

- защита территории и населения при ЧС
- экипировка и средства индивидуальной защиты

Организаторы:



Администрация
Губернатора
Краснодарского края,
Правительство
Краснодарского края



Антитеррористическая
комиссия
Краснодарского края



Шенхайская
организация
сотрудничества



Администрация
города Краснодара



Выставочная компания
«Краснодарская ярмарка»

Партнер выставки



Генеральный информационный партнер



Информационная поддержка



РЕКЛАМА

МВДЦ «Сибирь», ул. Авиаторов, 19
тел.: (391) 22-88-603, 22-88-611 – круглосуточно
ccb@krasfair.ru, www.krasfair.ru



сибирь
международный
выставочно-деловой центр
имени Карена Мурадяна

А. Н. БОЧКАРЕВ, доцент, Московский государственный технический университет гражданской авиации (Россия, 125493, г. Москва, Кронштадтский б-р, 20; e-mail: markvort@mail.ru)

И. А. БОЧКАРЕВ, аспирант механического факультета, Московский государственный технический университет гражданской авиации (Россия, 125493, г. Москва, Кронштадтский б-р, 20)

УДК 658/562:621.396:681.5

КОМПЛЕКСНЫЕ СИСТЕМЫ И МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВИАЦИОННОЙ И ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОБЪЕКТАХ ТРАНСПОРТА

Рассмотрена многоуровневая система обеспечения безопасности объектов воздушного транспорта, включающая комплексные методы, средства и системы защиты объектов от пожаров и взрывов. Подробно освещены вопросы предотвращения чрезвычайных ситуаций, связанных с возникновением пожаров и обеспечением пожаровзрывобезопасности на воздушных судах. Сформулированы общие технические условия и принципы, предъявляемые к современной системе организации защиты от пожаров и взрывов объектов гражданской авиации.

Ключевые слова: анализ процедур и процессов; информационное обеспечение; предотвращение угроз; авиационная безопасность.

В настоящее время, как показывает обзор и анализ мер по ликвидации и предупреждению чрезвычайных ситуаций на воздушном транспорте, необходимо широко внедрять современные комплексные системы, средства и методы обеспечения авиационной и пожарной безопасности [1, 2]. Рассмотрим некоторые из чрезвычайных ситуаций.

В аэропорту Сургута 1 января 2011 г. сгорел самолет Ту-154Б, принадлежавший ООО “Авиакомпания “Когалымавиа”, который выполнял рейс Москва – Сургут. Пожар, вспыхнувший в самолете из-за замыкания в электрооборудовании (на правой панели генераторов), перекинулся на пассажирский салон. В результате пожара на воздушном судне (ВС) погибли трое пассажиров, около 40 чел. получили травмы различной степени при эвакуации из самолета. Благодаря действиям резервного экипажа, находившегося на борту ВС, удалось избежать более тяжелых последствий.

19 декабря 2011 г. полностью сгорел пассажирский терминал и здание аэродромно-диспетчерского пункта аэропорта “Черемшанка” (см. рисунок), расположенный в 35 км от Красноярска в Емельяновском районе и введенный в эксплуатацию в 1988 г. Аэродром класса “Г” был способен обслуживать воздушные суда типа Ан-2, Ан-24, Ан-32, Ан-74, Ан-12, Як-40 и др. Пропускная способность пассажирского аэровокзала — 400 пассажиров в час. Аэропорт в основном обслуживал грузовые, а также местные пассажирские перевозки в труднодоступные, северные районы края, обеспечивая авиаперевозки работников Ванкорского нефтяного месторождения и Богучанской ГЭС. В результате пожара был нанесен

существенный материальный ущерб для гражданской авиации (ГА) края.

Эти трагедии вновь показали, что обеспечению пожарной и авиационной безопасности в ГА должно уделяться самое пристальное и постоянное внимание. И самое главное, должен проводиться тщательный анализ всех ЧП, чтобы исключить человеческий фактор и не допускать нарушений правил пожарной и авиационной безопасности (ПБ и АБ) в дальнейшем.



Пожар в аэропорту “Черемшанка” в Красноярском крае

После ЧП в аэропорту Сургута у надзорных органов возникли некоторые вопросы к работе пожарно-спасательной команды (ПСК) СПАСОП ОАО “Аэропорт Сургут” (численностью 81 чел. по штатному расписанию). Видеокадры с места горения ВС показали нерешительность действий ПСК по тушению пожара. Кроме того, по мнению надзорных органов, пожарные расчеты располагались не в должной близости к взлетной полосе, а противопожарное оборудование не проходило необходимого контроля. Отмечалось также, что пожарно-спасательной командой аэропорта была выбрана неверная тактика тушения пожара на самолете. К моменту прибытия первых пожарных машин пожар на самолете был внутрифюзеляжным. Однако выбранная ПСК тактика тушения пожара в первые минуты соответствовала тактике тушения пожаров разлитого под фюзеляжем ВС авиатоплива. Это привело к безрезультатному расходу основного количества огнетушащего вещества (ОТВ) и, как следствие, к общему отрицательному результату тушения. Из 32 т ОТВ около 20 т было израсходовано неэффективно в первые 6 мин с момента начала пожара, а из оставшихся 12 т ОТВ эффективно были израсходованы только 500 л, которые подавались ручным пожарным стволом через открытую вторую дверь левого борта. Указывалось на неправильный выбор исходной позиции пожарного автомобиля № 2 для тушения пожара, а также на значительную задержку в задействовании всех сил и средств: пожарный автомобиль № 2 выдвинулся на боевую позицию только через 3 мин 20 с после прибытия, а активно начал применяться только на 10-й минуте с начала пожара. Вероятно, одной из главных причин того, что аэропорт “Черемшанка” сгорел полностью, является неправильный внутриобъектовый режим на объекте, недостаточная информированность о текущем состоянии ПБ и АБ, отсутствие должной профилактики возгораний и оповещения на объекте, плохая подготовленность персонала к быстрым и решительным действиям по тушению пожара на начальном этапе. Исследованиями и практикой давно доказано, что простым и надежным методом по предупреждению пожаров в пассажирских терминалах является внедрение автоматических систем пожарной сигнализации и водяного пожаротушения. Видимо, в сгоревшем аэропорту Сургута имелись серьезные нарушения внутриобъектового режима, стандартных требований авиационной и пожарной безопасности.

Следует также отметить, что объекты ГА имеют определенную специфику. Так, на борту воздушных судов находится большой спектр горючих материалов, при этом пожарную нагрузку в основном составляют вещества в жидком и твердом состоянии. В системе питания двигателей используется керо-

син, в системе охлаждения двигателей — моторные масла, в гидросистеме — гидрожидкость. Для отделки пассажирских салонов, грузовых отсеков, кабин экипажей широко применяются различные пластмассы и синтетические материалы, продукты разложения которых обладают высокой токсичностью.

Перед началом тушения пожара на воздушном судне следует очень быстро провести разведку пожара. При этом определяются следующие основные факторы: место и характер пожара, наличие людей и степень угрозы им, размер пожара, направление распространения огня, место наибольшей угрозы пожара для фюзеляжа, а также влияние метеословий на развитие пожара.

Одновременно с тушением необходимо обеспечить охлаждение фюзеляжа и крыла самолета пеной или раствором пенообразователя (далее — ПО). Интенсивность подачи раствора на охлаждение должна быть $0,2 \text{ л}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$. На начальном этапе тушения охлаждение целесообразно производить из лафетных стволов пожарных машин, подавая огнетушащее средство на нижние поверхности крыла и фюзеляжа самолета.

Если пожар связан с розливом топлива, подачу струй огнетушащего состава целесообразно производить под острым углом к горячей поверхности, под основание пламени, “подрезая” его. Тушение истекающего из баков и коммуникаций топлива следует начинать с тушения площади, куда истекает струя топлива, а затем перевести струю ОТВ непосредственно на струю истекающего топлива и маневрировать по ней снизу вверх до завершения процесса тушения. При этом поверхность земли в месте истечения струи должна находиться постоянно под контролем огнетушащего состава, чтобы исключить повторное воспламенение. Кроме основного огнетушащего средства — пены низкой кратности, розлив ЛВЖ и ГЖ можно тушить комбинированным способом, используя порошок и пену. Первоначально в зону горения подается порошок. При этом образуется пылевое облако, которое способствует прекращению объемного горения. После подачи порошка необходимо сразу же подать пену низкой кратности для изоляции и охлаждения очага горения.

Тушение пожара внутри фюзеляжа определяется следующими факторами: наличием или отсутствием людей внутри самолета, местом расположения очага пожара, который может быть в пассажирском салоне, кабине экипажа, бытовых помещениях или багажных, грузовых и технических отсеках.

Наиболее сложно тушить пожар при наличии людей в салоне ВС. В этом случае необходимо одновременно обеспечить быстрое вскрытие основных и аварийных выходов, вскрытие конструкции фю-

зеляжа в специально обозначенных местах с целью обеспечения максимально возможной скорости эвакуации людей с воздушного судна.

Основной задачей при тушении пожара является снижение температуры и плотности задымления в салоне, кабине, а также локализация пожара с помощью распыленных струй с высокой дисперсностью, а следовательно, с большей поверхностью теплообмена. Для этого струи следует направлять таким образом, чтобы они защищали людей и негорящую часть отсека от воздействия теплового потока и обеспечивали возможность эвакуации пострадавших в том случае, если вскрыть горящий отсек не представляется возможным. Подачу огнетушащего средства в него осуществляют с помощью ствола-пробойника.

Для тушения пожара внутри фюзеляжа на борт воздушного судна должно подниматься не менее трех специально подготовленных (на полигонах и тренажерах в условиях, приближенных к подобной ЧС) спасателей. Весь личный состав, работающий на борту аварийного судна, должен использовать современные индивидуальные средства защиты. У входа в задымленное помещение следует обязательно создать посты безопасности.

При тушении внутрифюзеляжных пожаров применяют следующие огнетушащие составы: воду (в виде распыленных струй, водного раствора пенообразователя), углекислоту (при отсутствии людей внутри фюзеляжа и высокой степени герметичности горящих отсеков), пену низкой и высокой кратности.

Особенности тушения пожаров силовых установок заключаются в следующем. По прибытии пожарного подразделения к воздушному судну с горящими двигателями необходимо оценить обстановку и расставить пожарные автомобили на исходные позиции, учитывая силу и направление ветра и наиболее опасное направление распространения пожара. При этом необходимо выключить двигатели, так как реактивная струя выхлопных газов представляет серьезную опасность и затрудняет действия личного состава по ликвидации пожара и проведению спасательных работ.

Тушение пожаров двигателей с помощью лафетных стволов малоэффективно, так как огнетушащее средство не попадает во внутренний объем мотогондолы, поэтому тушение следует осуществлять ручными стволами, подавая огнетушащее средство непосредственно в очаг пожара через специальные люки или возможные прогары капотов. Для подачи огнетушащих составов в подкапотное пространство можно использовать стволы-пробойники. Основные огнетушащие составы — пены низкой и средней кратности, порошок, газовые составы (для объемного тушения).

Системы объемного пожаротушения следует использовать немедленно, если есть доступ к горящему двигателю, или после локализации пожара пенными струями.

Если произошло возгорание шасси ВС, то личный состав пожарно-спасательного расчета (ПСР) должен принять все необходимые меры для предотвращения распространения пожара на воздушное судно в целом. Возгорание шасси может произойти при аварийной посадке самолета и связано главным образом с горением трех видов материалов: резины, гидрожидкости и магниевых сплавов. Гидрожидкость, попадая в разогретый до высокой температуры (300–600 °С) тормозной барабан, воспламеняется, что приводит к загоранию резины покрышек колес. Развивающаяся при этом высокая температура может привести к загоранию магниевых сплавов барабанов колес тележки шасси, которое наступает обычно через 6–8 мин с начала пожара. Характерным признаком пожара магниевых сплавов является белое свечение пламени, наличие брызг горящего металла и образование белого плотного дыма. Пожар шасси может привести к взрыву амортизаторов стойки, распространению пожара в гондолу шасси и передаче его на крыло или в фюзеляж самолета в зависимости от конструктивной схемы шасси. Вероятность взрыва пневматиков, амортизационных стоек и гидроаккумуляторов необходимо учитывать при проведении атаки на пожар (действие высокой температуры пожара может привести к взрыву гидроаккумуляторов, которые взрывной волной могут быть отброшены на 100–150 м).

При одновременном горении разлива топлива и магниевых сплавов в первую очередь необходимо воздушно-механической пеной низкой кратности из лафетных стволов потушить разлив топлива, а затем — пожар магниевых сплавов тележки шасси.

Тушение магниевых сплавов достигается огнетушащими средствами, подаваемыми из стволов пожарного автомобиля порошкового или комбинированного тушения. При тушении порошком на горячей поверхности образуется слой спекшейся корочки, который прекращает горение. Затем потушенную поверхность охлаждают раствором пенообразователя или пеной низкой кратности.

Спасание экипажа и пассажиров воздушного судна при пожаре будет наиболее успешным, если время прибытия ПСР и время ликвидации пожара будут минимальными. Это достигается регулярным проведением занятий и тренировок в максимально приближенных к реальным условиям.

Пожарная техника и личный состав ПСР в каждом аэропорту размещаются на аварийно-спасательных станциях (АСС) с круглосуточным графиком работы. Место расположения станций должно обес-

печивать оперативное прибытие расчетов к пассажирским терминалам и торцам взлетной полосы за время, не превышающее 3 мин. Кроме того, АСС должны иметь наблюдательные вышки, дежурные помещения — устойчивую связь (в том числе резервную) со всеми службами аэропорта.

При выборе пенообразователя для тушения ВС следует исходить из требований ИКАО и федеральных норм. Определение пригодности пенообразователей основано на следующих показателях: стойкость пены — не менее 50; минимальная огнетушащая интенсивность подачи ПО — не выше $0,14 \text{ л}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$; стойкость пены средней кратности на бетоне — определяется временем сохранения 90 % первоначальной высоты пенного слоя; огнетушащая эффективность ПО — минимальная огнетушащая интенсивность подачи водного раствора ПО, обеспечивающая ликвидацию горения разлитого под ВС топлива пеной низкой кратности на 90 % в течение не более 60 с.

Следует применять весь комплекс мер по защите ГА от пожаров, а также другие мероприятия, обеспечивающие успешную ликвидацию пожара на объектах воздушного транспорта.

Для успешного тушения пожаров на самолетах следует:

- иметь запасы средств пожаротушения и огнетушащих веществ, для чего произвести необходимые расчеты, результаты которых в виде таблицы хранить в оперативном штабе и пожарной части;
- обучить личный состав пожарной команды и других подразделений, привлекаемых для тушения, приемам и способам борьбы с огнем;
- систематически проводить практические тренировки и учения по боевому развертыванию всех сил и средств в соответствии с планом противопожарной охраны объектов ГА;
- проводить учения (пожарные тревоги) по отработке минимального времени прибытия пожарных нарядов и других подразделений к месту пожара, что достигается четким и быстрым сбором личного состава, следованием к месту пожара кратчайшим путем;
- содержать пожарные автомобили, тепловые машины, азотные автомобили и другие средства в

технически исправном состоянии, а при выходе их из строя немедленно устранять неисправности;

- при проведении полетов держать тепловые и азотные автомобили вблизи ВПП и руководителя полетами с целью обеспечить их быстрое прибытие к месту пожара;
- для отработки практических задач по тушению реальных очагов пожаров на каждом объекте ГА оборудовать полигоны или площадки, учебно-тренировочные городки с целью выработки у личного состава пожарных команд высоких волевых и психологических качеств;
- изучать с личным составом, участвующим в тушении, основы горения, пожарную опасность веществ и материалов, а также способы и методы прекращения горения при помощи различных огнетушащих веществ;
- для оперативности руководства тушением не допускать вмешательства в действия руководителя пожаротушения (РТП) посторонних лиц; обеспечить его бесперебойно работающей радиосвязью и электромегафонами;
- для использования всех сил и средств, прибывающих на место пожара, и правильного руководства ими выработать условные сигналы и команды, дублирующие звуковые команды, так как последние могут заглушаться работой авиадвигателей от тепловых машин и самолетов;
- изучить схемы аэродрома и зоны подъезда автомобилей, подхода воздушных судов, расположения источников водоснабжения, тактические характеристики пожарных автомобилей и других технических средств пожаротушения.

Только при неукоснительном выполнении всех требований ИКАО и установленных федеральных правил авиационной и пожарной безопасности, и особенно внутриобъектового и противопожарного режима, можно успешно противодействовать возникновению и развитию пожаров на объектах ГА. Комплексный подход к обеспечению авиационной и пожарной безопасности сохранит дорогостоящую технику, оборудование, здания, сооружения, обеспечит безопасность людей и надежную работу объектов воздушного транспорта в современных условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О создании комплексной системы обеспечения безопасности населения на транспорте : Указ Президента РФ от 31.03.2010 г. № 403; введ. 31.03.2010 г. // Российская газета. — Федер. вып. № 5149 (05.04.2010 г.). URL : www.rg.ru/2010/04/05/bezopan-transport-dok.html.
2. Черток В. Б. О мерах по повышению эффективности надзора за деятельностью в гражданской авиации. — М. : Ространснадзор, 2010.

Материал поступил в редакцию 15 декабря 2012 г.

COMPLEX SYSTEMS AND METHODS FOR AVIATION SECURITY AND FIRE SAFETY AT SITES OF TRANSPORT

BOCHKAREV Aleksandr Nikolayevich, Associate Professor,
Moscow State Technical University of Civil Aviation
(Kronshtadtskiy Parkway, 20, Moscow 125493, Russian Federation;
e-mail address: markvort@mail.ru)

BOCHKAREV Ilya Aleksandrovich, Postgraduate Student of Mechanical
Faculty, Moscow State Technical University of Civil Aviation
(Kronshtadtskiy Parkway, 20, Moscow 125493, Russian Federation)

ABSTRACT

Protection equipment for aircrafts included into a multilevel safety system is considered. Issues of application of explosive and other hazardous materials and items as sabotage means in aircrafts are covered in details. General technical requirements to explosion protection of the aircrafts are stated. The work is of interest for specialists in the field of air transport safety and safety of other potentially dangerous and strategic facilities. Questions of protection of an air vessel, and also necessity of development and introduction of new organizational actions, methods and means of protection of an air vessel from the certificates of illegal intervention connected with application of an explosive onboard. The questions of threat prevention of application as means of diversions explosive, poisonous and poison substances on objects of civil aircraft are considered. Concerning international cooperation of Russia with ICAO and IATA in aviation security and services to passengers in air transport. Processing, analyzing, and classification on obtained information about discovered deficiency in aviation security system.

Keywords: analysis of procedures and processes; information support; prevention of a danger; aviation security.

REFERENCES

1. O sozdanii kompleksnoy sistemy obespecheniya bezopasnosti naseleniya na transporte: Ukaz Prezidenta RF ot 31.03.2010 № 403 [About Creation of Complex System of Transport Security: Decree of President of the Russian Federation No. 403 from March 31, 2010]. *Rossiyskaya gazeta* — *Russian Newspaper*, Federal vypusk no. 5149 (05.04.2010). Available at: www.rg.ru/2010/04/05/bezopan-transport-dok.html.
2. Chertok V. B. *O merakh po povysheniyu effektivnosti nadzora za deyatelnostyu v grazhdanskoy aviatsii* [About steps of increase effectiveness of supervision in civil aviation]. Moscow, Rostransnadzor Publ., 2010.

Из пожарно-технического энциклопедического словаря

ЛАФЕТНЫЙ ПОЖАРНЫЙ СТОЛ — поворотный в вертикальной и горизонтальной плоскостях пожарный ствол, монтируемый на опоре. Лафетные пожарные стволы подразделяют на стационарные, монтируемые на пожарном автомобиле; возимые; переносные. В зависимости от функциональных возможностей лафетные пожарные стволы маркируются индексом “У” (универсальный) и имеют возможность формирования сплошной и распыленной с изменяемым углом факела струи воды, а также струи воздушно-механической пены. Стволы без индекса “У” позволяют формировать только сплошную струю воды или воздушно-механической пены. Лафетные пожарные стволы изготавливают как с дистанционным, так и с местным ручным управлением.

РАСЧЕТНОЕ КОЛИЧЕСТВО ОГНЕТУШАЩЕГО ВЕЩЕСТВА — количество огнетушащего вещества, определенное в соответствии с требованиями нормативных документов и готовое к немедленному применению в случае возникновения пожара.

РЕЗЕРВ ОГНЕТУШАЩЕГО ВЕЩЕСТВА — требуемое количество огнетушащего вещества, готовое к немедленному применению в случаях повторного воспламенения или невыполнения установкой пожаротушения своей задачи.

С. В. ШАРХУН, старший преподаватель кафедры пожарной безопасности в строительстве, Уральский институт Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22; e-mail: s_sharhun@mail.ru)

УДК 614.849

СРЕДСТВА ОПОВЕЩЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ЭВАКУАЦИЕЙ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРЕ НА ОСНОВЕ СЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Дана классификация систем оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Выявлены основные достоинства и недостатки существующих систем. Предложен дополнительный способ оповещения людей с использованием локально-вычислительной сети, дублирующей имеющиеся в зданиях системы. Показано, что основным результатом применения данного способа является уменьшение времени начала эвакуации людей из здания за счет сокращения времени на принятие решения об эвакуации.

Ключевые слова: эвакуация людей при пожаре; система оповещения и управления эвакуацией при пожаре; время начала эвакуации; сетевые технологии; программный комплекс; локально-вычислительная сеть; персональный компьютер; сервер.

В последние годы в крупных городах России появляется все больше зданий многофункционального назначения и повышенной этажности. Соответственно увеличивается и общая площадь этих зданий, и количество пребывающих в них людей. В связи с этим при возникновении ЧС в таких зданиях может возрасти количество пострадавших. Обеспечение безопасности граждан, в том числе пожарной, — основная функция государства. По статистике наиболее частой чрезвычайной ситуацией в настоящее время является пожар. При этом существует два способа защиты людей от опасных факторов пожара (ОФП): устранение действия ОФП; эвакуация людей в безопасную зону.

Зачастую время нарастания ОФП до значений, способных причинить вред жизни и здоровью людей, составляет считанные минуты; за это время пожарные подразделения не в состоянии провести спасательные работы и работы по тушению пожара.

В свою очередь, своевременность и быстрота эвакуации зависят от ряда факторов: времени получения сообщения о начале эвакуации, знания и правильного выбора пути эвакуации, скорости передвижения, состояния путей эвакуации, социальной группы эвакуируемых и т. д. Минимизировать время эвакуации призваны системы оповещения и управления эвакуацией при пожаре (СОУЭ). СОУЭ — комплекс организационных мероприятий и технических средств, предназначенный для своевременного сообщения людям информации о возникновении пожара, необходимости эвакуироваться, путях и очередности эвакуации [1].

В зависимости от способа оповещения, деления здания на зоны оповещения и других характеристик СОУЭ подразделяются на пять типов, приведенных в таблице. В п. 7 СП 3.13130.2009 [2] изложены требования пожарной безопасности по оснащению зданий (сооружений) различными типами систем оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре.

Однако, как показывает статистика, во время эвакуации люди не всегда знают и (или) соблюдают установленный порядок ее проведения. Всем известны печальные последствия пожара в здании Промстой-проекта в г. Владивостоке, и таких примеров можно привести немало.

В целях обеспечения кратчайшего пути эвакуации к безопасному выходу и разделения людских потоков можно использовать и другие средства оповещения, в том числе дополняющие и дублирующие СОУЭ.

Сущность предлагаемого способа оповещения (рис. 1) заключается в том, что при проектировании и прокладке локально-вычислительной сети в административных (офисных) зданиях предусматривается установка на серверный компьютер программного продукта, позволяющего при получении от приемно-контрольного прибора пожарной сигнализации по средствам линии связи сигнала о пожаре дублировать данный сигнал на все персональные компьютеры, подключенные к локально-вычислительной сети, и блокировать их (для прекращения работы). Это осуществляется путем вывода на монитор сообщения о пожаре и схемы эвакуации из помеще-

Характеристика СОУЭ	Наличие характеристики у СОУЭ типа				
	1	2	3	4	5
1. Способы оповещения:					
а) звуковой (сирена, тонированный сигнал и др.)	+	+	*	*	*
б) речевой (передача специальных текстов)	—	—	+	+	+
в) световой:					
— световые мигающие оповещатели	*	*	*	*	*
— световые оповещатели “Выход”	*	+	+	+	+
— эвакуационные знаки пожарной безопасности, указывающие направление движения	—	*	*	+	*
— световые оповещатели, указывающие направление движения людей, с изменяющимся смысловым значением	—	—	—	*	+
2. Разделение здания на зоны пожарного оповещения	—	—	*	+	+
3. Обратная связь зон пожарного оповещения с помещением пожарного поста – диспетчерской	—	—	*	+	+
4. Возможность реализации нескольких вариантов эвакуации из каждой зоны пожарного оповещения	—	—	—	*	+
5. Координированное управление из одного пожарного поста – диспетчерской всеми системами здания, связанными с обеспечением безопасности людей при пожаре	—	—	—	—	+
Примечание. + — требуется; * — рекомендуется; — — не требуется.					

ния, в котором установлен конкретный персональный компьютер, с указанием ближайшего эвакуационного выхода и дополнительного речевого оповещения через колонки компьютера посредством встроенного в программу аудиомодуля.

Разработанный в Уральском институте ГПС МЧС России программный комплекс способен качественно дополнить СОУЭ. Его реализация предполагает наличие технической и программной составляющих.

Под технической составляющей подразумевается локальная или глобальная сеть любой топологии, имеющая любое количество ПК и сервер обмена

данными, способный принимать сигналы приборов приемно-контрольных пожарных, которая позволяет осуществлять обмен информацией по протоколам TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol).

В программную часть входят следующие составляющие:

- клиентская, устанавливаемая на персональные компьютеры пользователей, с интерфейсом, представленным на рис. 2;
- серверная, устанавливаемая на сервер организации и предназначенная для удаленного запуска клиентской составляющей, с интерфейсом, представленным на рис. 3.

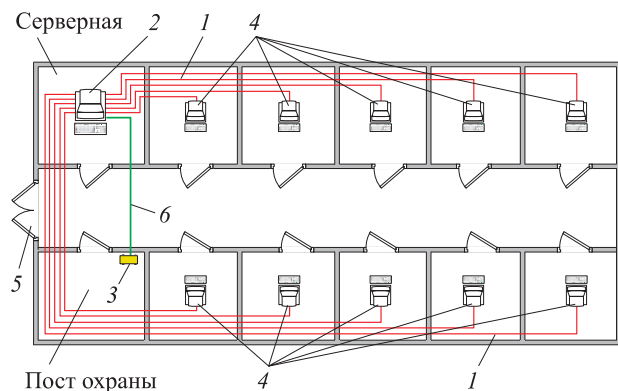


Рис. 1. Структурно-логическая схема способа оповещения людей о пожаре в административных (офисных) зданиях, оборудованных локально-вычислительной сетью: 1 — локально-вычислительная сеть; 2 — серверный компьютер; 3 — приемно-контрольный прибор пожарной сигнализации (ПКПП); 4 — персональный компьютер пользователя; 5 — ближайший эвакуационный выход; 6 — линия связи ПКПП и серверного компьютера

ВНИМАНИЕ!
В здании пожар!!! Немедленно покиньте здание!!!
Ваше местоположение, кратчайший путь эвакуации и ближайший эвакуационный выход представлены на схеме эвакуации

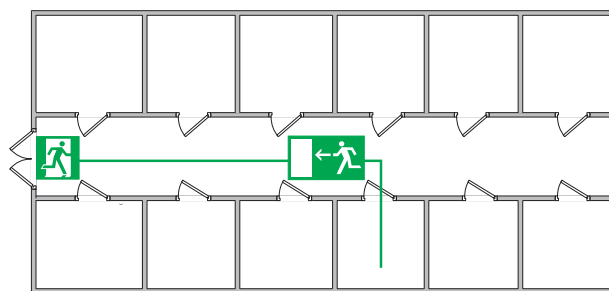


Рис. 2. Интерфейс клиентской части программы (внешний вид рабочего стола заблокированного персонального компьютера)



Рис. 3. Интерфейс серверной части программы

Клиентская часть комплекса по своей сути представляет собой скринсейвер, содержащий план эвакуации с указанием направления движения к ближайшему выходу и инструкцию о действиях по сигналу “Пожар”. При этом информация может быть персонализирована для каждого из пользователей, т. е. вывод плана эвакуации может различаться в зависимости от должности, занимаемой пользователем. Программа при запуске блокирует персональный компьютер, запрещая какие бы то ни было действия даже после принудительной перезагрузки персонального компьютера. Скринсейвер запускается и отключается по команде с сервера, но на случай потери связи с сервером предусмотрено аварийное отключение при помощи ввода пароля.

Серверная часть комплекса представляет собой программное обеспечение, основной функцией которого является запуск клиентской программы в случае необходимости.

Основное достоинство разработанного комплекса заключается в том, что для его внедрения не потребуются больших финансовых вложений. Большинство организаций на сегодняшний день имеют хорошо отлаженную локальную сеть, которая будет являться для него базой. После установки комплек-

са необходимо будет лишь настроить серверную часть программы.

Комплекс адаптивен. Программы написаны на языке Delphi 7.0, что позволяет интегрировать их в сетевую систему не только под управлением операционной системы Windows. Кроме того, имеется возможность персонализации информации, выводимой на экран персонального компьютера пользователя.

В программе реализовано звуковое сопровождение выводимой на экран информации для повышения эффективности работы программы, которое может быть персонализировано.

Данный программный продукт имеет также возможности для его дальнейшего совершенствования. При определенных доработках и введении необходимых данных о планировке здания возможен автоматический выбор пути эвакуации для уменьшения плотности людских потоков, количества их слиний, а также времени задержки эвакуации.

Основным достоинством предлагаемого дополнения к СОУЭ является то, что наиболее безопасный и быстрый путь эвакуации сообщается пользователю сразу, в то время как даже при использовании СОУЭ 5-го типа о дальнейшем направлении эвакуации люди узнают по мере продвижения, что снижает скорость их движения, особенно при большой плотности потока.

Разработанный программный комплекс зарегистрирован в установленном порядке Федеральным институтом промышленной собственности, что подтверждается свидетельством о государственной регистрации [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ; принят Гос. Думой 04.07.2008 г.; одобрен Сов. Федерации 11.07.2008 г. // Собр. законодательства РФ. — 2008. — № 30 (ч. I), ст. 3579.
2. СП 3.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Требования пожарной безопасности. — Утв. приказом МЧС России от 25.03.2009 г. № 173. URL : <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=88242> (дата обращения: 15.11.2012 г.).
3. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре — ПК (“СОУЭ-ПК”) / Шархун С. В. : свид. № 2012617518; правообладатель: Шархун С. В.; заявка № 2012615195; дата поступления 22.06.2012 г.; зарег. в Реестре программ для ЭВМ 20.08.2012 г.

Материал поступил в редакцию 22 ноября 2012 г.

English

TOOLS WARNING AND EVACUATION IN CASE OF FIRE BASED NETWORK TECHNOLOGIES

SHARKHUN Sergey Vladimirovich, Chief Lecturer of Department of Fire Safety in Construction, Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg 620062, Russian Federation; e-mail address: s_sharkhun@mail.ru)

ABSTRACT

Depending on the notification, the division of the building into zones alerts and other characteristics the classification of systems of warning and evacuation in case of fire is given. The main advantages and disadvantages of existing systems are identified. In order to guide the evacuation by the shortest route to a safe exit and separation of flows of people are encouraged to use additional funds warning in case of fire. An additional way to alert people using the local area network backup system available in the buildings is developed. The implementation of this method requires a technical and programmatic components. The main result is to reduce the time the evacuation of people by reducing the time to make a decision to evacuate the building. A key advantage of the proposed addition to the alert system is that the safest and fastest way to escape is reported to the user immediately, while even using public address systems of type 5 and the future direction of evacuation people learn as you go, which reduces the speed of their movement, especially at high flux density.

Keywords: evacuation during a fire; warning system and evacuation in case of fire; start the evacuation; networking; software system; local area network; a personal computer; a server.

REFERENCES

1. *Tekhnicheskiy reglament o trebovaniyakh pozharnoy bezopasnosti: Feder. zakon ot 22.07.2008 № 123-FZ* [Technical Regulations on Fire Safety: Law of Russian Federation on 22. 07. 2008 No. 123-FZ]. *Sobraniye zakonodatelstva RF* [Collection of Laws of the Russian Federation], 2008, no. 30 (part I), art. 3579.
2. *SP 3.13130.2009. Sistemy protivopozharnoy zashchity. Sistema opoveshcheniya i upravleniya evakuatsiyey lyudey pri pozhare. Trebovaniya pozharnoy bezopasnosti* [Sets of rules No. 3.13130.2009. Systems of fire protection. System of annunciation and management of human evacuation at fire. Requirements of fire safety]. Available at: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=88242> (accessed 15 November 2012).
3. Sharkhun S. V. *Sistema opoveshcheniya i upravleniya evakuatsiyey lyudey pri pozhare — PK (SOUE-PK)* [System of notification about fire alarm and control of evacuation of people]. Certificate RF, no. 2012617518, 2012.

ООО «ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПОЖНАУКА»

ПРЕДЛАГАЕТ ВАШЕМУ ВНИМАНИЮ

Л. П. Пилюгин

**Прогнозирование последствий
внутренних аварийных взрывов**

Настоящая книга посвящена проблеме прогнозирования последствий внутренних взрывов газо-, паро- и пылевоздушных горючих смесей (ГС), образующихся при аварийных ситуациях на взрывоопасных производствах. В книге материал излагается применительно к дефлаграционным взрывам, которые обычно имеют место при горении ГС на взрывоопасных производствах.

В качестве основных показателей при прогнозировании последствий аварийных взрывов ГС рассматриваются ожидаемый характер и объем разрушений строительных конструкций в здании (сооружении), в котором происходит аварийный взрыв.

Книга продолжает исследования автора в области проектирования зданий взрывоопасных производств и оценки надежности строительных конструкций (на основе метода преобразования рядов распределения случайных величин).

С использованием методов теории вероятностей разработаны методики: определения характеристик взрывной нагрузки как случайной величины; оценки вероятностей разрушения конструкций, характера и объема разрушений в здании при внутреннем аварийном взрыве. Приведенные методики сопровождаются примерами расчетов для зданий различных объемно-планировочных решений.

Web-сайт: firepress.ru
Эл. почта: info@fire-smi.ru,
mail@firepress.ru
Тел.: (495) 228-09-03



Пенообразователи

Шторм

Точный расчет на безопасность!



РЕКЛАМА

Шторм-М — высокоэффективный пленкообразующий синтетический фторсодержащий пенообразователь специального назначения. Основная область применения: химическая и нефтехимическая промышленность, аэродромы, а также везде, где необходимо за короткое время обеспечить тушение больших площадей с розливом нефти или нефтепродуктов либо предотвратить возгорание горючих жидкостей. Рекомендован для "подслоного" тушения. Срок годности фторсодержащих пенообразователей до 25 лет.

ГЕФЕСТ
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ КОМПАНИЯ

Тел.: (495) 995-82-72
www.gefestnpk.ru
www.shtpena.ru

В. С. БЕЛОУСОВ, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической теплотехники, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина (Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19)

М. А. САВИН, канд. техн. наук, доцент, докторант, Уральский институт Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22; e-mail: sawina@mail.ru)

С. В. САРКИСОВ, курсант, Уральский институт Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22; e-mail: skales007@mail.ru)

УДК 614.846:536

ЭКСЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОТЫ ДЛЯ САМОПОДОГРЕВА ВОДЫ НАСОСОМ ПОЖАРНОГО АВТОМОБИЛЯ

Представлены результаты экспериментального исследования, которые были обработаны с применением эксергетического метода анализа термодинамических систем. Показано, что дальнейшее повышение эффективности самоподогрева воды пожарным насосом перед ее подачей в напорную рукавную линию в низкотемпературных условиях может быть достигнуто реализацией ряда технических решений, таких как повышение мощности двигателя пожарного автомобиля и спецагрегата; снижение теплоотдачи в окружающую среду посредством эффективной теплоизоляции корпуса насоса; уменьшение полной теплоемкости деталей и узлов термодинамической системы за счет применения в конструкции насоса композитов и углепластиков.

Ключевые слова: пожарные насосно-рукавные системы; пожарный насос; низкотемпературные условия эксплуатации; холостой ход; внешняя теплоизоляция корпуса насоса; эксергетический анализ; расчетно-экспериментальный метод.

Введение

Бесперебойная подача огнетушащей жидкости к месту работы оперативных расчетов является одним из важных условий успешного тушения пожара [1]. В зимних условиях это сопряжено со значительными трудностями, поскольку температура воды в водопроводе и особенно в открытых водоисточниках снижается практически до 0 °С [2]. Опасность замерзания воды в рукавной линии наиболее велика в начальный период работы насосно-рукавной системы. При низкой температуре наружного воздуха температура стенок рукавов близка к ней, поэтому поступающая в них вода быстро охлаждается, превращаясь иногда в пастообразную ледяную массу (“шугу”), закупоривающую пожарный ствол, а затем и всю напорную рукавную линию, что может привести к срыву выполнения боевой задачи.

Существует техническая возможность снижения интенсивности образования льда в рукавах посредством подогрева воды за счет теплоты, выделяющейся при работе насоса [3]. В соответствии с первым законом термодинамики работа сил трения, произведенная насосом на холостом ходу, полностью преобразуется в теплоту. Часть этой теплоты расходуется на саморазогрев насоса и нагрев воды, а ос-

тававшееся количество от поверхности спецагрегата рассеивается в окружающую среду (ОС). Максимальная температура воды достигается в стационарном состоянии, когда мощность насоса становится равной тепловому потоку, отведенному в окружающую среду в результате конвективного и лучистого теплообмена. Величина этой температуры будет, очевидно, зависеть от мощности насоса, количества циркулирующей воды и интенсивности теплоотдачи от спецагрегата [3].

Эффективность различных технических решений можно сравнивать на основе их эксергетического анализа. В настоящем исследовании дана эксергетическая оценка эффективности теплоизолирующего покрытия-чехла пожарного насоса ПН-40УВ, заполненного водой, при ее самоподогреве.

Эксергетический метод исследования

Эксергетический метод анализа дает возможность более объективно по сравнению с другими методами оценить энерго-экономическую эффективность установок, так как основан не только на первом, но и на втором начале термодинамики, учитывает потери от необратимости реальных процессов и позволяет оценить степень термодинамического совер-

шенства каждой из систем пожарного автомобиля (ПА). Эксергия — это максимальная работа, которая может быть совершена системой при ее переходе в состояние равновесия с окружающей средой [4, 5].

Эксергия теплоты определяется соотношением

$$E = Q - T_0 \int (dQ/T), \quad (1)$$

а эксергия потока вещества — соотношением

$$E = H - H_0 - T_0(S - S_0), \quad (2)$$

где Q — количество теплоты;

T_0 — температура окружающей среды;

H, H_0 — энтальпии потока соответственно при данных условиях и в состоянии равновесия с окружающей средой;

S, S_0 — энтропии потока соответственно при данных условиях и в состоянии равновесия с окружающей средой.

В исследуемой термодинамической системе *пожарный насос, заполненный водой*, с теплоизоляцией [6] или без нее механическая энергия, получаемая спецагрегатом от двигателя ПА, подводится через контрольную поверхность к центробежному пожарному насосу марки ПН-40УВ.

Эксергетический КПД исследуемой термодинамической системы η_e представляет собой отношение полезно используемой эксергии $E_{\text{пол}}$ к эксергии механической энергии, получаемой насосом от силового агрегата ПА, L_e^H (подведенной эксергии):

$$\eta_e = E_{\text{пол}} / L_e^H, \quad (3)$$

где полезно используемой эксергией будем считать приращение эксергии воды в полости насоса, а эксергия механической энергии равна самой этой энергии.

Потери эксергии связаны с необратимым теплообменом с окружающей средой, гидравлическим сопротивлением циркуляции воды, подогревом элементов насоса, изменением кинетической энергии потока. Наибольшую долю эксергетических потерь составляют потери при преобразовании работы в теплоту.

Эксергетический баланс термодинамической системы *пожарный насос, заполненный водой*, со средствами теплоизоляции или без них запишется следующим образом:

$$L_e^H = E_{\text{пол}} + \Delta E_0^* + \sum \Delta E_{\text{внутр}}^* + \Delta E_q^*, \quad (4)$$

где ΔE_0^* — эксергия теплоты, отводимой в окружающую среду внешними поверхностями спецагрегата, Дж;

$\sum \Delta E_{\text{внутр}}^*$ — суммарные эксергетические потери, связанные с изменением внутренней энергии конструктивных элементов насоса (деталей и узлов насоса, запаса масла в масляной ванне насоса, коллектора, задвижек и т. п.), Дж;

ΔE_q^* — эксергетические потери при превращении работы в теплоту, Дж.

Разделив обе части уравнения (4) на L_e^H , преобразуем его к виду

$$\delta_{\text{пол}} = 1 - \delta_0 - \sum \delta_{\text{внутр}} - \delta_q, \quad (5)$$

где $\delta_{\text{пол}}$ — доля полезной эксергии;

$\delta_0, \sum \delta_{\text{внутр}}, \delta_q$ — доли соответствующих потерь.

Анализ выражения (5) позволяет сделать вывод, что повысить эффективность самоподогрева воды в термодинамической системе *пожарный насос, заполненный водой*, можно путем таких технических решений, как снижение теплоотдачи в окружающую среду посредством эффективной теплоизоляции насоса, уменьшения полной теплоемкости деталей и узлов термодинамической системы за счет применения в конструкции насоса композитов и углепластиков.

Величина эксергии и эксергетических потерь, входящих в уравнение эксергетического баланса, может быть вычислена следующим образом.

Эксергия механической энергии, получаемой насосом от силового агрегата ПА, равна работе, снимаемой с вала рабочего колеса спецагрегата:

$$L_e^H = N_n \tau_n + N_n \tau_n, \quad (6)$$

где N_n — мощность на валу рабочего колеса пожарного насоса, Вт, в процессе нагрева воды до заданной температуры за время τ_n , с;

N_n — мощность, Вт, необходимая для поддержания заданной температуры в течение времени τ_n , с.

Изменение эксергии воды в соответствии с уравнением (2) определяется по формуле

$$\begin{aligned} E_{\text{пол}} &= m(h(\tau) - h_1) - T_0(s(\tau) - s_1) = \\ &= m c_p \left[T(\tau) - T_1 - T_0 \ln \left(\frac{T(\tau)}{T_1} \right) \right], \end{aligned} \quad (7)$$

где m — количество воды, находящейся в полости насоса;

$h(\tau), h_1$ — удельные энтальпии воды в насосе соответственно в момент времени τ и в начальный момент времени, кДж/кг;

$s(\tau) - s_1$ — изменение энтропии воды за время τ , кДж/(кг·К);

c_p — средняя теплоемкость воды, кДж/(кг·К);

$T(\tau), T_1$ — температуры воды соответственно в момент времени τ и в начальный момент времени, К.

Суммарные эксергетические потери определяются также по уравнению (7), в которое подставляются массы и теплоемкости конструктивных элементов системы.

Эксергия теплоты Q_0 , отводимой в окружающую среду внешними поверхностями спецагрегата при

постоянной температуре поверхности, определяется в соответствии с (1) соотношением

$$E_0 = Q_0(1 - T_0/T(\tau)). \quad (8)$$

Эксергетические потери при превращении работы в теплоту можно определить из уравнения баланса (4) при известных значениях параметров, определяемых по (6)–(8). Для их вычисления необходимо знание тепловых потоков и температур в любой момент времени.

Изменение температуры воды при ее нагреве за счет теплоты, выделяющейся при работе пожарного насоса, можно определить путем решения нестационарного уравнения теплопроводности

$$C \frac{d\vartheta}{d\tau} = \dot{Q}_n - \dot{Q}_0, \quad (9)$$

где C — полная теплоемкость системы, складывающаяся из полных теплоемкостей воды и деталей насоса, Дж/К; $C = mc_p + m_d c_d$;

ϑ — избыточная температура воды, К; $\vartheta = T - T_0$;

$\dot{Q}_n$ — тепловой поток, выделяющийся при работе насоса, Вт; $\dot{Q}_n = N$;

$\dot{Q}_0$ — тепловой поток, отводимый в окружающую среду внешними поверхностями спецагрегата, Вт.

Основная доля теплоты отводится в окружающую среду естественной конвекцией. Лучистым теплообменом из-за невысокой температуры поверхности можно пренебречь. Тогда тепловой поток от поверхностей спецагрегата определится по формуле

$$\dot{Q}_0 = \alpha(T_c - T_0)F, \quad (10)$$

где α — средний по поверхности коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К);

T_c — средняя температура наружной поверхности стенок насоса, К;

F — полная площадь поверхности пожарного насоса, м².

Температуры поверхности T_c и воды T принимаем одинаковыми, так как термические сопротивления теплопроводности стенок насоса и теплоотдачи от воды к внутренней поверхности насоса невелики. Расчеты показывают, что уже при разности температур 1 К режим естественной конвекции является турбулентным, тогда коэффициент теплоотдачи α вычисляется по критериальному уравнению [7]:

$$Nu = 0,135 Ra^{1/3}, \quad (11)$$

где Nu — число Нуссельта; $Nu = \alpha_k l / \lambda$;

α_k — коэффициент теплоотдачи;

l — характерный размер (высота) насоса;

λ — коэффициент теплопроводности воздуха;

Ra — число Релея; $Ra = (gl^3/\nu^2) \Delta T Pr$;

g — ускорение свободного падения;

ν — коэффициент кинематической вязкости воздуха;

$$\Delta T = T - T_0;$$

Pr — число Прандтля.

Выражая коэффициент теплоотдачи α из (11) с учетом (10), можно записать:

$$\frac{d\vartheta}{d\tau} = A - B\vartheta^{4/3}, \quad (12)$$

$$\text{где } A = N/C; B = \frac{0,135}{C} F \lambda \left(\frac{g Pr}{T_0 \nu^2} \right)^{1/3},$$

откуда $d\tau = d\vartheta / (A - B\vartheta^{4/3})$.

Интеграл $\int [d\vartheta / (A - B\vartheta^{4/3})]$ заменой переменных $\vartheta^{1/3} = Z$ сводится к табличному интегралу $3 \int [Z^2 dZ / (A - BZ^4)]$. Тогда решение уравнения (12) с учетом начального условия $\vartheta(\tau - 0) = \vartheta_0$ примет следующий вид:

$$\tau = \frac{3}{4Ab^3} \left\{ \ln \frac{1 + b\vartheta_0^{1/3}}{1 - b\vartheta_0^{1/3}} - 2 \arctg(b\vartheta_0^{1/3}) - \left[\ln \frac{1 + b\vartheta_0^{1/3}}{1 - b\vartheta_0^{1/3}} - 2 \arctg(b\vartheta_0^{1/3}) \right] \right\}, \quad (13)$$

где $b = \sqrt[4]{B/A}$.

Для идеальной тепловой изоляции ($\dot{Q}_0 = 0$) решение (9) имеет вид:

$$\tau = (\vartheta - \vartheta_0)/A. \quad (14)$$

Методика эксперимента

В лабораторных исследованиях изучалась зависимость интенсивности прогрева воды в пожарном насосе от мощности, потребляемой им от двигателя ПА. В качестве объекта исследования был выбран центробежный пожарный насос ПН-40УВ, установленный в заднем отсеке пожарной автоцистерны марки АЦ-3,2-40(433114), наработка которого составила 186 ч при ресурсе спецагрегата 1100 ч. Экспериментальный образец съемного покрытия-чехла для обеспечения работы пожарного насоса в условиях низких температур состоял из двух теплоизолирующих слоев — полушерстяных одеял и одного теплоотражающего слоя [6] из металлизированной полульняной ткани (эластоскожа-Т теплоотражательная), используемой в комплектах теплозащитной одежды для пожарных [8]. Кроме того, такое гибкое трехслойное утеплительное покрытие для лучшей теплоизоляции было выполнено в виде пакета, т. е. с воздушным промежутком между слоями. Конструктивно чехол-пакет состоял из пяти частей, три из которых (самых габаритных) представлены на рис. 1.

Температура воздуха и начальная температура воды в насосе составляли соответственно (5 ± 1) и (20 ± 1) °С. Для регистрации температур применялся



Рис. 1. Съемный теплоизолирующий чехол для пожарного насоса ПН-40УВ: 1 — теплоотражательный слой; 2 — два теплоизолирующих слоя

электронный автоматический самопишущий много-точечный потенциометр ЭПП-09 с основной погрешностью показаний при температуре окружающего воздуха 20 °С, не превышающей 0,5 %. Хромель-копелевые термопары ТХК (тип L) по ГОСТ 6616–74 с пределами измерений 223...373 К (–50...+100 °С) были протарированы в соответствующих диапазонах температур и размещены по оси всасывающего патрубка насоса и в его коллекторе. Среднеобъемная температура системы определялась как среднее арифметическое от показаний этих приборов.

Частота вращения рабочего колеса насоса соответствовала частоте вращения коленчатого вала двигателя и была измерена штатным тахометром. Мощность на валу пожарного насоса определялась по величине крутящего момента, для измерения которого использовалась силоизмерительная система УСП с тензорезисторным датчиком ДСТ-0,1К.

Для расчета по уравнению (13) принимались следующие значения массы и полной теплоемкости: воды в спецагрегате — 22,0 кг, 92,2 кДж/К; пожарного насоса — 60,0 кг, 48,0 кДж/К, в том числе корпуса насоса в сборе и рабочего колеса, изготовленных из алюминиевого сплава, — 45,5 кг, 38,9 кДж/К и 3,8 кг, 3,50 кДж/К соответственно; вала с шарикоподшипниками, стакана сальникового, шпинделей с маховичками и заслонками напорных задвижек, датчика тахометра, изготовленных из стали и чугуна, — 6,2 кг, 2,86 кДж/К; 1,4 кг, 0,647 кДж/К; 2,6 кг, 1,26 кДж/К; 0,1 кг, 0,046 кДж/К соответственно; масла в масляной ванне насоса — 0,44 кг, 0,733 кДж/К.

Результаты исследования

Результаты экспериментальных исследований и расчетов динамики самоподогрева воды в пожарном насосе при частоте вращения вала рабочего колеса 1900 мин^{–1} и мощности на валу 14 кВт приведены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты исследования самоподогрева воды пожарным насосом ПН-40УВ (частота вращения рабочего колеса 1900 мин^{–1}, мощность на валу 14 кВт)

Температура воды в процессе нагрева, °С	Время самоподогрева воды до соответствующей температуры, с, в насосе			
	без изоляции		с изоляцией	
	Расчет	Эксперимент	Расчет*	Эксперимент
25	50,3	58	50,1	25
30	101	110	100	60
35	151	160	150	112
40	202	210	200	173
45	253	255	250	235
50	304	302	300	298
55	355	350	350	350
60	406	400	401	390

* С идеальной теплоизоляции.

Данные, представленные в табл. 1, свидетельствуют о том, что в практических условиях эксплуатации наличие теплоизоляции корпуса насоса почти не влияет на время предварительного подогрева воды перед пуском ее в магистральную рукавную линию (МРЛ), очевидно потому, что тепловой поток в ОС гораздо меньше, чем выделяемая при работе спецагрегата тепловая мощность.

Из табл. 1 также видно, что расчетные значения времени нагрева соответствуют экспериментальным данным. Следовательно, можно заключить, что зависимость (13) в достаточной степени адекватно описывает процесс самоподогрева запаса воды, находящегося в насосе. Таким образом, данную расчетную модель можно применять и для других условий подогрева воды. К примеру, для определения времени нагрева воды до заданной температуры в зависимости от температуры окружающей среды, а также от мощности холостого хода (рис. 2 и 3).

Кроме того, по уравнению (10) и по уравнению для теплового потока, обусловленного теплопроводностью, в стационарном режиме

$$\dot{Q}_0 = \alpha(T_c - T_0)F = \lambda_{из}/\delta_{из} (T_c - T_0)F \quad (15)$$

были рассчитаны тепловые потери спецагрегата в окружающую среду в зависимости от ее температу-

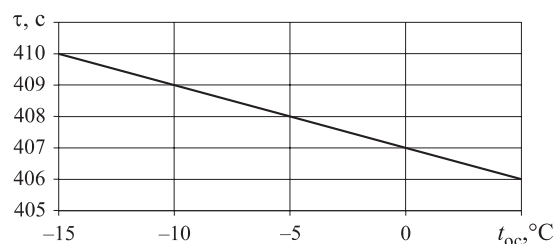


Рис. 2. Зависимость времени подогрева воды в насосе до заданной температуры (60 °С) от температуры окружающей среды t_{oc}

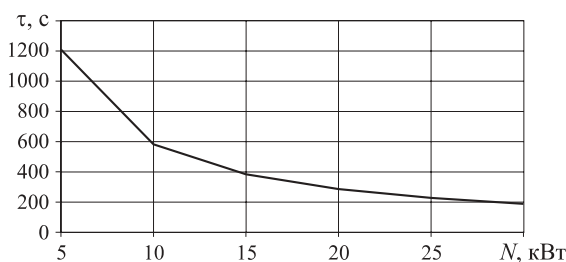


Рис. 3. Зависимость времени подогрева воды в насосе до заданной температуры (60 °C) от мощности холостого хода N

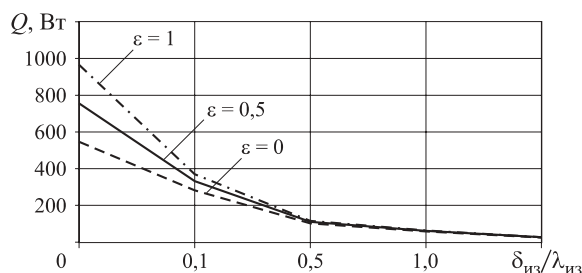


Рис. 4. Тепловые потери спецагрегата через его поверхность в зависимости от термического сопротивления, теплопроводности изоляции $\delta_{из}/\lambda_{из}$ и степени черноты ε при температуре ОС минус 20 °C

ры при различных значениях степени черноты поверхности насоса (полированной — $\varepsilon = 0$; покрытой слоем оксидов — $\varepsilon = 0,5$; абсолютно черной — $\varepsilon = 1$) и от термического сопротивления теплопроводности теплоизоляции $\delta_{из}/\lambda_{из}$ (где $\delta_{из}$ — толщина

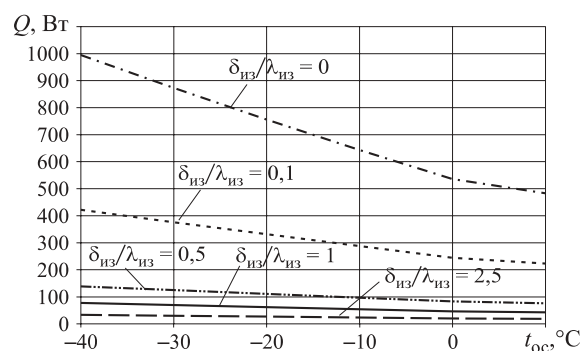


Рис. 5. Зависимость тепловых потерь спецагрегата в ОС через его поверхность в зависимости от температуры окружающей среды $t_{ос}$, термического сопротивления и теплопроводности изоляции $\delta_{из}/\lambda_{из}$ при $\varepsilon = 0,5$

теплоизоляции; $\lambda_{из}$ — коэффициент теплопроводности материала изоляции). Эти данные приведены в табл. 2 и на рис. 4 и 5.

В уравнении (10)

$$\alpha = \alpha_{л} + \alpha_{к}, \quad (16)$$

$$\text{где } \alpha_{л} = \varepsilon C_0 \frac{(T_c/100)^4 - (T_0/100)^4}{T_c - T_0}.$$

Как следует из рис. 4, уже при $\delta_{из}/\lambda_{из} \geq 0,5$ излучение практически не влияет на величину тепловых потерь спецагрегата в окружающую среду, а при $\delta_{из}/\lambda_{из} \geq 1$ тепловые потери насоса зависят от температуры окружающей среды незначительно (см. рис. 5).

Таблица 2. Расчетные значения тепловых потерь в окружающую среду и температура поверхности пожарного насоса ПН-40УВ

Температура ОС, °C	ε	Теплопотери в окружающую среду, Вт / Температура наружной поверхности насоса, °C, при $\delta_{из}/\lambda_{из}$				
		0	0,1	0,5	1,0	2,5
5	0	311 / 60	178 / 40,3	68,1 / 22,2	39,3 / 16,4	17,6 / 11,2
	0,5	483 / 60	223 / 36,2	76 / 17,8	42,4 / 12,9	18,4 / 8,9
	1,0	644 / 60	256 / 31,6	80,7 / 15,1	44,1 / 11	18,8 / 7,8
0	0	363 / 60	198 / 38	74,9 / 18,4	43,1 / 12,1	19,2 / 6,6
	0,5	563 / 60	244 / 32,9	83 / 13,9	46,2 / 8,6	20 / 4,3
	1,0	707 / 60	279 / 29	87,9 / 11,2	48 / 6,7	20,5 / 3,2
-10	0	452 / 60	239 / 33,4	88,8 / 10,7	50,8 / 3,6	22,5 / -5,6
	0,5	643 / 60	288 / 28	96,9 / 6,2	53,9 / 0,1	23,4 / -4,9
	1,0	835 / 60	325 / 23,9	102 / 3,3	55,8 / -2	23,8 / -6,2
-20	0	547 / 60	282 / 28,7	103 / 2,9	58,5 / -5	25,9 / -11,9
	0,5	756 / 60	332 / 23,1	111 / -1,6	61,6 / -8,5	26,7 / -14,2
	1,0	965 / 60	370 / 18,9	116,3 / -4,6	63,6 / -10,7	27,2 / -15,5
-30	0	648 / 60	326 / 23,8	117 / -5,1	66,3 / -13,7	29,2 / -21,2
	0,5	873 / 60	376 / 18,2	125 / -9,4	69,3 / -17,1	30 / -23,4
	1,0	1098 / 60	416 / 13,8	130 / -12,5	71,4 / -19,3	30,5 / -24,8
-40	0	756 / 60	372 / 18,7	132 / -13,1	74,2 / -22,5	32,6 / -30,5
	0,5	995 / 60	422 / 13,2	139 / -17,2	77,1 / -25,7	33,4 / -32,6
	1,0	1233 / 60	461 / 8,7	146 / -20,3	79,1 / -27,9	33,8 / -34

Таблица 3. Исходные экспериментальные данные и расчет составляющих уравнения эксергетического КПД термодинамической системы *пожарный насос, заполненный водой*, без теплоизоляции при температуре ОС 278 К ((5±1) °С)

Показатель	Значение показателя при температуре воды в насосе ПН-40УВ на холостом ходу, °С, при частоте вращения вала рабочего колеса $\frac{1900 \text{ мин}^{-1}}{2700 \text{ мин}^{-1}}$								
	20	25	30	35	40	45	50	55	60
	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Время нагрева воды τ , с	$\frac{0}{0}$	$\frac{58,44}{25}$	$\frac{110}{55}$	$\frac{160}{86}$	$\frac{210}{118}$	$\frac{255}{142}$	$\frac{302,5}{172}$	$\frac{350}{202}$	$\frac{400}{230}$
Мощность, потребляемая насосом, N , кВт	—	$\frac{14,0}{23,5}$	$\frac{14,0}{23,5}$	$\frac{14,0}{23,5}$	$\frac{14,0}{23,5}$	$\frac{14,0}{23,5}$	$\frac{14,0}{23,5}$	$\frac{14,0}{23,5}$	$\frac{14,0}{23,5}$
Изменение эксергии воды в насосе $E_{\text{пол}}$, кДж	—	$\frac{818,2}{587,5}$	$\frac{1540}{1292,5}$	$\frac{2240}{2021}$	$\frac{2940}{2773}$	$\frac{3570}{3337}$	$\frac{4235}{4042}$	$\frac{4900}{4747}$	$\frac{5600}{5405}$
Эксергия, аккумулированная водой в насосе, E_q^B , кДж	—	$\frac{27,167}{27,167}$	$\frac{61,518}{61,518}$	$\frac{102,819}{102,819}$	$\frac{150,845}{150,845}$	$\frac{205,383}{205,383}$	$\frac{266,231}{266,231}$	$\frac{333,195}{333,195}$	$\frac{406,089}{406,089}$
Эксергетический КПД термодинамической системы η_c	—	$\frac{0,0332}{0,0460}$	$\frac{0,0399}{0,0476}$	$\frac{0,0459}{0,0509}$	$\frac{0,0513}{0,0544}$	$\frac{0,0575}{0,0615}$	$\frac{0,0629}{0,0659}$	$\frac{0,0680}{0,0702}$	$\frac{0,0725}{0,0751}$
Потери эксергии в ОС от поверхностей насоса E_0 , кДж	—	$\frac{0,219}{0,294}$	$\frac{0,612}{0,894}$	$\frac{0,955}{1,480}$	$\frac{1,370}{2,220}$	$\frac{1,870}{3,120}$	$\frac{2,450}{4,180}$	$\frac{3,120}{5,240}$	$\frac{3,870}{6,820}$
Доля эксергии, отведенная в ОС от поверхностей насоса, δ_0	—	$\frac{0,00027}{0,00050}$	$\frac{0,00040}{0,00069}$	$\frac{0,00043}{0,00073}$	$\frac{0,00047}{0,00080}$	$\frac{0,00052}{0,00094}$	$\frac{0,00058}{0,00103}$	$\frac{0,00064}{0,00110}$	$\frac{0,00069}{0,00126}$
Потери эксергии на нагрев элементов системы $\Sigma \Delta E_{\text{внутр}}$, кДж	—	$\frac{14,2}{14,2}$	$\frac{32,1}{32,1}$	$\frac{53,7}{53,7}$	$\frac{78,8}{78,8}$	$\frac{107,3}{107,3}$	$\frac{139,1}{139,1}$	$\frac{174,1}{174,1}$	$\frac{212,1}{212,1}$
Доля потерь эксергии на подогрев элементов системы $\Sigma \delta_{\text{внутр}}$	—	$\frac{0,0174}{0,0242}$	$\frac{0,0208}{0,0248}$	$\frac{0,0240}{0,0266}$	$\frac{0,0268}{0,0284}$	$\frac{0,0301}{0,0322}$	$\frac{0,0328}{0,0344}$	$\frac{0,0355}{0,0367}$	$\frac{0,0379}{0,0392}$
Доля потерь эксергии при превращении работы в теплоту δ_q	—	$\frac{0,94243}{0,92930}$	$\frac{0,93773}{0,92691}$	$\frac{0,92967}{0,92177}$	$\frac{0,92143}{0,91640}$	$\frac{0,91188}{0,90536}$	$\frac{0,90372}{0,89867}$	$\frac{0,89586}{0,89200}$	$\frac{0,88891}{0,88444}$

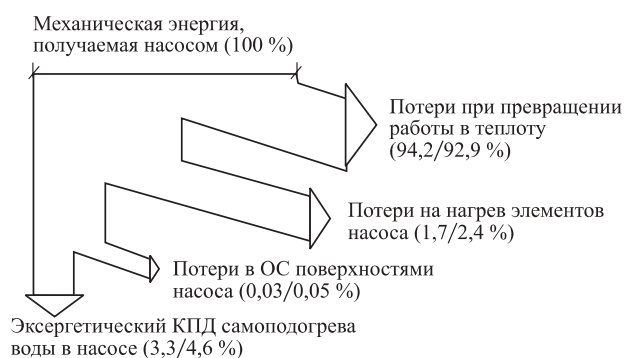


Рис. 6. Эксергетическая диаграмма пожарного насоса ПН-40УВ без теплоизоляции при температуре воды в нем 25 °С и при частоте вращения вала рабочего колеса 1900 мин⁻¹/2700 мин⁻¹

Кроме того, были вычислены эксергетические КПД самоподогрева вода в насосе для двух частот холостого хода — 1900 и 2700 мин⁻¹ (табл. 3). Как видно из табл. 3, эффективность процесса предварительного подогрева воды насосом перед ее пуском в МРЛ весьма невелика и находится в диапазоне 3,3...7,5 %. Одновременно расчеты подтвердили ранее высказанное предположение о том, что доля эксергии теплоты, отведенная поверхностями насоса в окружающую среду, и того меньше — 0,027...0,126 %. Максимальная же доля потерь эк-

сергии имеет место при превращении работы в теплоту: $\delta_q = 0,94...0,88$ (рис. 6).

Определенная часть теплоты (1,74...3,92 %) идет на нагрев элементов системы. Из этого количества теплоты корпусом насоса поглощается свыше 81 % эксергии выделяющейся теплоты, рабочим колесом — более 7 %, валом, шпинделями задвижек, а также маслом в масляной ванне — суммарно более 10 %.

Выводы

1. Исследуемая конструкция теплоизоляции насоса ПН-40УВ [4] в незначительной степени форсирует предварительный самоподогрев воды, находящейся в спецагрегате, перед ее пуском в магистральную пожарную рукавную линию, так как потери эксергии теплоты, отводимой наружными поверхностями пожарного насоса в окружающую среду, весьма невелики.

Однако в дальнейшем, при работе насоса на пожаре, наличие теплоизоляции позволит обеспечить усиленный сопутствующий подогрев огнетушащей жидкости, что необходимо для обеспечения ее подачи с нужной интенсивностью в течение всего периода пожаротушения.

2. Доля эксергии полезной работы спецагрегата $\delta_{\text{пол}}$, идущей на самоподогрев находящейся в нем

огнетушащей жидкости, увеличивается с течением времени прогрева и с повышением ее температуры.

3. Анализ процессов теплообмена показал, что при $\delta_{из}/\lambda_{из} \geq 1$ тепловые потери спецагрегата практически не зависят от температуры окружающей среды. Аналогично при условии $\delta_{из}/\lambda_{из} \geq 0,5$ излучение не влияет на величину теплоты, рассеиваемой насосом в окружающую среду.

4. Очевидно, что при применении теплоизолирующего покрытия внутренних поверхностей кор-

пусных деталей насоса появляется техническая возможность изменить соответствующий баланс и перенаправить определенную долю теплоты на усиленный самоподогрев воды в спецагрегате.

5. Применение эксергетического метода анализа создает возможность системно и комплексно оценивать степень совершенства термодинамических процессов в системах пожарного автомобиля, так как дает всестороннее представление о характере использования энергоресурсов и об удельном весе потерь в его различных элементах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Об утверждении порядка тушения пожаров подразделениями пожарной охраны : приказ МЧС России от 31.03.2011 г. № 156. — М. : МЧС России, 2011.
2. *Алешков М. В.* Повышение работоспособности напорных рукавных линий при тушении пожаров в условиях низких температур : дис. ... канд. техн. наук. — М. : ВИПТШ МВД СССР, 1990. — 293 с.
3. *Шебеко Н.* О работе насосов при низких температурах // Пожарное дело. — 1960. — № 10. — С. 24–25.
4. *Кириллин В. А., Сычев В. В. и др.* Техническая термодинамика. — М. : Энергоатомиздат, 1983. — 416 с.
5. *Бродянский В. М., Фратшер В., Михалек К.* Эксергетический метод и его приложения. — М. : Энергоатомиздат, 1988. — 288 с.
6. Патент 68324 Российская Федерация. МКИ А 62 С 11/00. Насос пожарной машины для зимних условий / *Савин М. А. и др.* — № 2007128405; заявл. 23.07.2007 г.; опубл. 27.11.2007 г., Бюл. № 33.
7. *Юдаев Б. Н.* Техническая термодинамика. Теплопередача. — М. : Высшая школа, 1988. — 479 с.
8. *Простов Н. И., Аверин Ю. Ф., Логинов В. И.* Техническое описание и инструкция по эксплуатации комплекта теплозащитной одежды для пожарных ТК. — М. : ВНИИПО МВД СССР, 1987. — С. 3–7.

Материал поступил в редакцию 26 октября 2012 г.

English

EXERGIC ASSESSMENT OF EFFICIENCY OF HEAT APPLICATION FOR SELF-HEATING OF WATER BY MEANS OF FIRE ENGINE'S PUMP

BELOUSOV Viktor Semenovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Theoretical Heating Engineering Department, Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin (Mira St., 19, Yekaterinburg 620002, Russian Federation)

SAVIN Mikhail Aleksandrovich, Candidate of Technical Sciences, Docent, Applicant for Doctor's Degree, Associate Professor, Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg 620062, Russian Federation; e-mail address: sawina@mail.ru)

SARKISOV Sergey Vladimirovich, Cadet, Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg 620062, Russian Federation; e-mail address: skales007@mail.ru)

ABSTRACT

Introduction. Efficiency of heat-insulating covering of the pump filled by water being self-heated for the purpose of ice-forming decrease inside fire hoses was investigated.

Technique of the experiment. The object under research was the centrifugal pump PN-40UV of water tender ATs-3,2-40(433114) which operating time has made 186 hours at the resource of the unit equal to 1100 hours. The demountable cover according to the patent of the Russian Federation № 68324 consisted of two heat-insulating layers from half-woolen blankets and one heat-reflecting layer from metallized half-linen fabrics with layers of air between them. The temperature of the air and the initial temperature of water in the pump made accordingly (5 ± 1) and (20 ± 1) °C. Electronic potentiometer EPP-09 was used. Chromel-coppel thermocouples were placed on the axis of the pump

sucker and in its collector. The average volumetric temperature of the system was defined as the average arithmetic based on indications of these devices. For determination of capacity of idling of the pump, frequency of rotation of the driving wheel and size of the twisting moment was measured.

Results of research. The calculated model which adequately describes the process is received and it can be applied, for example, to determination of time of self-heating of water up to the set temperature depending on an ambient temperature, and also from capacity of idling of the pump.

Exergic efficiency of preliminary self-heating of water in the pump for powers of free running 14,0 and 23,5 kWt (frequency of rotation of the pump impeller accordingly 1900 and 2700 revolutions per minute) was calculated. It was established that the efficiency of the process of preliminary self-heating of water by the pump before its flow into the hose line is not high and it is in the range of 3,3...7,5 %. The share of exergy of warmth reflected by the surface of the pump into the environment is 0,027...0,126 %. The maximum share of exergy loss during the conversion of work into warmth is 0,94...0,88. Aside from that, 1,74...3,92 % of warmth is spent on heating of pump elements. Of this amount of warmth the pump covering absorbs more than 81 % of exergy of the reflected warmth, the pump impeller absorbs more than 7 % by the shaft, by spindle valves and also by oil in the oil bath — all in all, more than 10 %.

Conclusions. 1. The investigated design of heat insulation of pump PN-40UV in an insignificant degree forces preliminary self-heating of the water which is in a special unit, before it flows into the hose line as exergy losses of the heat reflected by external surfaces of the fire pump in the environment, are rather insignificant.

However, during the further operation of the pump at a fire, the presence of heat insulation will allow to provide the increased attendant heating of extinguishing liquid that is necessary for its flow with required intensity during the whole period of firefighting.

2. The share of exergy of useful work of a specialty unit, necessary for self-heating of water, increases in the course of time of warming up and with the rise of its temperature.

3. Application of heat-insulating covering of internal surfaces of pump's elements will allow to redirect the certain share of heat on the increased self-heating of water in the specialty unit.

4. Application of exergic method of analysis gives an opportunity to systemically and fully estimate the degree of perfection of thermodynamic processes in systems of fire vehicles as it gives all-round representation about character of use of power resources and about specific weight of losses in its various elements.

Keywords: fire pump-hose systems; fire pump; low-temperature conditions of operation; idling; external heat insulation the pump's housing; exergic analysis; experiment-calculated method.

REFERENCES

1. *Ob utverzhdenii poryadka tusheniya pozharov podrazdeleniyami pozharной okhrany: prikaz MChS Rossii ot 31.03.2011 № 156* [On approval of the order of fire suppression by fire brigades. Order of the Emercom of Russia from 31.03.2011 № 156]. Moscow, Emercom of Russia Publ., 2011.
2. Aleshkov M. V. *Povysheniye rabotosposobnosti napornykh rukavnykh liniy pri tushenii pozharov v usloviyakh nizkikh temperatur*. Dis. kand. tekhn. nauk [Increase of working capacity of hose lines during fire suppression in conditions of low temperatures. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, 1990. 293 p.
3. Shebeko N. O rabote nasosov pri nizkikh temperaturakh [About operation of pumps at low temperatures]. *Pozharnoye delo — Fire Fighting*, 1960, no. 10, pp. 24–25.
4. Kirillin V. A., Sychev V. V. et al. *Tekhnicheskaya termodinamika* [Technical thermodynamics]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1983. 416 p.
5. Brodyanskiy V. M., Fratsher V., Mikhalek K. *Eksergeticheskiy metod i yego prilozheniya* [Exergic method and its applications]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1988. 288 p.
6. Savin M. A. et al. *Nasos pozharной mashiny dlya zimnikh usloviy* [The pump of the fire engine for winter conditions]. Patent RF, no. 68324, 2007.
7. Yudayev B. N. *Tekhnicheskaya termodinamika. Teploperedacha* [Technical thermodynamics. Heat transfer]. Moscow, Vysshaya shkola Publ. [Higher school Publ.], 1988. 479 p.
8. Prostov N. I., Averin Yu. F., Loginov V. I. *Tekhnicheskoye opisaniye i instruktsiya po ekspluatatsii komplekta teplozashchitnoy odezhdy dlya pozharnykh TK* [Technical specification and maintenance instruction of the complete set of heat-reflecting gear for firefighters TK]. Moscow, VNIPO of the Ministry of Internal Affairs of the USSR, 1987, pp. 3–7.

Д. Г. ЛАНИН, инженер-эксперт, ООО “Авантаж”
(Россия, 121354, г. Москва, ул. Дорогобужская, 14; e-mail: mitroll@yandex.ru)

Д. В. ПОЛЯКОВ, заместитель начальника кафедры пожарной автоматики,
Академия Государственной противопожарной службы МЧС России
(Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4)

С. Г. ЦАРИЧЕНКО, д-р техн. наук, заместитель начальника института —
начальник НИЦ робототехники, ФГБУ ВНИИПО МЧС России
(Россия, Московская обл., 143903, г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12)

УДК 614.844

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА СРЕДСТВА ПОЖАРОТУШЕНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ

Представлена общая концепция выбора средств тушения пожаров электрических кабелей. Дано описание экспериментального стенда и единой методики проведения испытаний. Для обоснования выбора оптимальных и наиболее эффективных средств пожаротушения кабелей проведено экспериментальное исследование процессов тушения с учетом процесса охлаждения аварийных жил кабеля после ликвидации пламенного горения различными огнетушащими веществами. Дано описание экспериментального стенда и единой методики проведения испытаний. Описана математическая модель процесса остывания кабеля в различных огнетушащих средах. Приведены выводы по результатам работы и рейтинг эффективности различных огнетушащих веществ для каждой стадии пожаротушения. Описана автоматическая установка комбинированного пожаротушения для кабельных сооружений.

Ключевые слова: пожаротушение; кабель; огнетушащие вещества; токопроводящая жила; повторное воспламенение; модель; установка пожаротушения; эффективность.

Пожары в кабельных сооружениях сопровождаются крупным материальным ущербом (не столько прямым, сколько косвенным), а тушение кабельных сооружений представляет собой сложную тактическую задачу для подразделений пожарной охраны. Отсюда вытекает необходимость их защиты автоматическими установками пожаротушения либо устройствами для подачи огнетушащих веществ (ОТВ), обеспечивающими безопасность личного состава пожарной охраны. Необходимость работы по исследованию эффективности различных средств пожаротушения электрических кабелей объясняется тем, что на данный момент не существует нормативных документов по защите кабельных сооружений автоматическими установками пожаротушения, которые достаточно полно отражали бы все вопросы, связанные с этой проблемой. В связи с этим возникают различные споры и разногласия по поводу эффективности использования тех или иных установок пожаротушения в кабельных сооружениях.

Данная ситуация скорее всего обусловлена тем, что на протяжении многих лет в данном направлении исследований решались частные вопросы, в том числе чем защищать конкретный объект (сооружение). При отсутствии общей концепции выбора огнетушащего вещества и обоснования нормативных показателей его подачи проблема решалась экспери-

ментальным путем, что, естественно, давало частные результаты, которые нельзя напрямую использовать при решении подобных задач. В связи с этим на базе ФГБУ ВНИИПО МЧС России были проведены исследования эффективности различных средств пожаротушения электрических кабелей в кабельных сооружениях. Цель работы — исследование процессов горения и тушения кабелей для всех огнетушащих веществ и по единой методике для получения общих закономерностей.

До настоящего времени горение кабельной продукции рассматривалось как горение полимера, на основании чего и определялись нормы подачи огнетушащего вещества. В данной работе пожаротушение кабелей рассматривается как двустадийный процесс: первая стадия — ликвидация пламенного горения, вторая — охлаждение токопроводящей жилы, являющейся, как правило, источником возникновения пожара кабелей и возможным источником повторного воспламенения.

В настоящей работе все огнетушащие вещества разделены на две группы в зависимости от способа тушения — объемного или поверхностного. При поверхностном способе используются порошковые огнетушащие составы и вода с различной дисперсностью распыления, при объемном — газовые и аэрозольные огнетушащие составы. Воздушно-механическая пена рассматривается отдельно, так как

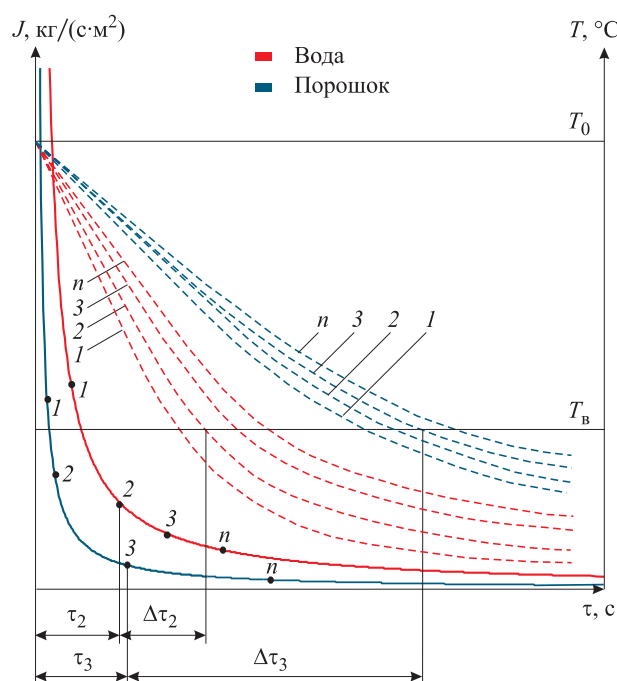


Рис. 1. Зависимость интенсивности подачи ОТВ (—) и температуры жилы (---) от времени при поверхностном способе тушения: 1, 2, 3..., n — интенсивности подачи ОТВ, соответствующие точкам 1, 2, 3..., n ; T_0 — температура жилы в момент начала подачи ОТВ; T_v — температура воспламенения изоляции; τ — время, необходимое для тушения изоляции при соответствующей интенсивности подачи ОТВ; $\Delta\tau$ — время, в течение которого возможно повторное воспламенение изоляции при соответствующей интенсивности подачи ОТВ

в зависимости от кратности она может использоваться для тушения как поверхностным способом, так и объемным.

На рис. 1 и 2 представлены зависимости параметров подачи ОТВ (интенсивность и огнетушащая концентрация) и температуры жилы от времени пожаротушения при поверхностном и объемном способах тушения соответственно.

Как видно из рис. 1, время подачи порошка (например, для точки 3), необходимое для ликвидации пламенного горения τ_3 , может быть значительно меньше времени, необходимого для снижения температуры жилы $\Delta\tau_3$ ниже температуры воспламенения изоляции. Следовательно, для обеспечения надежного тушения пожаров кабелей время подачи ОТВ должно приниматься с учетом времени остывания токопроводящей жилы.

Как видно из рис. 2, концентрация ОТВ опускается ниже значения огнетушащей концентрации быстрее, чем температура жилы снижается до значения ниже температуры воспламенения изоляции, что может повлечь за собой повторное возгорание. В связи с этим необходимо либо подавать заведомо большую концентрацию ОТВ, либо поддерживать

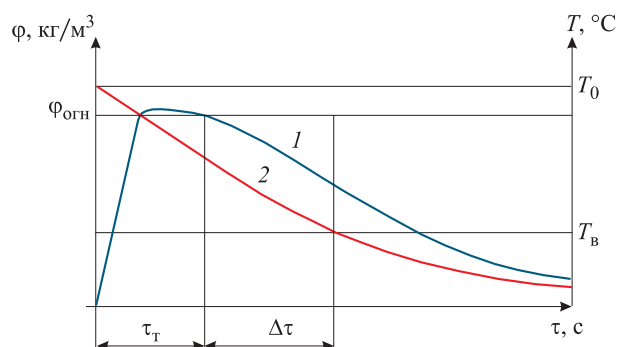


Рис. 2. Зависимость концентрации огнетушащих веществ (1) и температуры жилы (2) от времени при объемном способе тушения: $\phi_{огн}$ — нормативная минимальная огнетушащая концентрация ОТВ; τ_t — время, необходимое для тушения изоляции; $\Delta\tau$ — время, в течение которого возможно повторное воспламенение изоляции

его концентрацию многократной подачей вещества через определенные интервалы времени.

Для обоснования выбора оптимальных и наиболее эффективных средств тушения пожаров кабелей были проведены экспериментальные исследования процессов тушения с учетом охлаждения аварийных жил кабеля после ликвидации пламенного горения различными огнетушащими веществами [1, 2].

Целью экспериментов являлось определение интенсивности подачи (огнетушащей концентрации), времени подачи (времени удержания огнетушащей концентрации) для различных огнетушащих веществ, необходимых для ликвидации горения и исключения возможности повторного воспламенения кабелей.

В основе эксперимента лежит имитация возгорания и тушения кабеля в результате его энергетической перегрузки. Для этого была разработана модель — имитатор кабеля, которая является частью модельного очага. Для имитации использовались:

- жилы кабеля — трубчатый электронагреватель (ТЭН) с максимальной температурой нагрева 500 °С;
- остальных конструктивных элементов кабеля — отрезок реального кабеля, из которого извлекается одна или несколько токопроводящих жил;
- прокладки кабелей пучком — отрезки кабеля, который моделируется;
- нескольких перегруженных кабелей в пучке — аналогичные модели.

Модельный очаг представляет собой стойку с полками (ярусами), на которых располагаются отрезки кабелей, а также модель, имитирующая аварийный кабель (рис. 3). Размеры стойки 300×300×800 мм. Расстояние между кабелями, а также способ прокладки и расположение кабелей определяются в соответствии с ПУЭ [3]. Стойка с отрезками кабелей размещается в противне с горючей жидкостью. На стойке предусматриваются три уровня (яруса), на каждом из которых укладывается не менее трех кабелей,

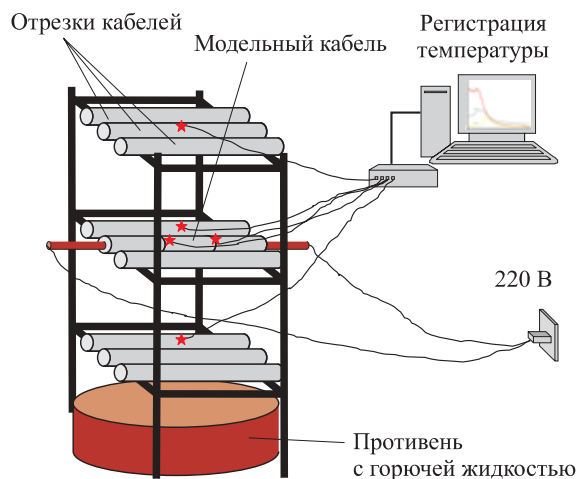


Рис. 3. Модельный очаг

причем модельный кабель располагается в центре модельного очага. Это является необходимым и достаточным условием для обеспечения воздействия тепловых потоков на модельный кабель со всех сторон, а также воздействия горящих полимерных материалов на модельный кабель при расплавлении и стекании с верхнего уровня укладки.

В качестве дополнительной горючей нагрузки к модели, имитирующей аварийный кабель, использовались кабели различных марок с поливинилхлоридной, полиэтиленовой, резиновой и пропитанной бумажной изоляцией, такие как АВВГ, ВВГ, АСБл, КВББШв, КГ и т. п.

Сначала производилась подача напряжения на ТЭНы и зажигание горючей жидкости, а затем, по истечении заданного времени, — огнетушащего вещества. Основными данными, получаемыми в результате экспериментов, являются значения интенсивности подачи (объемной концентрации) ОТВ, время ликвидации пламенного горения и время остывания ТЭНов до 250 °С.

При проведении экспериментов исследованы широко применяемые в практике пожаротушения Российской Федерации и других стран огнетушащие вещества с усредненными нормативными показателями подачи: распыленная вода с диаметром капель 300–500 мкм, тонкораспыленная вода с диаметром капель 100–150 мкм, тонкораспыленная вода с диаметром капель до 70 мкм (водяной туман), газовый огнетушащий состав — хладон 23, аэрозольный огнетушащий состав, высокократная пена (кратностью 400–600), порошок.

На основании анализа результатов экспериментов по тушению модельного очага различными огнетушащими веществами была разработана методика и проведен ряд испытаний на специальных стендах, имитирующих фрагмент кабельного тоннеля. В общей сложности было выполнено 48 лабораторных и 5 крупномасштабных экспериментов,

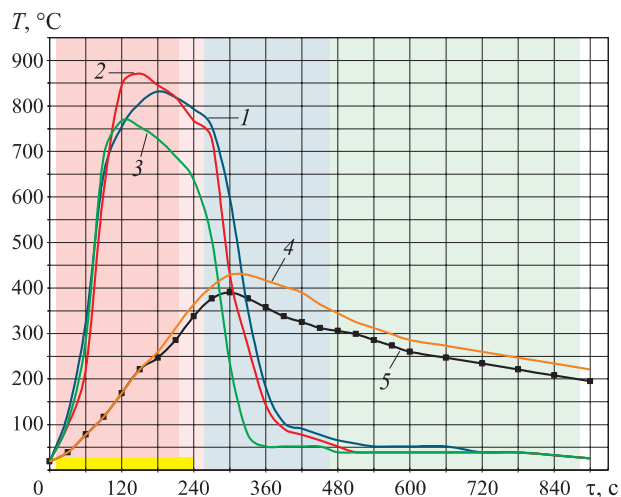


Рис. 4. Зависимость температуры пламени и ТЭНов (в различных точках измерения) от времени при тушении модельного очага тонкораспыленной водой с интенсивностью подачи 0,04 л/(с·м²) (опыт № 1): 1 — нижний уровень; 2 — средний уровень; 3 — верхний уровень; 4 — ТЭН 1; 5 — ТЭН 2

а также 19 экспериментов для подготовки и отработки методик.

Характерная типичная зависимость температуры в точках установки термпар (термпары на ТЭНы — 2 шт., термпары в зоне горения — 3 шт.) от времени тушения тонкораспыленной водой, полученная экспериментально на модельном очаге, представлена на рис. 4.

На основании анализа полученных экспериментальных данных в рамках исследования было выполнено математическое моделирование процесса охлаждения кабеля после ликвидации пламенного горения различными огнетушащими веществами.

Как показали эксперименты, время остывания кабеля в различных условиях (огнетушащих средах) до безопасной температуры значительно превышает время ликвидации горения. Интенсивность подачи и нормативные огнетушащие концентрации различных огнетушащих веществ при тушении кабелей сопоставимы с аналогичными значениями данных показателей при тушении других полимерных материалов. В связи с этим именно процесс охлаждения кабеля в различных огнетушащих средах требует особого рассмотрения и выбран в качестве критического параметра для оценки эффективности тушения.

При моделировании были учтены процессы охлаждения промышленных кабелей, содержащих жилы двух базовых проводников (медь и алюминий), под влиянием следующих охлаждающих факторов:

- естественной конвекции холодного воздуха;
- естественной конвекции смеси хладон 23 — воздух при различных концентрациях хладагента;
- водяного орошения кабелей различной интенсивности и гранулометрического состава.

Исследования были выполнены посредством численного решения сопряженной задачи теплообмена кабель — окружающая среда с учетом компонентного состава окружающего газа, многофазности и теплообмена излучением.

В результате численного моделирования получены зависимости времени остывания кабеля в различных огнетушащих средах, которые имеют хорошую сходимость с экспериментальными значениями (рис. 5).

Исходя из результатов экспериментальной работы и математического моделирования, а также имеющегося опыта по тушению кабелей следует, что процесс тушения кабелей различными огнетушащими веществами должен включать две стадии: ликвидацию пламенного горения и охлаждение перегретого кабеля.

По результатам работы была проведена оценка эффективности различных огнетушащих веществ и получен рейтинг их эффективности для каждой стадии пожаротушения. При оценке эффективности различных огнетушащих веществ учитывалось время ликвидации пламенного горения, время остывания жилы до безопасной температуры и суммарный удельный расход огнетушащего вещества, требуемый для обеспечения ликвидации пламенного горения и охлаждения кабеля.

В соответствии с данным рейтингом наиболее эффективным средством на стадии ликвидации пламенного горения является порошок, а на стадии охлаждения — тонкораспыленная вода или водяной туман, в связи с чем целесообразно использовать в качестве системы пожаротушения комбинированную установку пожаротушения с последовательной

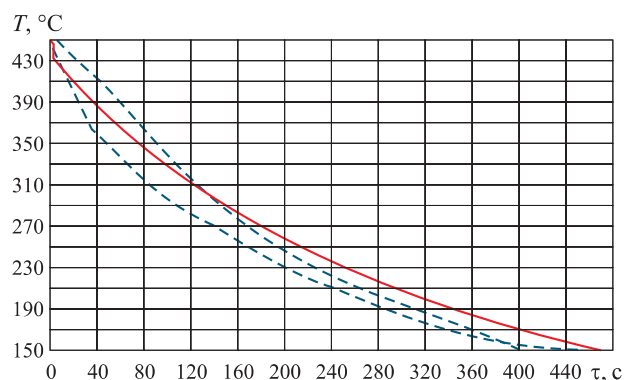


Рис. 5. Сопоставление экспериментальных результатов (---) и данных моделирования (—) по остыванию кабеля в воздухе

подачей порошка и воды. После ликвидации горения порошком мелкие капли воды могут свободно достигать поверхности кабеля из-за отсутствия мощной конвективной колонки, что позволяет до минимума снизить интенсивность подачи воды. Это решение даст возможность существенно сократить удельный расход огнетушащих веществ.

На основании данного заключения и результатов исследований Научно-техническим объединением «Пламя» (ООО «НТО Пламя») в сотрудничестве с ФГБУ ВНИИПО МЧС России на базе существующих порошковых и водяных модулей пожаротушения была разработана автоматическая установка комбинированного пожаротушения в кабельных сооружениях АУПТ КС «Туман», успешно прошедшая натурные испытания на экспериментальном стенде ФГБУ ВНИИПО МЧС России, а также разработаны технические условия и рекомендации по проектированию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белоусов Л. И., Былинкин В. А., Ланин Д. Г., Первых А. В., Поляков Д. В., Цариченко С. Г. Системы пожаротушения в кабельных сооружениях // Пожарная безопасность многофункциональных и высотных зданий и сооружений : матер. 19-й науч.-практ. конф. — Ч. 2. — М. : ВНИИПО МЧС России, 2005. — С. 26–27.
2. Агафонов В. В., Ланин Д. Г., Никонова Е. В., Цариченко С. Г. Исследование эффективности средств аэрозольного пожаротушения в кабельных сооружениях // Комплексная безопасность России — исследования, управление, опыт : матер. междунар. симпозиума. Секция «Технические средства и технологии борьбы с пожарами». — М. : ВНИИПО МЧС России, 2004.
3. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) : утв. Минэнерго России; введ. 01.07.2000 г. — Изд. 7-е. — М. : НЦ ЭНАС, 1999.

Материал поступил в редакцию 15 декабря 2012 г.

English

SUBSTANTIATION OF THE SELECTION OF FIRE EXTINGUISHING AGENT FOR ELECTRIC CABLES

LANIN Dmitriy Gennadyevich, Engineer-Expert, ООО «Avantage» [Avantage, Ltd.] (Dorogobuzhskaya St., 4, Moscow 143903, Russian Federation; e-mail address: mitroll@yandex.ru)

POLYAKOV Dmitriy Vitalyevich, Deputy Head of the Fire Automation Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow 129366, Russian Federation)

TSARICHENKO Sergey Georgiyevich, Doctor of Technical Sciences, Deputy Head, Federal State Budgetary Establishment All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia (VNIPO, 12, Moscow Region, Balashikha 143903, Russian Federation)

ABSTRACT

The fires in cable works are very dangerous and are accompanied by large material damage; therefore their protection by automatic fire suppression systems or by equipment for discharge of fire extinguishing agents is required. In this work the extinguishing process of cables is composed of two stages: the first one consists in the elimination of flaming burning, the second — in the cooling of conductor which usually presents a source of the cable fire and a possible reigniting source. To substantiate the choice of the best and most effective means for the cable extinguishment, the experimental investigation in extinguishment processes is performed, taking into account the emergency cooling process after elimination of the cable wires flaming by use of various fire extinguishing agents. The mathematical model of the conductor cooling in various fire extinguishing media is elaborated. On the base of obtained results, the effectiveness of various fire extinguishing agents are assessed and their efficiency rating for each fire extinguishing stage is obtained. The combined automatic fire suppression system for cable works is developed.

Keywords: fire extinguishing; cable; fire extinguishing agents; conductor; reignition; model; fire suppression system; efficiency.

REFERENCES

1. Belousov L. I., Bylinkin V. A., Lanin D. G., Pervykh A. V., Polyakov D. V., Tsarichenko S. G. Sistemy pozharotusheniya v kabelnykh sooruzheniyakh [Fire suppression system for cable constructions]. *Pozharnaya bezopasnost mnogofunktsionalnykh i vysoznykh zdaniy i sooruzheniy: mater. 19-y nauch.-prakt. konf.* [Proc. 19th Scientific and Practical Conference “Fire safety of multifunction and high-rise buildings”]. Moscow, VNIPO of Emercom of Russia Publ., 2005, part 2, pp. 26–27.
2. Agafonov V. V., Lanin D. G., Nikonova Ye. V., Tsarichenko S. G. Issledovaniye effektivnosti sredstv aerolnogo pozharotusheniya v kabelnykh sooruzheniyakh [Research the effectiveness of aerosol fire extinguishing in cable constructions]. *Kompleksnaya bezopasnost Rossii — issledovaniya, upravleniye, opyt: mater. mezhdunar. simpoziuma. Sektsiya “Tekhnicheskiye sredstva i tekhnologii borby s pozharami”* [Proc. International Symposium “Complex security in Russia: research, management, experience. Section “Technical means and technology on fire”]. Moscow, VNIPO of Emercom of Russia Publ., 2004.
3. *Pravila ustroystva elektroustanovok (PUE)* [Electric Installation Code]. Moscow, NTs ENAS Publ., 1999.

Из пожарно-технического энциклопедического словаря

КАБЕЛЬНАЯ ПРОХОДКА — изделие или сборная конструкция, предназначенные для прохода электрических кабелей (кабельных линий) через стены, перегородки, перекрытия, включающие в себя заделочные материалы и (или) сборные элементы, закладные детали (трубы, короба, лотки) и кабельные изделия.

КАБЕЛЬНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЛИНИЯ — линия для передачи электроэнергии или отдельных ее импульсов, состоящая из одного или нескольких параллельных кабелей с соединительными, стопорными и концевыми муфтами (заделками) и крепежными деталями, а для маслonaполненных линий, кроме того, с подпитывающими аппаратами и системой сигнализации давления масла. Пожарная опасность кабельных электрических линий характеризуется: пределами распространения горения и пределами пожаростойкости. Предел распространения горения — максимальное расстояние в любую сторону от зоны действия внутреннего или внешнего источника зажигания, на которое распространяется горение. Предел пожаростойкости — минимальное время, в течение которого кабельная линия выполняет свои функции в условиях пожара.

Ю. В. ГУРЬЕВ, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой, Военно-морской политехнический институт Военного учебно-научного центра ВМФ “Военно-морская академия” (Россия, 197045, г. Санкт-Петербург, Ушаковская наб., 17/1)

И. В. ТКАЧЕНКО, д-р техн. наук, доцент кафедры гидромеханики и морской акустики, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет (Россия, 190008, г. Санкт-Петербург, ул. Лощманская, 3)

Ю. С. ЕРЕМИН, начальник IT-отдела, ООО “Международный научный инновационный центр строительства и пожарной безопасности” (Россия, 199155, г. Санкт-Петербург, ул. Уральская, 13; e-mail: risk@stopfire.ru)

УДК 51-74

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ОРОСИТЕЛЕЙ АВТОМАТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ПОЖАРОТУШЕНИЯ ТОНКОРАСПЫЛЕННОЙ ВОДОЙ

Рассмотрены основные модели вязких турбулентных потоков, применяемые в численном инженерном анализе, с оценкой возможности их практического использования. Описаны основные предположения, лежащие в основе большинства моделей турбулентности. Проведено сравнение результатов численного моделирования процесса распыления из оросителя тонкораспыленной воды с экспериментальными данными. Установлено, что в целом компьютерное моделирование обеспечивает адекватное прогнозирование сложных двухфазных течений и может быть использовано при гидродинамическом проектировании оросителей для автоматических установок пожаротушения тонкораспыленной водой.

Ключевые слова: ороситель; тонкораспыленная вода; компьютерное моделирование.

Эффективность функционирования автоматических установок пожаротушения тонкораспыленной водой (АУПТ ТРВ) решающим образом зависит от гидродинамического качества входящих в их состав оросителей, генерирующих поток тонкораспыленной воды. Традиционно характеристики новых моделей таких оросителей определяются экспериментально уже после изготовления по методикам, предназначенным для проверки технических параметров оросителей автоматических установок водяного и пенного пожаротушения [1, 2]. Вместе с тем на практике в настоящее время уже широко используются компьютерные технологии гидродинамического анализа, имеющие в ряде случаев существенное преимущество перед методами физического моделирования [3].

Настоящая статья продолжает развитие подхода, изложенного в [4] и основанного на использовании моделей вычислительной гидродинамики при проектировании оросителей АУПТ ТРВ, и включает:

- описание основных моделей вязких турбулентных потоков, применяемых в численном инженерном анализе, и оценку возможности их практического использования при решении рассматриваемой задачи;

- результаты численного моделирования процесса распыления из оросителя тонкораспыленной воды и их сравнение с экспериментальными данными.

Основные модели турбулентного движения вязкой жидкости

Для прогнозирования двухфазного течения, создаваемого оросителем, методами, рассмотренными в [4], исходя из производительности современных компьютеров возможно использование двух основных моделей, дифференциальные уравнения которых получены из уравнений Навье–Стокса [3] с помощью специальных математических процедур осреднения.

Исторически первой возникла модель Рейнольдса URANS (Unsteady Reynolds Averaged Navier–Stokes), одноименные уравнения которой представляют собой осредненные по времени исходные уравнения. Вторая, существенно более поздняя, модель базируется на так называемых уравнениях метода крупных вихрей LES (Large Eddy Simulation), полученных с помощью осреднения уравнений Навье–Стокса по объему [3]. Кратко остановимся на описании этих моделей, включающих дифференциальные уравне-

ния, замыкающие их соотношения, начальные и граничные условия.

В основе модели Рейнольдса лежат, как уже было сказано, осредненные по временному интервалу уравнения Навье–Стокса (закон сохранения импульса), которые в отечественной литературе именуются уравнениями Рейнольдса, и уравнение неразрывности (закон сохранения массы):

$$\left. \begin{aligned} \rho \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \right) = \\ = - \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial}{\partial x_j} \overline{\rho u'_i u'_j}; \\ \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_j} = \frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} = 0, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где u — скорость истечения струи;

ρ — плотность жидкости;

p — давление в среде;

μ — коэффициент динамической вязкости;

i, j — индексы ортов декартовой системы координат, с помощью которых обеспечивается цифровая индексация координат и проекций скоростей $\bar{u}$ на оси этой системы: $x_1 = x$, $x_2 = y$, ..., $u_3 = u_z$;

черта над физической величиной означает осреднение по времени, а штрих (например, u'_i) — ее пульсационную составляющую.

При такой форме записи использовано соглашение Эйнштейна о суммировании по повторяющимся индексам: если в формуле встречается член с одинаковыми индексами, то это — компактное представление суммы. Иллюстрацией этого правила является запись второго уравнения системы (1)–(2).

По сравнению с уравнениями Навье–Стокса в уравнениях Рейнольдса появились дополнительные неизвестные $(\partial/\partial x_j) \overline{\rho u'_i u'_j}$ — пространственные производные от девяти новых неизвестных величин $\tau'_{ij} = -\overline{\rho u'_i u'_j}$ называемых турбулентными напряжениями, пульсационными напряжениями или напряжениями Рейнольдса. Благодаря свойству парности этих напряжений $\tau'_{ij} = \tau'_{ji}$ неизвестными остаются только шесть из них. В результате общее число неизвестных (десять) становится больше числа уравнений (четыре), что делает систему (1)–(2) незамкнутой и приводит к необходимости моделирования напряжений τ'_{ij} с использованием гипотез, называемых моделями турбулентности.

В основе большинства моделей турбулентности лежат два важных предположения: предложенная А. Н. Колмогоровым гипотеза о локальной изотропности турбулентных течений, справедливая для высоких чисел Рейнольдса, и градиентно-диффузионная гипотеза (гипотеза Буссинеска), согласно кото-

рой напряжения Рейнольдса описываются зависимостью

$$\tau'_{ij} = -\overline{\rho u'_i u'_j} = \rho \nu_T \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \rho \delta_{ij} k, \quad (3)$$

где ν_T — коэффициент турбулентной вязкости, имеющий ту же размерность, что и коэффициент кинематической вязкости, но совершенно иную природу;

k — кинетическая энергия турбулентных пульсаций; $k = 1/2 \overline{u'_i u'_i}$;

δ_{ij} — дельта-функция.

Не ставя перед собой задачу описания всего многообразия существующих моделей турбулентности, с которыми можно познакомиться в [3, 5], заметим, что большинство из них (в том числе и используемая в статье) являются дифференциальными и основаны на представлении турбулентной вязкости в виде

$$\nu_T = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}, \quad (4)$$

где C_μ — эмпирическая постоянная величина (строго — функция), часто принимаемая равной 0,09; ε — скорость диссипации кинетической энергии турбулентности.

Модели, использующие для нахождения турбулентной вязкости соотношение (4), называют $(k-\varepsilon)$ -моделями. В них неизвестную кинетическую энергию турбулентности и скорость ее диссипации находят решением дополнительно к системе (1)–(2) еще двух дифференциальных транспортных уравнений. Для сложных по структуре течений, включая течения с отрывом потока, применяют модели, в которых используется уравнение для переноса псевдозавихренности $\omega = \varepsilon/k$. Такие модели называют $(k-\omega)$ -моделями.

Уравнения метода крупных вихрей получают путем осреднения уравнений Навье–Стокса по объему с помощью специальной процедуры, называемой пространственной фильтрацией. В результате появляется также незамкнутая система четырех дифференциальных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \rho \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \right) = - \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j}; \\ \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_j} = 0, \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

где $\bar{\cdot}$ над величиной означает ее осреднение по объему;

τ_{ij} — неизвестный тензор подсеточных напряжений; находится с помощью специальных моделей, которые делятся на два класса: модели добавочной вязкости и модели синтетических полей.

Авторы использовали одну из моделей добавочной вязкости — модель Смагоринского [3, 5]. В этой

модели, используя гипотезу Буссинеска, получают следующие расчетные зависимости для анизотропной части подсеточных напряжений:

$$\tau_{ij}^a = -2\nu_{SGS} \bar{S}_{ij}; \quad \bar{S}_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right), \quad (7)$$

где ν_{SGS} — подсеточная вязкость, которая находится согласно гипотезе длины смешения по формуле

$$\nu_{SGS} = l_S^2 |\bar{S}| = (C_S \Delta)^2 |\bar{S}|; \quad |\bar{S}| = \left(2 \bar{S}_{ij} \bar{S}_{ij} \right)^{1/2}, \quad (8)$$

l_S — длина смешения Смагоринского; $l_S = C_S \Delta$; C_S — константа Смагоринского; $C_S = 0,17$;

$|\bar{S}|$ — характерная отфильтрованная скорость сдвига.

Для решения конкретной задачи с помощью рассмотренных моделей необходимо поставить граничные и начальные условия, учитывая класс их уравнений. Известно, что эти уравнения относятся к классу не вполне параболических уравнений. Это означает, что, несмотря на их формальную принадлежность к классу параболических уравнений, они обладают гиперболическими свойствами. Детальный теоретический анализ корректности постановки граничных условий для подобных систем для случая сжимаемых дозвуковых течений приведен в [6], а для класса несжимаемых течений — в [7]. Основываясь на этих работах, можно сформулировать некоторые общие рекомендации для постановки граничных условий.

Условно расчетную область можно представить в форме параллелепипеда (рис. 1), ограниченного входной границей, выходной границей и боковыми гранями.

На входном участке границы необходимо наложить граничные условия на вектор скорости, дополненные еще одним условием, накладывающим ограничение на комбинацию нормальной компоненты скорости и давления, а не только одно ограничение на поток скорости, как в случае твердой стенки. Тогда на входной границе должен быть определен вектор скорости, характеристики турбулентности (при необходимости) и ограничен поток по полю давления:

$$u_1(t) = u_{1in}; \quad u_2(t) = u_{2in}; \quad u_3(t) = u_{3in};$$

$$k(t) = k_{in}; \quad \left. \frac{\partial p}{\partial n} \right|_{in} = 0.$$

На выходной границе должны быть ограничены две компоненты скорости, характеристика турбулентности и определено давление:

$$\frac{\partial u_2}{\partial n} = 0; \quad \frac{\partial u_3}{\partial n} = 0; \quad \frac{\partial k}{\partial n} = 0; \quad p(t) = p_{out}.$$

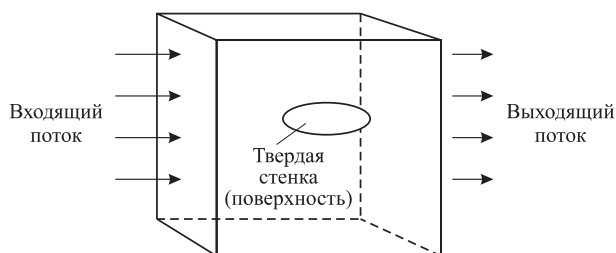


Рис. 1. Условная расчетная область для постановки граничных условий

На твердых поверхностях (стенке) должны быть поставлены три граничных условия, ограничивающие компоненты поля скорости, — условия прилипания:

$$\bar{u}_i|_{wall} = 0.$$

В качестве начальных обычно принимаются условия постоянства скорости и давления во всех точках потока. Следует отметить, что такие начальные условия не являются вполне корректными, так как не удовлетворяют уравнению неразрывности. Поэтому на начальных этапах интегрирования дифференциальных уравнений рассматриваемых моделей происходит адаптация этих условий к уравнению неразрывности.

Одним из важных вычислительных вопросов моделирования турбулентных течений с помощью моделей URANS и LES является выбор способа описания движения жидкости в пристеночной области. Например, в методе крупных вихрей для корректного описания течения вблизи стенки используются: а) прямое разрешение пристеночной области; б) моделирование течения на основе метода пристеночных функций; в) моделирование течения на основе зонального приближения (уравнений пограничного слоя), к которому также относится метод отсоединенных вихрей [3, 5]. В случае “а” шаг расчетной сетки должен разрешать 80 % энергии потока в пристеночной зоне, где имеют место наибольшие градиенты. В случаях “б” и “в” требования к сетке не столь высоки, так как вблизи стенки (во внутренней области) течение моделируется на основе зависимостей теории пограничного слоя.

Наиболее популярными в силу меньшей трудоемкости являются модели на основе закона стенки (пристеночные функции) [8]. В них предполагается, что касательные напряжения постоянны между первым расчетным узлом “ p ” и стенкой и равны напряжению на стенке τ_w . В этом случае номинальное значение динамической скорости $u_\tau^* = (\tau_w/\rho)^{1/2}$ может быть рассчитано по формуле $u_\tau^* = C_\mu^{1/4} k_p^{1/2}$.

Тогда соответствующее ей значение безразмерной координаты может быть оценено так:

$$y_p^+ = y_p u_\tau^* / \nu,$$

а номинальная скорость в первом расчетном узле находится из логарифмического профиля скорости:

$$\frac{\overline{u_p}}{u_\tau^*} = \frac{1}{\kappa^*} \log y_p^+ + B,$$

где κ^* — константа Кармана;
 B — константа.

Из условия баланса продукции турбулентной кинетической энергии и скорости ее диссипации граничное условие для диссипации ε_p приобретает следующий вид:

$$\varepsilon_p = (u_\tau^*)^3 / (\kappa^* y_p).$$

При этом полагается, что нормальный поток для кинетической энергии турбулентности на стенке равен нулю, т. е.

$$\left. \frac{\partial k}{\partial n} \right|_{wall} = 0.$$

Результаты численного моделирования процесса распыления

Целью проведения вычислительного эксперимента было определение характеристик оросителя, форма и параметры которого были получены по данным экспериментальных исследований, проведенных одним из авторов статьи. Схема распылителя представлена на рис. 2.

Расчеты параметров течения, возникающего при работе распылителя АУПТ ТРВ предложенной конструкции, были выполнены с помощью двух рассмотренных выше моделей турбулентных потоков с привлечением метода объема жидкости в ячейке VOF (Volume of Fluid), в котором многофазная среда рассматривается как единая субстанция [4]. При этом использовались коммерческий пакет

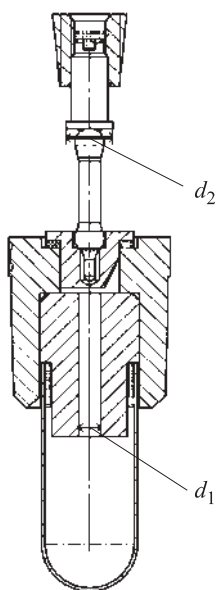


Рис. 2. Схема исследуемого распылителя АУПТ ТРВ: d_1 — диаметр выходного отверстия оросителя; d_2 — диаметр рабочей поверхности

Fluent (URANS-модель) и университетский пакет *Flow FES* (LES-модель) [3].

Расчеты выполнялись на высокопроизводительном компьютерном кластере, имеющем следующие характеристики: число узлов — 16, каждый из которых включает по два двудерных процессора AMD 2.2 ГГц; общий объем оперативной памяти — 64 Гб; максимальная производительность — около 270 гигафлопс (миллиардов операций в секунду).

Первые расчеты проводились с помощью модели крупных вихрей. Они показали, что даже при использовании достаточно производительных компьютеров применение этой модели оказывается неприемлемым из-за слишком больших затрат времени. Расчеты были остановлены на 37-е сутки работы кластера, загруженного выполнением только одной задачи. В результате удалось рассчитать лишь начальный этап распыления воды (около 0,15 с). Компьютерные картины эволюции поля коэффициента смеси (отношение объема воды, содержащейся в расчетной ячейке, к ее объему), прогнозируемого методом LES, представлены на рис. 3.

Полученная в ходе вычислительного эксперимента оценка трудоемкости расчетов параметров истечения струи из распылителя по модели LES показала невозможность ее использования на практике, что побудило авторов применять для дальнейших исследований более экономичную модель URANS. Однако и эта модель потребовала от 2 до 17 сут для расчета одного варианта трехмерного процесса распыления. Время расчета определялось, в первую очередь, количеством узлов расчетной сетки, а также используемой моделью турбулентности и ее параметрами.

В этих условиях для ускорения процесса предварительных вычислений, связанных с выбором модели турбулентности, было принято решение об использовании более экономичной модели, в которой рассматривалось течение, близкое к плоскому, в расчетной области размерами $4 \times 2,5 \times 0,01$ м³. Средняя скорость истечения жидкости из сопла распылителя в модели принималась равной средней скорости истечения из реального сопла круглой формы и составляла 26–33 м/с. В результате значения определяющего для рассматриваемой задачи критерия подобия Рейнольдса в реальном и квазиплоском течениях оказались идентичны.

В ходе вычислительного эксперимента были проведены расчеты с использованием трех моделей турбулентности: стандартной ($k-\varepsilon$)-модели турбулентности (SKE), ($k-\omega$)-модели (KW) и SST ($k-\omega$)-модели (SST KW). Его результаты показали, что физически более обоснованные результаты и лучшую сходимость обеспечивает SST ($k-\omega$)-модель, предложенная Ментором.

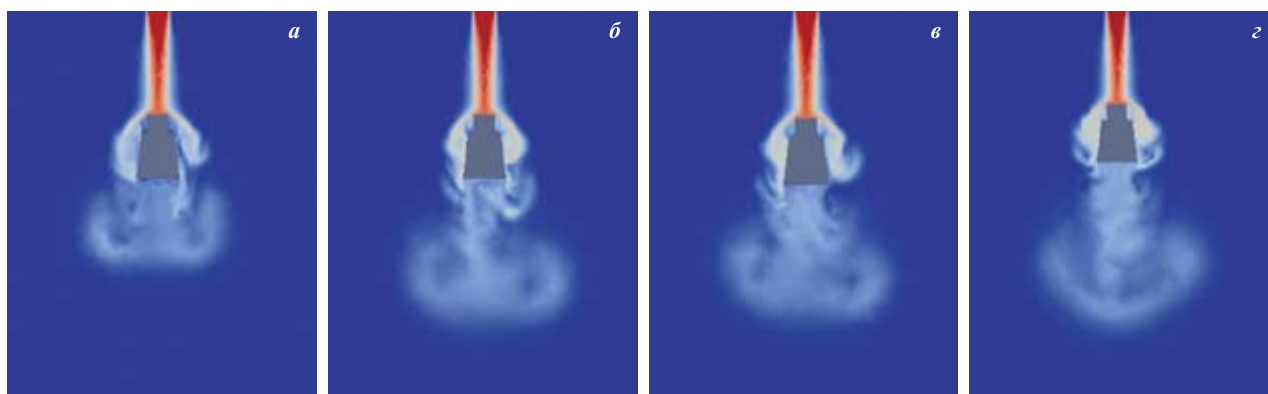


Рис. 3. Развитие течения на начальном этапе распыления (LES-модель) в моменты времени с начала истечения струи: а — 0,071 с; б — 0,094 с; в — 0,106 с; д — 0,129 с

Дальнейшие расчеты выполнялись с использованием данной модели в предположении, что течение имеет осесимметричный характер. Приближенность такого допущения заключается в том, что осевая симметрия потока, имеющая место на начальном участке течения при выходе воды из сопла распылителя, затем нарушается при обтекании двух элементов конструкции распылителя, обеспечивающих его крепление. Допущение об осесимметричном характере течения позволяет выполнять расчет только в одной четверти области течения, тем самым многократно снижая объем необходимых вычислений.

Был выполнен расчет параметров работы распылителя для трех вариантов соотношения диаметров сопла d_1 и рабочей площадки d_2 при постоянном давлении в подводящем трубопроводе p и переменном расходе воды через ороситель Q . Результаты расчета приведены в табл. 1.

В ходе расчетов были получены не только интегральные, но и распределенные характеристики потока. На рис. 4 в качестве иллюстрации представлены распределение плотности взвеси и изменение массовой интенсивности орошения вдоль радиуса зоны орошения, имеющей форму круга. Результаты соответствуют геометрическим и гидродинамическим параметрам варианта № 1 из табл. 1.

В табл. 2 приведены результаты расчета массовой интенсивности и коэффициента равномерности орошения и их экспериментальные оценки.

Сопоставление опытных и расчетных данных показывает, что в целом компьютерное моделирование на основе решений уравнений Рейнольдса

Таблица 1. Геометрические и гидродинамические параметры расчетных течений

Номер варианта	d_1 , мм	d_2 , мм	p , МПа	Q , л/с
1	5,0	4,5	0,85	0,645
2	6,0	5,5	0,85	0,784
3	7,0	6,3	0,85	1,014

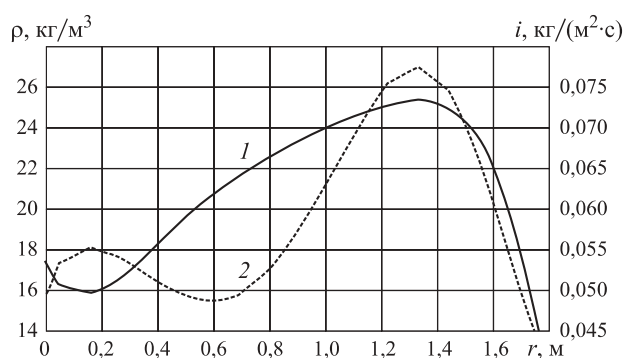


Рис. 4. Изменение плотности (1) и массовой интенсивности орошения (2) взвеси вдоль радиуса

Таблица 2. Сопоставление расчетных и экспериментальных значений массовой интенсивности I_m и коэффициента равномерности орошения R

Вариант	Значение I_m , кг/(м²·с)		Значение R	
	Расчет	Эксперимент	Расчет	Эксперимент
1	0,051	$\geq 0,040$	0,43	$\leq 0,5$
2	0,065	$\geq 0,055$	0,45	$\leq 0,5$
3	0,079	$\geq 0,065$	0,53	$\leq 0,5$

обеспечивает возможность прогнозирования важнейших характеристик работы оросителя и может применяться при проектировании систем пожаротушения для расчета течений.

Выводы

1. Рассмотрены основные модели турбулентных течений URANS и LES, используемые в современном гидродинамическом анализе, и проведен вычислительный эксперимент по их применению при расчете течений из оросителей АУПТ ТРВ.

2. Вычислительный эксперимент показал высокую трудоемкость (и по объему, и по времени вычислений) применения для решения рассматриваемой задачи моделей LES, в то время как модели URANS оказались более приемлемыми по этому по-

казателю, который в перспективе будет неуклонно снижаться вследствие роста производительности компьютеров.

3. Сопоставление опытных и расчетных гидродинамических характеристик оросителей показы-

вает, что в целом компьютерное моделирование обеспечивает адекватное прогнозирование сложных двухфазных течений и может быть использовано при гидродинамическом проектировании оросителей АУПТ ТРВ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 51043–2002. Установки водяного и пенного пожаротушения автоматические. Оросители. Общие технические требования. Методы испытаний. — Введ. 01.07.2003 г. — М. : ИПК Изд-во стандартов, 2002. — 50 с.
2. НПБ 87–2000. Установки водяного и пенного пожаротушения автоматические. Оросители. Общие технические требования. Методы испытаний : приказ ГУПИС МВД России от 28.04.2001 г. № 27; МЧС России от 18.06.2003 г. № 316; введ. 01.07.2001 г. — М. : ВНИИПО МВД России, 2001. — 76 с.
3. Гурьев Ю. В., Ткаченко И. В. Компьютерные технологии в корабельной гидродинамике. — СПб. : ВМИИ, 2010. — 313 с.
4. Гурьев Ю. В., Ткаченко И. В., Еремин Ю. С. Анализ методов компьютерного моделирования процесса распыления из оросителя тонкораспыленной воды // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 10. — С. 77–80.
5. Волков К. Н., Емельянов В. Н. Моделирование крупных вихрей в расчетах турбулентных течений. — М. : Физматлит, 2008. — 386 с.
6. Poinso T. J., Lele S. K. Boundary Conditions for Direct Simulations of Compressible Viscous Flows // J. Comput. Physics. — 1992ю — Vol. 101. — P. 104.
7. Андросов А. А., Вольцингер Н. Е. Пролиты Мирового океана. Общий подход к моделированию. — СПб. : Наука, 2005. — 187 с.
8. Launder B. E., Spalding D. B. Mathematical Model of Turbulence. — London : Acad. Press., 1972.

Материал поступил в редакцию 12 ноября 2012 г.

English

COMPUTATIONAL MODELING METHODS IN DESIGN OF IRRIGATOR WITH WATER SPRAY

GURYEV Yuriy Vladimirovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department, Navy Polytechnic Institute of Navy Academy (Ushakovskaya Quay, 17/1, Saint-Petersburg 197045, Russian Federation)

TKACHENKO Igor Vyacheslavovich, Doctor of Technical Sciences, Associated Professor of Hydromechanics and Marine Acoustics Department, State Marine Technical University of Saint-Petersburg (Lotsmanskaya St., 3, Saint-Petersburg 190008, Russian Federation)

YEREMIN Yuriy Sergeyevich, Head of IT-Department, International Scientific Innovational Centre of Construction and Fire Safety (Uralskaya St., 13, Saint-Petersburg 199155, Russian Federation)

ABSTRACT

The study investigated the utility of computational hydrodynamics application to design of irrigator for water spray fire-extinguishing system.

Main principles of turbulent flow models used in modern hydrodynamic analysis were presented in the article: URANS (Unsteady Reynolds Averaged Navier–Stokes) and LES (Large Eddy Simulation). Main assumptions underlying most turbulence models were described. Main problems of initial and boundary conditions for specified equation classes were presented and ways to resolve them were proposed. Ways to describe liquid flow in wall-adjacent area were introduced.

Experimental calculations for irrigation flow with these models were described for practical example with water spray irrigator in fire-extinguishing systems. The calculations for irrigator flow were performed with the models mentioned above; method VOF (Volume of Fluid) was used. The aim

of the experiment was to show irrigator characteristics, which shape and parameters were determined by experimental data. The experiment demonstrates unprofitable cost of LES-model, while URANS-model provides acceptable cost value. Experimental and calculated parameter comparison proves that computing modeling provides adequate prediction for complex biphasic flow and can be used for hydrodynamic design of water spray irrigators.

Keywords: irrigator; water spray; computer modeling.

REFERENCES

1. GOST R 51043–2002. *Ustanovki vodyanogo i pennogo pozharotusheniya avtomaticheskoye. Orositeli. Obshchiye tekhnicheskiye trebovaniya. Metody ispytaniy* [State Standard 51043–2002. Automatic water and foam fire fighting systems. Sprinklers, spray nozzles and water mist nozzles. General technical requirements. Test methods]. Moscow, Standartinform Publ., 2002. 50 p.
2. NPB 87–2000. *Ustanovki vodyanogo i pennogo pozharotusheniya avtomaticheskoye. Orositeli. Obshchiye tekhnicheskiye trebovaniya. Metody ispytaniy* [Standards of Fire Safety No. 87–2000. Automatic water and foam fire fighting systems. Sprinklers, spray nozzles and water mist nozzles. General technical requirements. Test methods]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2001. 76 p.
3. Guryev Yu. V., Tkachenko I. V. *Kompyuternyye tekhnologii v korabelnoy gidrodinamike* [Computational technologies in naval hydrodynamics]. St.-Petersburg, NEI [Naval Engineering Institute] Publ., 2010. 313 p.
4. Guryev Yu. V., Tkachenko I. V., Yeregin Yu. S. Analiz metodov kompyuternogo modelirovaniya protsessa raspyleniya iz orositelya tonkoraspynennoy vody [Analysis of computer modeling methods for spraying process in irrigator with water spray]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 10, pp. 77–80.
5. Volkov K. N., Yemelyanov V. N. *Modelirovaniye krupnykh vikhrey v raschetakh turbulentnykh techeniy* [Large Eddy Modeling in turbulent flow calculation]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2008. 386 p.
6. Poinot T. J., Lele S. K. Boundary Conditions for Direct Simulations of Compressible Viscous Flows. *J. Comput. Physics*, 1992, vol. 101, p. 104.
7. Androsov A. A., Voltsinger N. Ye. *Prolivy Mirovogo okeana. Obshchiy podkhod k modelirovaniyu* [World ocean straits. General approach to modeling]. St.-Petersburg, Nauka [Science] Publ., 2005. 187 p.
8. Launder B. E., Spalding D. B. *Mathematical Model of Turbulence*. London, Acad. Press., 1972.



ПОЖАРНЫЙ ШЛЕМ БУДУЩЕГО: ВИДЕТЬ СКВОЗЬ ДЫМ И СЛЫШАТЬ ПОСТРАДАВШИХ

Пожарные по всему миру рискуют собственной жизнью для спасения других из огня в различных условиях — и при лесных пожарах, и при чрезвычайных ситуациях в городах. Чаще всего сбор и экипировка пожарных происходят в большой спешке, поскольку время играет против них. Из-за этого в результате свойственной людям способности к ошибкам они могут забыть отдельные важные части экипировки.

Дизайнер Omer Naciomeroglu представляет концепт пожарного шлема будущего — *C-Thru Smoke Diving Helmet*. Шлем оснащен технологией каркасной подсветки, которая помогает пожарному различать очертания объектов, обычно невидимые в дыму, и сокращает время разведки. Встроенная в шлем коммуникационная система освобождает для работы руки пожарного, занятые зачастую при использовании обычной экипировки устройствами связи — рацией или телефоном. Интеллектуальная система шумоподавления, снижая шум и треск от горящих объектов, позволяет более чутко улавливать крики пострадавших и своевременно прийти им на помощь.

Пожарные машины. Энциклопедия пожарной техники



**ВОПРОС:**

Как в проектно-эксплуатационной практике осуществляется нормативная оценка обязательности применения молниезащиты для пожаровзрывоопасного объекта?

ОТВЕТ:

Оценка необходимости применения молниезащиты осуществляется в соответствии с требованиями нормативных документов по молниезащите зданий и сооружений. Основные показатели, которые необходимо учитывать при этом в обязательном порядке, заложены в РД 34.21.122–87 [1].

Во-первых, это грозовая деятельность в районе местонахождения объекта, а именно среднегодовая продолжительность гроз за год в часах $n_{\text{г}}$ (для Москвы $n_{\text{г}} = 40 \div 60$ ч в год). Данный показатель определяют по карте прил. 2 [1] или по утвержденным региональным картам продолжительности гроз¹.

Во-вторых, важным показателем является среднегодовое число ударов молнии, приходящееся на 1 км² земной поверхности, или удельная плотность ударов молнии в землю n ((км²·год)⁻¹). Он выбирается по таблице прил. 2 [1] в зависимости от среднегодовой продолжительности гроз за год (для Москвы в среднем $n = 3$).

При определении вышеуказанных данных производится также расчет ожидаемого количества поражений молнией в год N (см. прил. 2 [1]), что позволяет оценить интенсивность грозовой деятельности в районе местонахождения пожаровзрывоопасного объекта и количественное значение поражений данного объекта молнией в год.

Важным фактором при нормативной оценке обязательности молниезащиты объекта является класс пожаровзрывоопасной зоны объекта. Для объектов с более опасными классами зон предусматривают более высокие категорию молниезащиты и тип зоны защиты объекта (см. табл. 1 [1]).

По устройству молниезащиты объекты делятся на три категории:

- I — здания и сооружения со взрывоопасными газовыми и пылевыми средами, с зонами классов 0, 1 и 20, 21;
- II — то же, с зонами классов 2 и 22;
- III — с пожароопасными зонами.

Здания и сооружения, отнесенные по устройству молниезащиты к I и II категориям, должны быть защищены от прямых ударов молнии, ее вторичных проявлений и заноса высокого потенциала через наземные (надземные) и подземные металлические коммуникации, а здания и сооружения, отнесенные по устройству молниезащиты к III категории, — только от прямых ударов молнии и заноса высокого потенциала через наземные (надземные) металлические коммуникации (см. п. 1.2 [1]).

Требования к выполнению всего комплекса мероприятий по молниезащите объектов I, II и III категорий и конструкциям молниеотводов изложены в § 2 и 3 [1].

Зоны защиты делятся на два типа:

- А — со степенью надежности 0,995;
- Б — со степенью надежности 0,95.

По СО 153-34.21.122–2003 [2] для пожаровзрывоопасных объектов минимально допустимая степень (уровень) надежности защиты от прямого удара молнии устанавливается в пределах 0,9–0,999 в зависимости от его общественной значимости и тяжести ожидаемых последствий от прямого удара молнии по согласованию с органами государственного контроля². По желанию заказчика в проект молниезащиты объекта может быть заложена степень надежности, превышающая предельно допустимую.

Таким образом, вопрос о нормативной обязательности молниезащиты должен решаться исходя из вышеперечисленных критериев.

Примечания:

¹ Для локальных точек на местности (например, на холмах или в низинах) среднегодовую продолжительность гроз необходимо определять исходя из данных метеостанции, ближайшей к местонахождению защищаемого здания или сооружения.

² В Инструкции [2] пожаровзрывоопасные объекты отнесены к группе специальных объектов, и конкретного деления по типу зон защиты и степени надежности для них не предусмотрено.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. РД 34.21.122–87. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений : утв. Главтехуправлением Минэнерго СССР 12.10.87 г.; введ. 12.10.87 г. — М. : Энергоатомиздат, 1989.
2. СО 153-34.21.122–2003. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций : приказ Минэнерго России от 30.06.2003 г. № 280; введ. 30.06.2003 г. — М. : Изд-во МЭИ, 2004.

Ответ подготовили преподаватели кафедры специальной электротехники, автоматизированных систем и связи Академии ГПС МЧС России канд. техн. наук, профессор, академик НАНПБ **В. Н. ЧЕРКАСОВ** и **А. С. ХАРЛАМЕНКОВ**

**ВОПРОС:**

Что такое план эвакуации? В каких случаях наличие плана эвакуации на объекте обязательно?

ОТВЕТ:

В соответствии с п. 3.11 ГОСТ Р 12.2.143–2009 [1] план эвакуации — это план (схема), в котором указаны пути эвакуации, эвакуационные и аварийные выходы, установлены правила поведения людей, порядок и последовательность действий в условиях чрезвычайной ситуации.

Согласно Правилам противопожарного режима в РФ, п. 7 [2] на объекте с массовым пребыванием людей (кроме жилых домов), а также на объекте с рабочими местами на этаже для 10 человек и более руководитель организации обеспечивает наличие планов эвакуации людей при пожаре.

Ответственность за нарушение правил пожарной безопасности согласно действующему федеральному законодательству несет руководитель объекта.



ВОПРОС:

Какие виды плана эвакуации существуют и каковы рекомендации по их составлению?

ОТВЕТ:

Существуют общеобъектовый и индивидуальный планы эвакуации.

Общеобъектовый план эвакуации состоит из графической и текстовой частей.

В графической части приводятся:

- планы здания, которые не должны быть загромождены второстепенными деталями;
- схема эвакуации людей, на которой сплошными зелеными стрелками должны быть показаны основные рекомендуемые пути эвакуации, пунктирными — запасные (вторые) пути эвакуации.

На планах эвакуации должно быть условными знаками показано размещение огнетушителей, пожарных кранов, телефонов, мест включения систем пожарной автоматики и пр.

Текстовая часть оформляется в виде таблицы (№ п/п, перечень и порядок действий, исполнитель) либо в виде инструкций или памяток о действиях при пожаре.

В документе должны быть отражены следующие моменты:

- оповещение о пожаре;
- организация эвакуации;
- проверка, все ли люди покинули помещения;
- проверка срабатывания систем пожарной автоматики; действия в случае несрабатывания систем автоматики;
- тушение пожара;
- эвакуация имущества.

Назначать исполнителей следует исходя из возможностей людей. При отработке плана эвакуации следует проводить хронометраж. Кроме того, необходимо предусматривать дублирование.

Под таблицей должны быть подписи лиц, составивших план эвакуации и подписи сотрудников, ознакомленных с ним.

Разновидностью общего плана эвакуации является индивидуальный план эвакуации, разработка которого требуется для гостиниц и общежитий. Индивидуальный план эвакуации также содержит графическую и текстовую части.

Графическая часть составляется так же, как и для общего плана эвакуации, но пути эвакуации наносятся на схему для конкретного номера или комнаты.

Текстовая часть индивидуального плана эвакуации содержит перечень действий посетителей в случае пожара и краткую памятку о мерах пожарной безопасности.

Общие рекомендации по составлению плана эвакуации таковы. При его составлении должны приниматься во внимание особенности поведения людей при пожаре, объемно-планировочные решения здания (размеры и тип коммуникационных путей и т. п.), надежность путей эвакуации (например, в здании с несколькими лестничными клетками некоторые из них более надежны, так как постоянно эксплуатируются, всегда открыты, имеют противодымную защиту). Следует также учитывать плотность людских потоков, сложившийся режим эксплуатации здания, наличие и надежность активных и пассивных систем пожарной безопасности.

При составлении плана эвакуации рекомендуется опираться на расчет динамики опасных факторов пожара и параметров движения людей.

Для существующей практики составления планов эвакуации характерно нанесение недостаточно обоснованных маршрутов движения людей при эвакуации.

По ГОСТ 12.1.004–91* [3] и СНиП 21-01–97* [4] требуется организация беспрепятственного движения людей при возникновении ЧС (т. е. движения без образования “травмоопасных” скоплений людей с высокой плотностью). Скопления людей с максимальной плотностью (9 чел./м² и более) возникают в случае недостаточной пропускной способности участков пути. С помощью проверочных расчетов можно определить такие проблемные места и составить более оптимальные маршруты эвакуации, перераспределить людские потоки по более безопасным путям эвакуации.



ВОПРОС:

Существуют ли требования по отработке плана эвакуации?

ОТВЕТ:

Без практической отработки план эвакуации остается ненужным, формально составленным и незнакомым для сотрудников документом.

Согласно Правилам противопожарного режима в РФ, п. 12 [2] на объектах с массовым пребыванием людей практические тренировки по отработке планов эвакуации должны проводиться не реже одного раза в полугодие.

Проведение учения должно фиксироваться в журнале отработки плана эвакуации. В журнал заносятся: дата проведения учения, вводная информация (например, срабатывание систем пожарной автомати-

ки или обнаружения пожара (признаков пожара) сотрудником), общее время эвакуации, хронометраж отдельных эпизодов эвакуации, а также ошибки в действиях людей и положительные примеры их поведения во время пожара. На основе разбора учебной эвакуации принимаются меры по повышению уровня пожарной безопасности здания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 12.2.143–2009. ССБТ. Системы фотолюминесцентные эвакуационные. Требования и методы контроля. — Введ. 01.07.2010 г. — М. : Стандартинформ, 2010.

2. Правила противопожарного режима в Российской Федерации : утв. постановлением Правительства Российской Федерации от 25.04.2012 г. № 390. URL : <http://www.6pl.ru/stok/pprf/390.htm>.

3. ГОСТ 12.1.004–91*. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования. — Введ. 01.07.92. — М. : Изд-во стандартов, 1991; ИПК Изд-во стандартов, 1996; 2002.

4. СНиП 21-01–97*. Пожарная безопасность зданий и сооружений. — Введ. 01.01.1998 г. — М. : ГУП ЦПП, 2002.

Ответ подготовлен с использованием материалов сайта **www.01-news.ru**

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

Вы можете присылать свои вопросы на электронную почту издательства (info@fire-smi.ru), и специалисты в области пожарной безопасности дадут Вам на них исчерпывающие и квалифицированные ответы.



Издательство «ПОЖНАУКА»

ВНИМАНИЕ! Распространяется БЕСПЛАТНО!

А. Я. Корольченко, О. Н. Корольченко
СРЕДСТВА ОГНЕ- и БИОЗАЩИТЫ
 Изд. 3-е, перераб. и доп. — 2010. — 250 с.



В третье издание внесены существенные изменения: включена глава, посвященная механизму огнебиозащиты древесины, расширена глава по анализу требований, содержащихся в нормативных документах по средствам огнезащиты, и их применению в практике строительства. Приведена информация ведущих производителей средств, предлагаемых на отечественном рынке для огнезащиты: древесины (пропитки, лаки и краски), несущих металлических конструкций (средства для конструктивной огнезащиты, огнезащитные штукатурки, вспучивающиеся покрытия), воздуховодов, кабелей и кабельных проходок, ковровых покрытий и тканей. Представлены также биозащитные составы для древесины.

Информация о средствах огне- и биозащиты включает данные о рекомендуемых областях их применения, эффективности, технологии нанесения, организациях-производителях.

Издание предназначено для работников проектных организаций, специалистов в области огне- и биозащиты и пожарной безопасности.

121352, г. Москва, а/я 43; тел./факс: (495) 228-09-03;
 e-mail: mail@firepress.ru; www.firepress.ru

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ!

Направляемые в журнал “ПОЖАРОВЗРЫВБЕЗОПАСНОСТЬ” статьи должны представлять собой результаты научных исследований и испытаний, описания новых технических устройств и программно-информационных продуктов; проблемные обзоры и краткие сообщения; комментарии к нормативно-техническим документам; справочные материалы и т. п. Методы расчета и экспериментальные данные, полученные автором, 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 должны быть сделаны краткие выводы с указанием научной новизны и практической полезности материала.

Редакция просит авторов при подготовке рукописи руководствоваться изложенными ниже правилами.

1. Статья и сопутствующие ей материалы должны быть направлены в редакцию в электронном виде по электронному адресу (info@fire-smi.ru), а также в бумажном виде по почте (121352, Российская Федерация, г. Москва, а/я 43). Статья должна быть ясно изложена, тщательно отредактирована и подписана авторами.

2. Материал статьи должен излагаться в следующем порядке.

2.1. Номер УДК (универсальная десятичная классификация).

2.2. Заглавие статьи (на русском и английском языках). Заглавия научных статей должны быть информативными, в них можно использовать только общепринятые сокращения. В переводе заглавий статей на английский язык не должно быть никаких транслитераций с русского языка, кроме неперебиваемых названий собственных имен, приборов и других объектов, имеющих собственные названия; не должен также использоваться неперебиваемый сленг, известный только русскоговорящим специалистам. Это также касается аннотаций, авторских резюме и ключевых слов.

2.3. Информация об авторах.

2.3.1. Имена, отчества и фамилии всех авторов (полностью, на русском языке и транслитерация). Авторами являются лица, принимавшие участие во всей работе или ее главных разделах. Лица, участвовавшие в работе частично, указываются в сносках.

2.3.2. Степени, звания, должность, адресные сведения о месте работы всех авторов (на русском и английском языках). Здесь необходимо указать: официальное полное название организации вместе с ведомством, к которому оно принадлежит (при переводе — желательно его официально принятый английский вариант), индекс, страну, город, название улицы, номер дома, а также контактные телефоны и электронный адрес хотя бы одного из авторов. Все почтовые сведения на иностранном языке (кроме наименования улицы, которое должно быть в транслитерированном виде) должны быть представлены на английском языке, в том числе название города и страны.

Пример: Institute for Problem in Mechanics, Russian Academy of Sciences, Prospekt Vernadskogo, 101, 119526 Moscow, Russian Federation.

2.4. Аннотация на русском языке (не менее 4–5 предложений).

2.5. Расширенное резюме на русском и английском языках. Необходимо иметь в виду, что авторские резюме на английском языке в русскоязычном издании являются для иностранных ученых и специалистов основным и, как правило, единственным источником информации о содержании статьи и об изложенных в ней результатах исследований. Поэтому авторское резюме должно быть:

- информативным (не содержать общих слов);
- оригинальным (не быть калькой с русскоязычной аннотации с дословным переводом);

■ содержательным (должно излагать существенные факты и результаты работы и не должно преувеличивать или включать материал, который отсутствует в основной части публикации);

■ структурированным (следовать логике описания результатов в публикации);

■ “англоязычным” (написано качественным английским языком; необходимо использовать активный, а не пассивный залог, т. е. “The study tested”, но не “It was tested in this study”);

■ объем текста авторского резюме должен быть не менее 100–250 слов.

Приветствуется структура резюме, повторяющая структуру статьи и включающая введение, цели и задачи, методы, результаты, заключение (выводы). Однако предмет, тема, цель работы указываются в том случае, если они неясны из заглавия статьи; метод или методологию проведения работы целесообразно описывать в том случае, если они отличаются новизной или представляют интерес с точки зрения данной работы.

Результаты работы описывают предельно точно и информативно. Приводятся основные теоретические и экспериментальные результаты, фактические данные, установленные взаимосвязи и закономерности.

Выводы могут сопровождаться рекомендациями, оценками, предложениями, гипотезами, описанными в работе.

Сведения, содержащиеся в заглавии статьи, не должны повторяться в тексте авторского резюме.

Текст должен быть связным, излагаемые положения должны логично вытекать один из другого.

Сокращения и условные обозначения, кроме общепотребительных, применяют в исключительных случаях или дают их расшифровку и определение при первом употреблении в авторском резюме.

В авторском резюме не даются ссылки на публикации, приведенные в списке литературы к статье.

2.6. Ключевые слова (на русском и английском языках).

2.7. Текст статьи (в формате Word через 1,5 инт.; формулы должны быть набраны в Equation 3.0 или MathType).

2.8. Пристатейные списки литературы на русском языке.

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

2.9. Пристайные списки литературы в романском алфавите (латинице) — References.

Для References можно предложить следующий формат:

Author A. A., Author B. B., Author C. C. Title of article. *Title of Journal*, 2005, vol. 10, no. 2, pp. 49–53.

Примеры описаний в References

Статьи из журнала:

Zagurenko A. G., Korotovskikh V. A., Kolesnikov A. A., Timonov A. V., Kardymon D. V. Tekhniko-ekonomicheskaya optimizatsiya dizaina gidrorazryva plasta [Techno-economic optimization of the design of hydraulic fracturing]. *Neftyanoe khozyaistvo — Oil Industry*, 2008, no. 11, pp. 54–57.

(Авторы (транслитерация), название статьи в транслитерированном варианте [перевод названия статьи на английский язык в квадратных скобках] (представление в References только транслитерированного (без перевода) описания недопустимо), курсивом название журнала (транслитерация — перевод), год выхода издания, номер журнала, интервал страниц. Нежелательно в ссылках делать произвольные сокращения названий источников).

Статьи из электронного журнала:

Swaminathan V., Lepkoswka-White E., Rao B. P. Browsers or buyers in cyberspace? An investigation of electronic factors influencing electronic exchange. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 1999, vol. 5, no. 2. Available at: <http://www.ascusc.org/jcmc/vol5/issue2/> (Accessed 28 April 2011).

Статьи с DOI:

Zhang Z., Zhu D. Experimental research on the localized electrochemical micro-machining. *Russian Journal of Electrochemistry*, 2008, vol. 44, no. 8, pp. 926–930. doi: 10.1134/S1023193508080077.

(Если описываемая публикация имеет doi, его указание обязательно в References).

Статьи из продолжающегося издания (сборника трудов):

Astakhov M. V., Tagantsev T. V. Eksperimental'noe issledovanie prochnosti soedinenii "stal"—kompozit [Experimental study of the strength of joints "steel-composite"]. *Trudy MG TU "Matematicheskoe modelirovanie slozhnykh tekhnicheskikh sistem"* [Proc. of the Bauman MSTU "Mathematical Modeling of Complex Technical Systems"], 2006, no. 593, pp. 125–130.

Материалы конференций:

Usmanov T. S., Gusmanov A. A., Mullagalin I. Z., Muhametshina R. Ju., Chervyakova A. N., Sveshnikov A. V. Osobennosti proektirovaniya razrabotki mestorozhdeniy s primeneniem gidrorazryva plasta [Features of the design of field development with the use of hydraulic fracturing]. *Trudy 6 Mezhdunarodnogo Simpoziuma "Novye resursoberegayushchie tekhnologii nedropol'zovaniya i povysheniya neftegazootdachi"* [Proc. 6th Int. Symp. "New Energy Saving Subsoil Technologies and the Increasing of the Oil and Gas Impact"]. Moscow, 2007, pp. 267–272.

Книги (монографии, сборники):

Nenashev M. F. *Poslednee pravitel'stvo SSSR* [Last government of the USSR]. Moscow, Krom Publ., 1993. 221 p.

Переводные книги:

Timoshenko S. P., Young D. H., Weaver W. *Vibration problems in engineering*. 4th ed. New York, Wiley, 1974. 521 p. (Russ. ed.: Timoshenko S. P., Iang D. Kh., Uiver U. *Kolebaniya v inzhenernom dele*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1985. 472 p.).

Интернет-ресурс:

Pravila Tsitirovaniya Istochnikov [Rules for the Citing of Sources] Available at: <http://www.scribd.com/doc/1034528/> (accessed 7 February 2011).

Диссертации или авторефераты диссертаций:

Semenov V. I. *Matematicheskoe modelirovanie plazmy v sisteme kompaktnyi tor*. Diss. dokt. fiz.-mat. nauk [Mathematical modeling of the plasma in the compact torus. Dr. phys. and math. sci. diss.]. Moscow, 2003. 272 p.

ГОСТы:

GOST 8.586.5–2005. *Metodika vypolneniia izmerenii. Izmerenie raskhoda i kolichstva zhidkostei i gazov s pomoshch'iu standartnykh suzhaiushchikh ustroystv* [State Standard 8.586.5–2005. Method of measurement. Measurement of flow rate and volume of liquids and gases by means of orifice devices]. Moscow, Standartinform Publ., 2007. 10 p.

или

State Standard 8.586.5–2005. Method of measurement. Measurement of flow rate and volume of liquids and gases by means of orifice devices. Moscow, Standartinform Publ., 2007. 10 p. (In Russian).

Описание патента:

Palkin M. V., e. a. *Sposob orientirovaniia po krenu letatel'nogo apparata s opticheskoi golovkoi samonavedeniia* [The way to orient on the roll of aircraft with optical homing head]. Patent RF, no. 2280590, 2006.

На сайте издательства Emerald даны достаточно подробные рекомендации по составлению пристайных списков литературы по стандарту Harvard (Harvard Reference System) практически для всех видов публикаций <http://www.emeraldinsight.com/authors/guides/write/harvard.htm?part=2>, а также программные средства для их формирования.

3. Сокращения и условные обозначения физических величин в тексте статьи должны соответствовать действующим международным стандартам. Формулы и буквенные обозначения должны быть четкими и ясными. Все буквенные обозначения, входящие в формулы, должны быть расшифрованы с указанием единиц измерения. Размерность всех характеристик должна соответствовать системе СИ.

4. Иллюстрации в электронной 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 следует предоставлять в формате той программы, в которой они созданы, либо создать PDF-файл из этой программы. Все иллюстрации должны иметь сквозную нумерацию. Чертежи в качестве иллюстраций не приемлемы.

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

6. К статьям, авторами которых являются соискатели ученых степеней, следует прилагать рецензию, которая должна быть подписана рецензентом из сторонней организации (с указанием его Ф. И. О., ученого звания, ученой степени, должности, места работы), заверена отделом кадров (ученым секретарем) и печатью.

7. Непринятые к публикации статьи автору не возвращаются. Просьба редакции о переработке материала не означает, что он принят к печати.

8. Плата с аспирантов за публикацию работ не взимается.

Приглашаем Вас к сотрудничеству на страницах нашего журнала.

ООО «ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПОЖНАУКА»

ПРЕДЛАГАЕТ ВАШЕМУ ВНИМАНИЮ

Г. И. Смелков, В. Н. Черкасов,
В. Н. Веревкин, В. А. Пехотилов, А. И. Рябиков

ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ во взрывопожароопасных зонах

Справочное пособие

М.: ООО «Издательство «Пожнаука», 2012. – 222 с.



Приводятся новые, отвечающие современной нормативной базе, требования по классификации горючих смесей и пожаровзрывоопасных зон; рекомендации по выбору и использованию оборудования, включая кабельные изделия во взрывопожароопасных зонах.

Издание предназначено для инженерно-технических работников, занимающихся проектированием и монтажом электроустановок, работников пожарной охраны и специалистов широкого профиля в качестве учебного пособия для подготовки и повышения квалификации в области пожаровзрывобезопасности электроустановок.

- 1 **Свод правил. Системы противопожарной защиты** (электронная версия). — 2011. Цена — 500 руб.
- 2 **Федеральный закон "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности"**. — 2010. — 150 с. Цена — 220 руб.
- 3 АНТОНЕНКО А. А., БУЦЫНСКАЯ Т. А., ЧЛЕНОВ А. Н. **Основы эксплуатации систем комплексного обеспечения объектов**: учебно-справочное пособие. — 2010. — 220 с. — ISBN 978-5-91444-017-3. Цена — 380 руб.
- 4 АСЕЕВА Р. М., СЕРКОВ Б. Б., СИВЕНКОВ А. Б. **Горение древесины и ее пожароопасные свойства**: монография. — 2011. — 262 с. — ISBN 978-5-9229-0045-4. Цена — 350 руб.
- 5 БРУШЛИНСКИЙ Н. Н., КОРОЛЬЧЕНКО А. Я. **Моделирование пожаров и взрывов**. — 2000. — 492 с. Цена — 540 руб.
- 6 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я. **Процессы горения и взрыва**: учебник. — 2007. — 266 с.: ил. — ISBN 978-5-91444-001-2. Цена — 450 руб.
- 7 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я., ЗАГОРСКИЙ Д. О. **Категорирование помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности**. — 2010. — 118 с. — ISBN 978-5-91444-015-9. Цена — 250 руб.
- 8 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я., КОРОЛЬЧЕНКО Д. А. **Основы пожарной безопасности предприятия. Полный курс пожарно-технического минимума**: учебное пособие. — 2011. — 320 с. — ISBN 978-5-91444-021-X. Цена — 350 руб.
- 9 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я., КОРОЛЬЧЕНКО Д. А. **Основы пожарной безопасности предприятия. Полный курс пожарно-технического минимума**: учебное пособие [Электронная версия]. — 2011. Цена — 300 руб.
- 10 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я., КОРОЛЬЧЕНКО О. Н. **Средства огнезащиты**. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — 2009. — 560 с.: ил. — ISBN 978-5-91444-010-4. Цена — 540 руб.
- 11 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я., КОРОЛЬЧЕНКО О. Н. **Средства огне- и биозащиты**. — Изд. 3-е, перераб. и доп. — 2010. — 250 с. БЕСПЛАТНО.
- 12 КОРОЛЬЧЕНКО Д. А., ГРОМОВОЙ В. Ю. **Огнетушители. Устройство. Выбор. Применение**. — 2010. — 94 с. — ISBN 978-5-91444-014-02. Цена — 140 руб.
- 13 ПИЛЮГИН Л. П. **Обеспечение взрывоустойчивости зданий с помощью предохранительных конструкций**. — 2000. — 224 с.: ил. — ISBN 5-901283-03-1. Цена — 240 руб.
- 14 ПИЛЮГИН Л. П. **Прогнозирование последствий внутренних аварийных взрывов**. — 2010. — 380 с. — ISBN 978-5-91444-016-6. Цена — 450 руб.
- 15 СМЕЛКОВ Г. И., ЧЕРКАСОВ В. Н., ВЕРЕВКИН В. Н., ПЕХОТИКОВ В. А., РЯБИКОВ А. И. **Электроустановки во взрывопожароопасных зонах**: справочное пособие. — 2012. — 222 с. — ISBN 978-5-91444-022-X. Цена — 300 руб.
- 16 ЧЕРКАСОВ В. Н., ЗЫКОВ В. И. **Обеспечение пожарной безопасности электроустановок**: учебное пособие. — 2010. — 406 с. — ISBN 978-5-91444-020-3. Цена — 470 руб.
- 17 **Электронная версия комплекта типовых инструкций по пожарной безопасности для руководителя предприятия**. Цена — 980 руб.

СУПЕРСКИДКИ

- 1 СОБУРЬ С. В. **Заполнение проемов в противопожарных преградах**: пособие. — Изд. 2-е, с изм. и доп. — 2006. — 168 с. — ISBN 5-98629-005-4. Цена — 90 руб.
- 2 СОБУРЬ С. В. **Пожарная безопасность сельскохозяйственных предприятий**: справочник. — 2005. — 88 с. — ISBN 5-98629-004-6. Цена — 36 руб.
- 3 ТЕРЕБНЕВ В. В., АРТЕМЬЕВ Н. С., ГРАЧЕВ В. А. **Транспорт: наземный, морской, речной, воздушный, метро**: учебное пособие. — 2007. — 383 с. — ISBN 5-903049-09-5. Цена — 220 руб.
- 4 ТЕРЕБНЕВ В. В., АРТЕМЬЕВ Н. С., ПОДГРУШНЫЙ А. В. **Леса, торфяники, лесосклады**. — 2007. — 358 с. — ISBN 5-903049-12-5. Цена — 220 руб.
- 5 ТЕРЕБНЕВ В. В., АРТЕМЬЕВ Н. С., ПОДГРУШНЫЙ А. В. **Объекты добычи, переработки и хранения горючих жидкостей и газов**: учебное пособие. — 2007. — 325 с. — ISBN 5-903049-11-7. Цена — 220 руб.

■ Адрес: 121352, г. Москва, а/я 43. Заказ книг: тел./факс: (495) 735-28-13, (495) 228-09-03, 8-909-940-63-94; e-mail: info@fire-smi.ru, mail@firepress.ru; www.fire-smi.ru, www.firepress.ru.

- В бланке заказа на приобретение книг просьба указать:
- 1) название организации полностью;
 - 2) реквизиты (ИНН/КПП обязательно);
 - 3) наименование и количество заказываемой литературы;
 - 4) почтовый адрес, тел./факс, e-mail, контактное лицо;
 - 5) способ доставки: самовывоз или почтовая.

■ **ВНИМАНИЕ!!!** Цены указаны без стоимости доставки, которая составляет 25 % стоимости заказа.

■ **Постоянным покупателям предоставляются скидки!**

**Издательство “Пожнаука” предлагает Вам оформить подписку
на журнал “Пожаровзрывобезопасность” на 1-е (2-е) полугодие 2013 г.**

**Подписка на полугодие включает в себя
шесть номеров журнала “Пожаровзрывобезопасность”.
Стоимость полугодовой подписки составляет 4950 руб. (НДС — 0 %).**



**ПЕРСОНАЛЬНАЯ ПОДПИСКА
на журнал**

**ПОЖАРОВЗРЫВО-
БЕЗОПАСНОСТЬ**



ISSN 0869-7493

КУПОН '2013

Издание	Цена подписки, руб.	Количество экземпляров	Стоимость подписки, руб.
Журнал “Пожаровзрывобезопасность” (1-е полугодие 2013 г.)	4950		
Журнал “Пожаровзрывобезопасность” (2-е полугодие 2013 г.)	4950		

- ☐ Укажите в таблице количество экземпляров, которое Вам необходимо.
В связи с введением обязательного составления счетов-фактур при совершении операций по реализации просим прислать также карточку Вашей организации. Эти сведения необходимы для подготовки и высылки Вам счета-фактуры.
- ☐ Заполненный купон и копию платежного поручения вышлите по тел./факсу (495) 735-28-13 или по e-mail: info@fire-smi.ru, mail@firepress.ru в отдел распространения.
- ☐ Оплату за подписку Вы можете произвести по следующим реквизитам:
ООО “Издательство “ПОЖНАУКА”
Почтовый адрес: 121357, г. Москва, а/я 43
ИНН / КПП 7731652572 / 773101001
Р/с 40702810930130056301 в ОАО “Промсвязьбанк” г. Москва
К/с 301018104000000000555
БИК 044525555
Главный редактор — *Корольченко Александр Яковлевич*

**По вопросам подписки просьба обращаться по телефонам
(495) 228-09-03, 8-909-940-63-94**

ПОДПИСКА ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ:

через ООО “Издательство “Пожнаука”;
через агентство “РОСПЕЧАТЬ”, индекс 83340;
через агентство “АПР”, индекс 83647
(в любом почтовом отделении в каталоге
“Газеты и журналы”);

через подписные агентства:
ООО “Интер-Почта 2003”, ООО “ИНТЕР-ПОЧТА-РЕГИОН”,
ООО “Урал-Пресс XXI”, ООО “Информнаука”,
ЗАО “МК-ПЕРИОДИКА”

**КРУПНЕЙШАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
ВЫСТАВКА ПО БЕЗОПАСНОСТИ**

КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ 2013

21-24 МАЯ

Москва, Всероссийский выставочный центр,
Павильон 75

Защита
и Оборона



Технические средства пограничного и таможенного контроля



Техника
охраны



Пожарная безопасность



Средства
спасения



Медицина катастроф



Экологическая
безопасность



Промышленная безопасность



Ядерная
и радиационная безопасность



Безопасность
информации и связи



Транспортная
безопасность



> > www.isse-russia.ru

РЕКЛАМА

Организаторы:



Министерство Российской Федерации
по делам гражданской обороны,
чрезвычайным ситуациям и ликвидации
последствий стихийных бедствий



Министерство
внутренних дел
Российской Федерации



Федеральная служба
по военно-техническому
сотрудничеству (ФСВТС России)



БЕЗОПАСНОСТЬ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ
ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЙ КОНКУРС «ЭТАЛОН БЕЗОПАСНОСТИ»
ТЕХНОЛОГИИ БЕЗОПАСНОСТИ В РОЗНИЧНОЙ ТОРГОВЛЕ
БЕЗОПАСНОСТЬ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ
ДЕНЬ МОНТАЖНИКА И ПРОЕКТИРОВЩИКА
БЕЗОПАСНОСТЬ БОЛЬШОГО ГОРОДА
ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ КРУПНЫХ ОБЪЕКТОВ
ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ. НЕВСКИЙ ДИАЛОГ

Здесь определяется вектор безопасности

**12-15
НОЯБРЯ
2013**

Место проведения:
Санкт-Петербург, Ленэкспо



SfiteX

St. Petersburg International Security & Fire Exhibition



IS CS
International Security & Fire Exhibition

4-я специализированная выставка
информация: техника и технологии защиты

TS FS RS

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ
АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫЕ СРЕДСТВА
СИСТЕМЫ И СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
БЕЗОПАСНОСТЬ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

ОХРАНА И БЕЗОПАСНОСТЬ
22-й МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ

Получите электронный
билет на сайте:

www.sfiteX.ru

Организатор: **primexpo** **ufi** +7 (812) 380 6009/00, SECURITY@PRIMEXPO.RU

Генеральный интернет-партнер: **SEC.RU** **Самый надежный партнер в безопасности** Медиа-партнер: **РВА** **Индустрия безопасности** Информационная поддержка: **Технологии защиты**

РЕКЛАМА