

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ

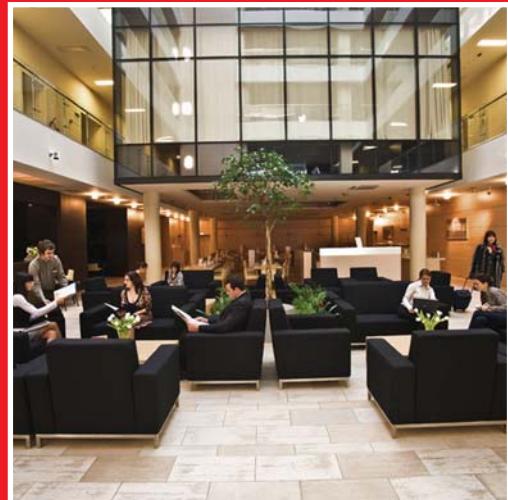
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

4'2011

Современные подходы к оценке пожарной опасности многофункциональных общественных зданий с атриумами

Влияние тканевой основы на пожарную опасность материалов с силоксановым покрытием

О статистике пожаров и о пожарных рисках



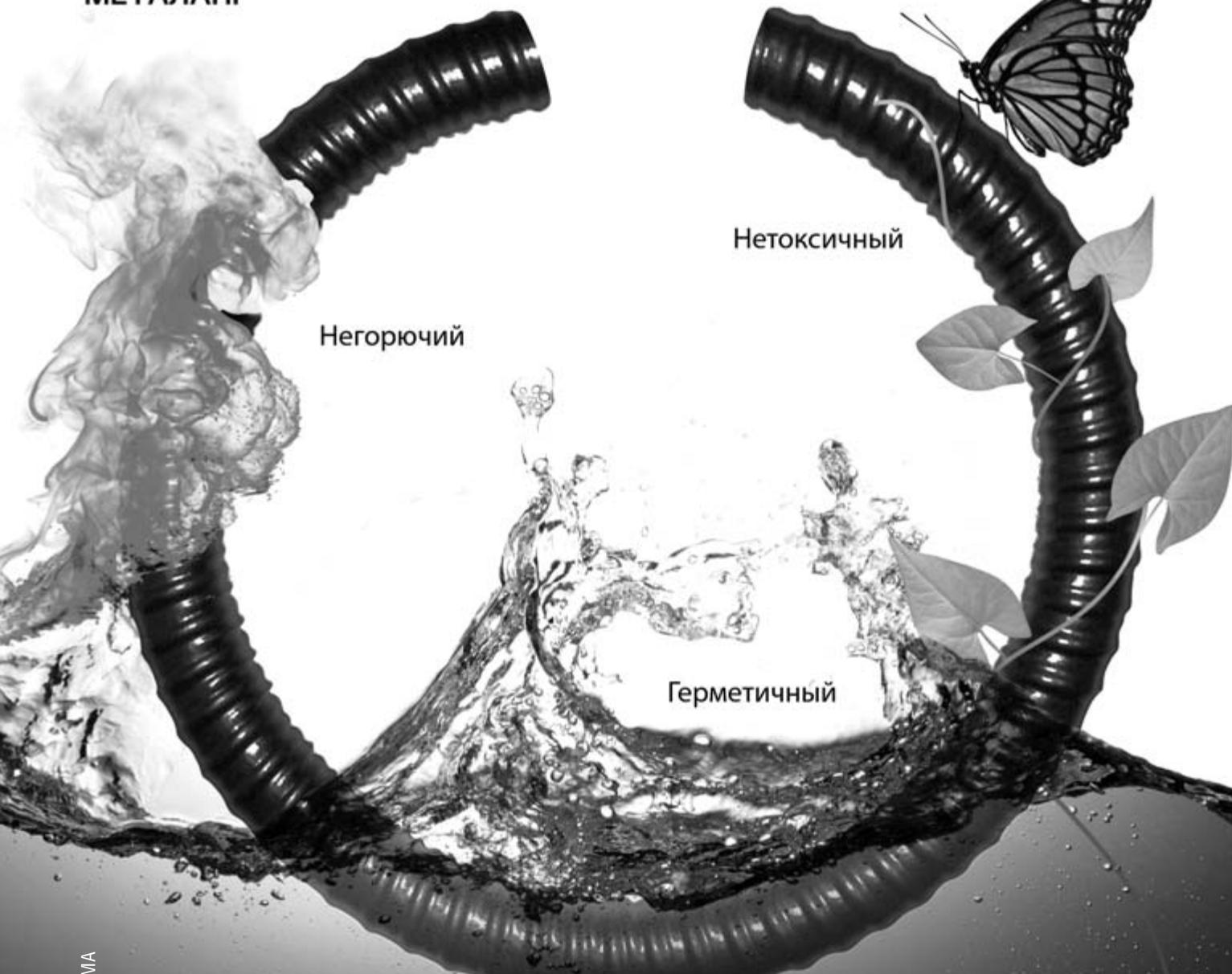
Тушение пожаров моторного топлива европейского стандарта низкократной пеной

Термоокислительная деструкция пенообразователей на основе солей алкилсульфатов

К определению показателя токсичности продуктов горения горючих веществ и материалов в помещении



Металлополимерный рукав МЕТАЛАНГ НГ-LS HF



РЕКЛАМА

Металлорукав МЕТАЛАНГ НГ-LS HF с защитной полимерной оболочкой

- не распространяющий горение
- малодымный
- нетоксичный
- герметичный
- гибкий
- увеличенная прочность на разрыв
- диапазон температур – от -50 до +70 °C
- степень защиты IP 65
- сертифицирован

8-800-200-4411 (бесплатный звонок из любой точки России)

Сфера применения:

- на объектах с повышенной пожароопасностью: тоннели, мосты, метро, жилые здания, склады, заводы, суда, объекты нефтегазового и энергетического комплексов и другие
- прокладка проводов во влажных помещениях
- защита кабеля при скрытой и открытой прокладке
- в системах кондиционирования и обогрева
- в подъёмно-транспортном оборудовании
- для транспортировки порошкообразных и сыпучих веществ

www.metalang.ru

Сертификат пожарной безопасности № ССПБ.RU.ОП019.В02273
Сертификат ГОССТАНДАРТА России № РОСС RU.АЮ64.Н03247

ПОЖИЗНАУКА Издательство

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, вслучивающиеся 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.

**Внимание!!!
Распространяется
БЕСПЛАТНО!!!**

www.firepress.ru

По вопросам оформления заявки на бесплатное получение справочника просьба обращаться по тел.: (495) 228-09-03 (многоканальный) или по e-mail: mail@firepress.ru

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ

Том 20 • № 4 • 2011 FIRE & EXPLOSION SAFETY

Научно-технический журнал
ООО "Издательство "Пожнаука"

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

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТЬ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

Пузач С. В., Пузач В. Г., Доан В. М. К определению показателя токсичности продуктов горения горючих веществ и материалов в помещении

ОГНЕЗАЩИТА

Тимофеева С. В., Хелевина О. Г. Влияние тканевой основы на пожарную опасность материалов с силоксановым покрытием

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЖАРОВ

Таранцев А. А., Холостов А. Л. О задаче слияния случайных потоков сигналов

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ, ОБЪЕКТОВ

Костерин И. В. Современные подходы к оценке пожарной опасности многофункциональных общественных зданий с атриумами

БЕЗОПАСНОСТЬ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРАХ

Заикин С. В., Бушманов С. А., Парфёнов А. П., Белосохов И. Р. Обеспечение безопасности людей при пожарах в зданиях посредством применения самоспасателей. Часть 3. Результаты испытаний и их обсуждение

Холщевников В. В., Самошин Д. А., Белосохов И. Р., Истратов Р. Н., Кудрин И. С., Парфёнов А. П. Парадоксы нормирования обеспечения безопасности людей при эвакуации из зданий и пути их устранения (окончание)

СТАТИСТИКА И АНАЛИЗ ПОЖАРОВ

Брушлинский Н. Н., Соколов С. В. О статистике пожаров и о пожарных рисках

ТУШЕНИЕ ПОЖАРОВ

Воевода С. С., Макаров С. А., Молчанов В. П., Бастириков Д. Л., Крутов М. А. Тушение пожаров моторного топлива европейского стандарта низкократной пеной

Лебедева Н. Ш., Малькова Е. А., Потемкина О. В., Малый И. А. Термоокислительная деструкция пенообразователей на основе солей алкилсульфатов

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ. СПРАВОЧНИК

FIRE-AND-EXPLOSION HAZARD OF SUBSTANCES AND MATERIALS

4 Puzach S. V., Puzach V. G., Doan V. M. To Definition of Toxic Potency of Combustion Products of Combustible Materials in Compartment

FIRE RETARDANCE

14 Timofeyeva S. V., Khelevina O. G. Affect of Textile Materials on Fireproof of Materials with Siloxan Covering

FIRE MODELING

17 Tarantsev A. A., Kholostov A. L. About One Problem Mergers of Random Streams of Signals

FIRE SAFETY OF BUILDINGS, STRUCTURES, OBJECTS

21 Kosterin I. V. Modern Approaches to the Assessment of Fire Hazard Multifunctional Public Buildings with Atriums

FIRE SAFETY OF PEOPLE

Zaikin S. V., Bushmanov S. A., Parfenenko A. P., Belosokhov I. R. Supporting Safety of People under Fires in Buildings by the Use of the Respiratory Protective Devices. Part 3. Results of Tests and Their Arguing

Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A., Belosokhov I. R., Istratov R. N., Kudrin I. S., Parfenenko A. P. The Paradoxes of Safe Buildings Evacuation Regulations and Their Resolution (ending)

STATISTIC AND ANALYZE OF FIRE

40 Brushlinskiy N. N., Sokolov S. V. About Fire Statistics and Fire Risks

FIRE EXTINGUISHING

49 Voevoda S. S., Makarov S. A., Molchanov V. P., Bastrikov D. L., Krutov M. A. Extinction of Fires of Motor Fuel European Standard by Law Expansion Foam

54 Lebedeva N. Sh., Mal'kova E. A., Potemkina O. V., Malyi I. A. Thermooxidizing Destruction of Foamers Based on Salts of Alkylsulfates

FIRE-AND-EXPLOSION SAFETY. REFERENCE BOOK

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

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

**C. В. Пузач**

д-р техн. наук, заслуженный деятель науки РФ, профессор, начальник кафедры Академии ГПС МЧС РФ, г. Москва, Россия

**V. Г. Пузач**

д-р техн. наук, заведующий лабораторией Объединенного института высоких температур РАН, г. Москва, Россия

**B. М. Доан**

адъюнкт Академии ГПС МЧС России, г. Москва, Россия

УДК 614.841

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПОКАЗАТЕЛЯ ТОКСИЧНОСТИ ПРОДУКТОВ ГОРЕНИЯ ГОРЮЧИХ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ В ПОМЕЩЕНИИ

Дан анализ термогазодинамических условий проведения экспериментов по определению токсичности продуктов горения при пожаре в помещении. Рассмотрены математические модели расчета параметров тепломассообмена в характерных мелко- и крупномасштабных помещениях при различных граничных условиях. Представлены результаты численных экспериментов по расчету плотности оксида углерода с использованием полученных аналитических решений, аналитического решения интегральной модели, интегральной и полевой моделей. Полученные результаты сопоставлены с экспериментальными данными, приведенными в литературе. Показано, что коэффициент теплопотерь является необходимым условием равенства показателей токсичности в мелкомасштабной экспериментальной установке и реальном помещении.

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

Введение

По статистике бюро судебно-медицинских экспертиз [1] в 80 % случаев причиной смерти людей на пожарах являлось отравление продуктами горения. В связи с этим, а также с расширением 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 становится все более актуальной.

Токсичность продуктов горения (степень вредного воздействия химического вещества на живой организм [2]) при пожаре в помещении в первую очередь определяется двумя факторами:

- плотностью токсичных газов на уровне органов дыхания людей, находящихся в помещении;
- временем воздействия (экспозиции) токсичных газов на человека.

Показатели токсичности, определяемые плотностью токсичных газов и кислорода, а также температурой, получают, как правило, при мелкомасштабных экспериментах [3, 4], 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 значения опасных факторов пожара (концентраций токсичных газов, пониженной концентрации кислорода и повышенной температуры) были одинаковыми в смесях продуктов горения и воздуха, полученных в мелкомасштабной экспериментальной установке и полномасштабном реальном помещении.

Из-за невозможности выполнения в полном объеме положений теории подобия при переходе от мелкомасштабной модели к натурному помещению [5] необходимо установить связь плотностей токсичных газов с удельными коэффициентами их образования, а также с плотностью кислорода и температурой при сгорании одного и того же горючего материала в разных термогазодинамических условиях в помещениях с существенно отличающимися размерами.

Количество выделяющихся токсичных газов определяется химическим составом и концентрацией газообразных продуктов газификации твердых и жидкокристаллических горючих веществ и материалов, а также термо-

© Пузач С. В., Пузач В. Г., Доан В. М., 2011

газодинамическими условиями пожара [6, 7]. В настоящее время эта проблема не решена с теоретической и экспериментальной точек зрения из-за сложности физико-химических условий протекания процессов газификации и горения, а также неопределенности химического состава современных строительных материалов.

Научно обоснованные методики (за исключением работы [6], где предложена методика на примере образования моноксида углерода) расчета удельных коэффициентов выделения токсичных газов с учетом конкретных термогазодинамических условий пожара (температуры, концентрации кислорода и т. д.) отсутствуют.

Значения удельных коэффициентов выделения токсичных газов при пожаре значительно отличаются друг от друга в различных базах данных (например, в работах [7] и [8]), а сведения о теплофизических и химических показателях для многих современных материалов отсутствуют.

В данной работе представлены результаты теоретического исследования концентраций токсичных газов (на примере моноксида углерода) и кислорода, а также температуры в смесях продуктов горения и воздуха, образующихся в характерных термогазодинамических условиях пожара в помещениях с существенно различающимися размерами.

Постановка задачи

Рассмотрим термогазодинамические условия пожара при его свободном развитии и работе системы дымоудаления в помещениях, существенно различающихся размерами, величиной проемности и видом горючих веществ и материалов (твердые или жидкые).

Рассмотрим пять характерных схем термогазодинамической картины пожара.

Схема № 1. Схема процесса горения с использованием вытяжной вентиляции для удаления продуктов горения

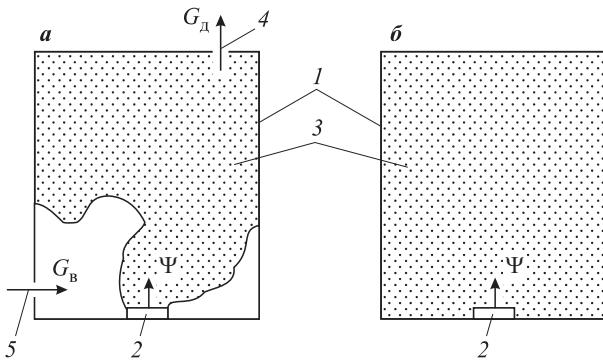


Рис. 1. Схема газообмена в мелкомасштабной камере в “квазистационарных” условиях с использованием вытяжной вентиляции (а) и в замкнутом объеме (б): 1 — стены камеры; 2 — горючий материал; 3 — смесь продуктов горения и воздуха; 4 — система дымоудаления; 5 — система приточной вентиляции

тов горения из мелкомасштабной камеры в “квазистационарных” условиях представлена на рис. 1, а.

Схема № 2. Схема пожара в герметичном мелкомасштабном объеме, используемая для определения показателя токсичности при стандартных испытаниях [3, 4], показана на рис. 1, б.

Схема № 3. Основное образование токсичного газа в полномасштабном помещении на начальной стадии пожара или при локальном пожаре происходит в области пламенной зоны конвективной колонки, образующейся над источником горения. Рассматриваемая открытая термодинамическая система приведена на рис. 2, а.

Схема № 4. Термогазодинамическая картина пожара в полномасштабном помещении с малой проемностью или на начальной стадии пожара, когда через проемы происходит только вытеснение газовой среды помещения наружу, представлена на рис. 2, б.

Схема № 5. Термогазодинамическая картина пожара для полномасштабного помещения при дымоудалении из припотолочного слоя, имеющего посто-

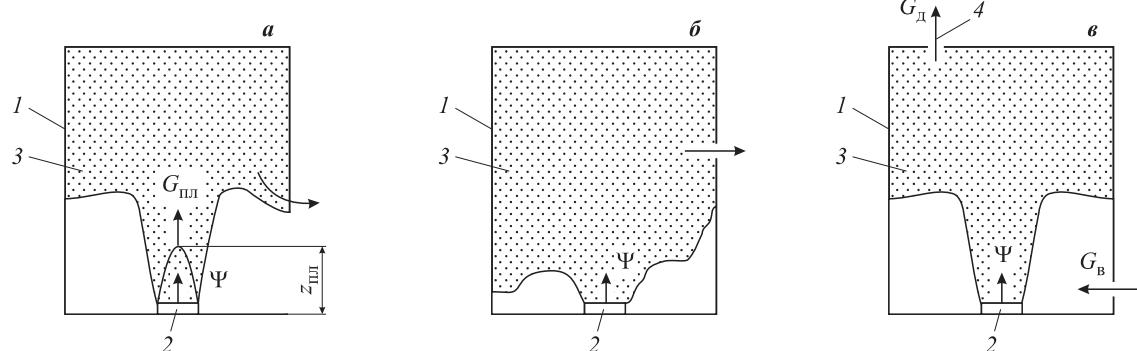


Рис. 2. Схема газообмена в полномасштабном помещении с большой (а) и малой (б) проемностью, а также при “квазистационарном” припотолочном слое с дымоудалением (в): 1 — стены помещения; 2 — горючий материал; 3 — смесь продуктов горения и воздуха; 4 — припотолочный слой

янные параметры (“квазистационарный” случай), приведена на рис. 2, в.

В качестве токсичного газа будем рассматривать моноксид углерода.

Математические модели определения плотности токсичного газа

Схема № 1. При “квазистационарных” условиях законов сохранения массы и энергии газовой среды, а также токсичного газа внутри объема помещения имеют вид:

$$G_{\text{д}} - G_{\text{в}} = \Psi; \quad (1)$$

$$c_p (T_{\text{cp}} G_{\text{д}} - T_{\text{в}} G_{\text{в}}) = \eta \Psi Q_{\text{н}}^{\text{p}} (1 - \varphi); \quad (2)$$

$$X_{\text{cp}} G_{\text{д}} = \eta \Psi L, \quad (3)$$

где $G_{\text{д}}$ — массовый расход системы дымоудаления, кг/с;

$G_{\text{в}}$ — массовый расход воздуха, поступающего через проем в помещение, кг/с;

Ψ — скорость газификации горючего материала, кг/с;

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

T_{cp} — среднеобъемная температура газовой среды, К;

$T_{\text{в}}$ — температура воздуха, К;

η — полнота сгорания;

$Q_{\text{н}}^{\text{p}}$ — низшая рабочая теплота сгорания горючего материала, Дж/кг;

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

X_{cp} — среднеобъемная массовая концентрация токсичного газа;

L — удельный коэффициент образования токсичного газа.

Удельную изобарную теплоемкость принимаем одинаковой для газовой смеси и воздуха [5, 8].

При $\Psi \ll G_{\text{д}}$ принимаем, что $G_{\text{д}} = G_{\text{в}}$.

Тогда из уравнений (1) – (3), используя уравнение состояния идеального газа для среднеобъемных параметров [8], можно получить выражение для расчета среднеобъемной парциальной плотности токсичного газа внутри помещения:

$$\rho_{\text{г. cp}} = X_{\text{cp}} \rho_{\text{cp}} = \frac{p_{\text{cp}} c_p (T_{\text{cp}} - T_{\text{в}})}{R T_{\text{cp}} (1 - \varphi)} \frac{L}{Q_{\text{н}}^{\text{p}}}, \quad (4)$$

где $\rho_{\text{г. cp}}$ — среднеобъемная плотность токсичного газа, кг/м³;

ρ_{cp} — среднеобъемная плотность газовой среды, кг/м³;

p_{cp} — среднеобъемное давление, Па;

R — газовая постоянная смеси газов, Дж/(кг·К).

В первом приближении среднеобъемное давление принимаем равным атмосферному $p_{\text{в}} = 101,3$ кПа, а газовую постоянную и удельную изобарную теплоемкость — как для воздуха [5, 8]: $R = 286$ Дж/(кг·К); $c_p = 1000$ Дж/(кг·К).

Коэффициент пропорциональности K_1 между плотностью токсичного газа и отношением $L/Q_{\text{н}}^{\text{p}}$ в выражении (4) рассчитываем по формуле

$$K_1 = \frac{p_{\text{cp}} c_p (T_{\text{cp}} - T_{\text{в}})}{R T_{\text{cp}} (1 - \varphi)}. \quad (5)$$

Подставляя в выражение (5) значения известных параметров, получаем:

$$K_1 = \frac{3,5 \cdot 10^5}{1 - \varphi} \frac{T_{\text{cp}} - T_{\text{в}}}{T_{\text{cp}}}. \quad (6)$$

Схема № 2. Законы сохранения массы и энергии газовой среды, а также массы токсичного газа и кислорода внутри герметичного объема имеют вид:

$$V \frac{d\rho_{\text{cp}}}{d\tau} = \Psi; \quad (7)$$

$$\rho_{\text{cp}} c_v V \frac{dT_{\text{cp}}}{d\tau} = \eta \Psi Q_{\text{н}}^{\text{p}} (1 - \varphi); \quad (8)$$

$$V \frac{d\rho_{\text{г. cp}}}{d\tau} = \eta \Psi L; \quad (9)$$

$$V \frac{d\rho_{\text{O}_2 \text{ cp}}}{d\tau} = -\eta \Psi L_{\text{O}_2}, \quad (10)$$

где V — объем помещения, м³;

τ — время, с;

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

$\rho_{\text{O}_2 \text{ cp}}$ — среднеобъемная плотность кислорода, кг/м³;

L_{O_2} — удельный коэффициент потребления кислорода.

Удельную изохорную теплоемкость принимаем одинаковой для газовой смеси и воздуха [5, 8]: $c_v = 714$ Дж/(кг·К).

Среднеобъемная плотность токсичного газа через промежуток времени τ с момента начала горения, полученная после интегрирования (9), составляет:

$$\rho_{\text{г. cp}} = \rho_{\text{г. в}} + \frac{\eta L}{V} \int_0^\tau \Psi d\tau, \quad (11)$$

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

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

Коэффициент пропорциональности K_2 между плотностью токсичного газа и отношением $L/Q_{\text{н}}^{\text{p}}$

(в выражении (11) правую часть делим и умножаем на Q_{h}^{p}) определяем по формуле

$$K_2 = \frac{\eta Q_{\text{h}}^{\text{p}}}{V} \int_0^{\tau} \Psi dt. \quad (12)$$

Пренебрегаем суммарной массой продуктов газификации за полное время горения по сравнению с массой воздуха, находящегося внутри герметичного объема. Тогда $\eta \Psi \tau \ll \rho_{\text{cp}} V$, $\rho_{\text{cp}} = \rho_{\text{v}}$ (изохорный процесс), и из решения уравнения (8) получаем:

$$T_{\text{cp}} = T_{\text{v}} + \frac{\eta Q_{\text{h}}^{\text{p}} (1 - \varphi)}{\rho_{\text{v}} c_{\text{v}} V} \int_0^{\tau} \Psi dt, \quad (13)$$

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

Учитывая (13), из уравнения (12) получаем значение коэффициента пропорциональности:

$$K_2 = \frac{p_{\text{v}} c_{\text{v}} (T_{\text{cp}} - T_{\text{v}})}{R T_{\text{v}} (1 - \varphi)} \quad (14)$$

или

$$K_2 = \frac{2,5 \cdot 10^5}{1 - \varphi} \frac{T_{\text{cp}} - T_{\text{v}}}{T_{\text{v}}}. \quad (15)$$

Среднеобъемную плотность кислорода определяем из решения уравнения (10):

$$\rho_{\text{O}_2\text{cp}} = \rho_{\text{O}_2\text{v}} - \frac{\eta L_{\text{O}_2}}{V} \int_0^{\tau} \Psi dt, \quad (16)$$

где $\rho_{\text{O}_2\text{v}}$ — плотность кислорода в воздухе, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Используя выражение (13), уравнение (16) можно привести к виду:

$$\rho_{\text{O}_2\text{cp}} = \rho_{\text{O}_2\text{v}} - \frac{p_{\text{v}} c_{\text{v}}}{R(1 - \varphi)} \frac{T_{\text{cp}} - T_{\text{v}}}{T_{\text{v}}} \frac{L_{\text{O}_2}}{Q_{\text{h}}^{\text{p}}}. \quad (17)$$

Схема № 3. Для определения массовых расходов газовой смеси в области пламенной зоны конвективной колонки (при $z \leq z_{\text{пл}}$) используем зависимость [9]:

$$G_{\text{k}} = 0,032 \left(\frac{Q_{\text{пож}} (1 - \chi)}{1000} \right)^{3/5} z, \quad (18)$$

где G_{k} — массовый расход газов в поперечном сечении конвективной колонки, $\text{кг}/\text{с}$;

$Q_{\text{пож}}$ — тепловая мощность, выделяющаяся в очаге горения, Вт ;

χ — доля теплоты, выделяющейся в очаге горения и поступающей в ограждающие конструкции помещения из зоны конвективной колонки;

z — координата поперечного сечения конвективной колонки, отсчитываемая от поверхности горения, м .

Температуру, среднюю по сечению конвективной колонки, рассчитываем по выражению [3, 8]:

$$T_{\text{k}} = T_{\text{v}} + \frac{Q_{\text{пож}} (1 - \chi)}{c_p G_{\text{k}}}, \quad (19)$$

где T_{k} — температура, средняя по сечению конвективной колонки, К .

Тепловая мощность, выделяющаяся в очаге горения, составляет [3]:

$$Q_{\text{пож}} = \eta \Psi Q_{\text{h}}^{\text{p}}. \quad (20)$$

Уравнение закона сохранения массы токсичного газа в области пламенной зоны имеет вид:

$$X_{\text{пл}} G_{\text{пл}} = \eta \Psi L, \quad (21)$$

где $X_{\text{пл}}$ — средняя массовая концентрация токсичного газа на выходе из пламенной зоны на высоте $z_{\text{пл}}$;

$G_{\text{пл}}$ — массовый расход газов через поперечное сечение колонки, отстоящее по высоте от поверхности горения на расстоянии $z_{\text{пл}}$, $\text{кг}/\text{с}$;

$z_{\text{пл}}$ — высота пламенной зоны, м ;

$$z_{\text{пл}} = 0,166 \left(\frac{Q_{\text{пож}} (1 - \chi)}{1000} \right)^{2/5}.$$

Подставляя выражения (18) и (20) в уравнение (21), получаем формулу для определения средней массовой концентрации токсичного газа на выходе из пламенной зоны на высоте $z_{\text{пл}}$:

$$X_{\text{пл}} = \frac{1,88 \cdot 10^5}{1 - \chi} \frac{L}{Q_{\text{h}}^{\text{p}}}. \quad (22)$$

Средняя плотность смеси газов на выходе из пламенной зоны из уравнения состояния идеального газа

$$\rho_{\text{пл}} = \frac{p_{\text{v}}}{R T_{\text{пл}}}, \quad (23)$$

где $\rho_{\text{пл}}$ — средняя плотность смеси газов на выходе из пламенной зоны, $\text{кг}/\text{м}^3$;

p_{v} — давление наружного воздуха, Па ;

$T_{\text{пл}}$ — средняя температура в сечении конвективной колонки на выходе из пламенной зоны, К .

В первом приближении давление принимаем равным атмосферному, а газовую постоянную — как для воздуха [5, 8].

Тогда средняя плотность токсичного газа на выходе из пламенной зоны, полученная с использованием уравнений (22) и (23), составляет:

$$\rho_{\text{г.пл}} = X_{\text{пл}} \rho_{\text{пл}} = \frac{1,37 \cdot 10^5}{1 - \chi} \frac{L}{Q_{\text{h}}^{\text{p}}}, \quad (24)$$

где $\rho_{\text{г.пл}}$ — средняя по сечению колонки плотность токсичного газа на выходе из пламенной зоны, $\text{кг}/\text{м}^3$;

$R = 286 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ [10];

$p_{\text{в}} = 101,3 \text{ кПа}$;

$T_{\text{пп}} = 481,3 \text{ К}$ (из выражений (18) и (19)).

Коэффициент пропорциональности K_3 между плотностью токсичного газа и отношением $L/Q_{\text{н}}^{\text{p}}$ в выражении (23) составит:

$$K_3 = \frac{1,37 \cdot 10^5}{1 - \chi}. \quad (25)$$

Схема № 4. Зависимости среднеобъемной плотности токсичного газа (при $\rho_{\text{г.в}} = 0$), среднеобъемной температуры газовой среды и среднеобъемной плотности кислорода от времени имеют вид [8]:

$$\rho_{\text{г.ср}} = \rho_{\text{п}} \left[1 - \exp \left(-\frac{A}{B} \tau^n \right) \right]; \quad (26)$$

$$T_{\text{ср}} = T_{\text{в}} \exp \left(\frac{A}{B} \tau^n \right); \quad (27)$$

$$\rho_{\text{O}_2\text{ср}} = \frac{B \eta L_{\text{O}_2}}{V} \times \\ \times \left\{ \left(1 + \frac{V}{B \eta L_{\text{O}_2}} \rho_{\text{O}_2\text{в}} \right) \exp \left(-\frac{A}{B} \tau^n \right) - 1 \right\}, \quad (28)$$

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

$$\rho_{\text{п}} = \frac{c_p T_{\text{в}} L}{(1 - \varphi) Q_{\text{н}}^{\text{p}}} \rho_{\text{в}};$$

B — размерный параметр, кг;

$$B = \frac{c_p \rho_{\text{в}} T_{\text{в}} V}{\eta (1 - \varphi) Q_{\text{н}}^{\text{p}}};$$

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

τ — время, с.

При достижении пороговой плотности ($\tau \rightarrow \infty$) среднеобъемная плотность токсичного газа из уравнения (26) может быть представлена в виде:

$$\rho_{\text{г.ср}} = \rho_{\text{п}} = \frac{c_p \rho_{\text{в}} T_{\text{в}}}{1 - \varphi} \frac{L}{Q_{\text{н}}^{\text{p}}}. \quad (29)$$

Максимальное значение коэффициента пропорциональности между плотностью токсичного газа и отношением $L/Q_{\text{н}}^{\text{p}}$ в выражении (26) составит:

$$K_{4\text{max}} = \frac{c_p \rho_{\text{в}} T_{\text{в}}}{1 - \varphi} \quad (30)$$

или

$$K_{4\text{max}} = \frac{3,5 \cdot 10^5}{1 - \varphi}, \quad (31)$$

где $c_p = 1000 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ [10];

$\rho_{\text{в}} T_{\text{в}} = p_{\text{в}} / R$ — из уравнения состояния идеального газа.

Коэффициент пропорциональности K_4 между плотностью токсичного газа и отношением $L/Q_{\text{н}}^{\text{p}}$

можно получить из выражения (26) с учетом уравнения (27):

$$K_4 = \frac{3,5 \cdot 10^5}{1 - \varphi} \frac{T_{\text{ср}} - T_{\text{в}}}{T_{\text{ср}}}. \quad (32)$$

Выражение (32) совпадает с формулой (6), полученной для схемы № 1.

Зависимость среднеобъемной плотности кислорода от времени (уравнение (28)) с учетом уравнения (27) можно привести к виду:

$$\rho_{\text{O}_2\text{ср}} = \frac{B \eta L_{\text{O}_2}}{V} \left(\frac{V T_{\text{в}}}{B \eta L_{\text{O}_2} T_{\text{ср}}} \rho_{\text{O}_2\text{в}} - \frac{T_{\text{ср}} - T_{\text{в}}}{T_{\text{ср}}} \right). \quad (33)$$

Схема № 5. Уравнения энергии для припотолочного слоя в “квазистационарных” условиях и массового расхода токсичного газа, поступающего из конвективной колонки в припотолочный слой, имеют вид:

$$(1 - \varphi) Q_{\text{пож}} = G_{\text{k}} c_p \Delta T_2; \quad (34)$$

$$G_{\text{г}} = X_{\text{г}} G_{\text{k}}, \quad (35)$$

где ΔT_2 — подъем средней температуры припотолочного слоя, К; $\Delta T_2 = T_2 - T_{\text{в}}$;

$G_{\text{г}}$ — массовый расход токсичного газа, поступающего из конвективной колонки в припотолочный слой, кг/с.

Из уравнений (34) и (35) можно получить формулу для определения плотности токсичного газа:

$$\rho_{2\text{г.ср}} = \frac{\rho_2 c_p \Delta T_2}{1 - \varphi} \frac{L}{Q_{\text{н}}^{\text{p}}}, \quad (36)$$

где ρ_2 — средняя плотность газовой смеси в припотолочном слое, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Коэффициент пропорциональности K_5 между плотностью токсичного газа и отношением $L/Q_{\text{н}}^{\text{p}}$ в выражении (36) составит:

$$K_5 = \frac{\rho_2 c_p \Delta T_2}{1 - \varphi}. \quad (37)$$

С учетом уравнения состояния формула (37) может быть приведена к виду:

$$K_5 = \frac{3,5 \cdot 10^5}{1 - \varphi} \frac{T_2 - T_{\text{в}}}{T_2}. \quad (38)$$

Таким образом, во всех рассмотренных пяти схемах характерная плотность токсичного газа может быть описана зависимостью

$$\rho_{ri}^* = K_i \frac{L}{Q_{\text{н}}^{\text{p}}}, \quad (39)$$

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

Номер схемы	Характеристика термогазодинамики картины пожара	$K_i, \text{Дж}/\text{м}^3$
1	“Квазистационарные” условия пожара в мелкомасштабном помещении; использование вытяжной вентиляции	$K_1 = \frac{3,5 \cdot 10^5}{1 - \varphi} \frac{T_{\text{cp}} - T_{\text{b}}}{T_{\text{cp}}}$
2	Нестационарные условия пожара; мелкомасштабный герметичный объем	$K_2 = \frac{2,5 \cdot 10^5}{1 - \varphi} \frac{T_{\text{cp}} - T_{\text{b}}}{T_{\text{b}}}$
3	Конвективная колонка; “квазистационарные” условия пожара	$K_3 = \frac{1,37 \cdot 10^5}{1 - \chi}$
4	Малая проемность (открытые проемы работают только на выброс смеси газов наружу); нестационарные условия пожара	$K_4 = \frac{3,5 \cdot 10^5}{1 - \varphi} \frac{T_{\text{cp}} - T_{\text{b}}}{T_{\text{cp}}}$
5	“Квазистационарные” условия пожара; механическое дымоудаление из припотолочного слоя	$K_5 = \frac{3,5 \cdot 10^5}{1 - \varphi} \frac{T_2 - T_{\text{b}}}{T_2}$

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

Формулы для определения коэффициента K_i для рассматриваемых схем термогазодинамики пожара представлены в таблице.

Из анализа таблицы видно, что коэффициент пропорциональности не зависит от свойств горючего материала, размеров помещения и открытой поверхности горючего материала и является функцией только трех параметров, характеризующих термодинамическую картину пожара:

$$K_i = f(T^*, T_{\text{b}}, \varphi), \quad (40)$$

где T^* — характерная температура, К.

В качестве характерных принимались следующие величины:

- среднеобъемная температура и среднеобъемная плотность газовой среды помещения (схемы № 1, 2 и 4);
- средняя температура и плотность в сечении конвективной колонки, отстоящем от поверхности горения на высоту пламенной зоны (схема № 3);
- среднеобъемная температура и среднеобъемная плотность припотолочного слоя (схема № 5).

Для всех рассмотренных схем термогазодинамической картины пожара

$$K_i \sim (1 - \varphi)^{-1}, \quad (41)$$

причем в схеме № 3 вместо коэффициента φ подставляется коэффициент χ .

Из выражения (41) видно, что уменьшение коэффициента теплопотерь φ в 2 раза (например, от 0,6 до 0,3) при одинаковых начальной и характерной температурах приводит к уменьшению коэффициентов K_i для схем № 1, 2, 4 и 5 в 1,75 раза.

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

Необходимо отметить, что коэффициент теплопотерь в общем случае изменяется во времени [10], а не является постоянным. Поэтому найдем величину коэффициента пропорциональности K_i также с использованием интегральной и полевой моделей, в которых величина φ зависит от термогазодинамической картины пожара.

Исходные данные для численных экспериментов

Коэффициент теплопотерь φ в случае схем № 1, 2, 4, 5 принимался равным 0; 0,3 и 0,6, а для схемы № 3 значение χ составляло 0,3 и 0,6.

Начальные условия задавались следующими: $T_{\text{b}} = 293 \text{ K}$; $p_{\text{b}} = 101,3 \text{ кПа}$.

Кроме приведенных выше пяти математических моделей, используем также интегральную [5, 8] и полевую [5] модели расчета тепломассообмена при пожаре. Коэффициент теплопотерь при этом определяем по отношению теплового потока, отводящегося в ограждающие конструкции помещения, к тепловой мощности, выделяющейся при горении.

В этом случае рассматривались модельные помещения: машинный зал ГЭС размерами $60 \times 20 \times 20 \text{ м}$ и кабельная галерея размерами $60 \times 20 \times 2,5 \text{ м}$, расположенная под ним. Помещения соединены двумя технологическими отверстиями, расположенными в перекрытии между машинным залом и кабельной галереей, с размерами $1 \times 1 \text{ м}$ каждое. Геометрия задачи представлена на рис. 3.

Рассматриваем твердую горючую нагрузку (при круговом распространении пожара) — кабельный подвал-лоток, свойства которого принимались по типовой базе горючей нагрузки [8]:

$$\begin{aligned} Q_{\text{h}}^{\text{p}} &= 30,7 \text{ МДж}/\text{кг}; \psi_{\text{уд}} = 0,0244 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}); \\ w_{\text{л}} &= 0,0071 \text{ м}/\text{с}; L_{\text{CO}} = 0,1295; L_{\text{O}_2} = -2,19, \end{aligned}$$

где $\psi_{\text{уд}}$ — удельная скорость газификации горючего материала, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$;

$w_{\text{л}}$ — линейная скорость распространения пламени по поверхности твердого горючего материала, $\text{м}/\text{с}$;

L_{CO} — удельный коэффициент образования оксида углерода.

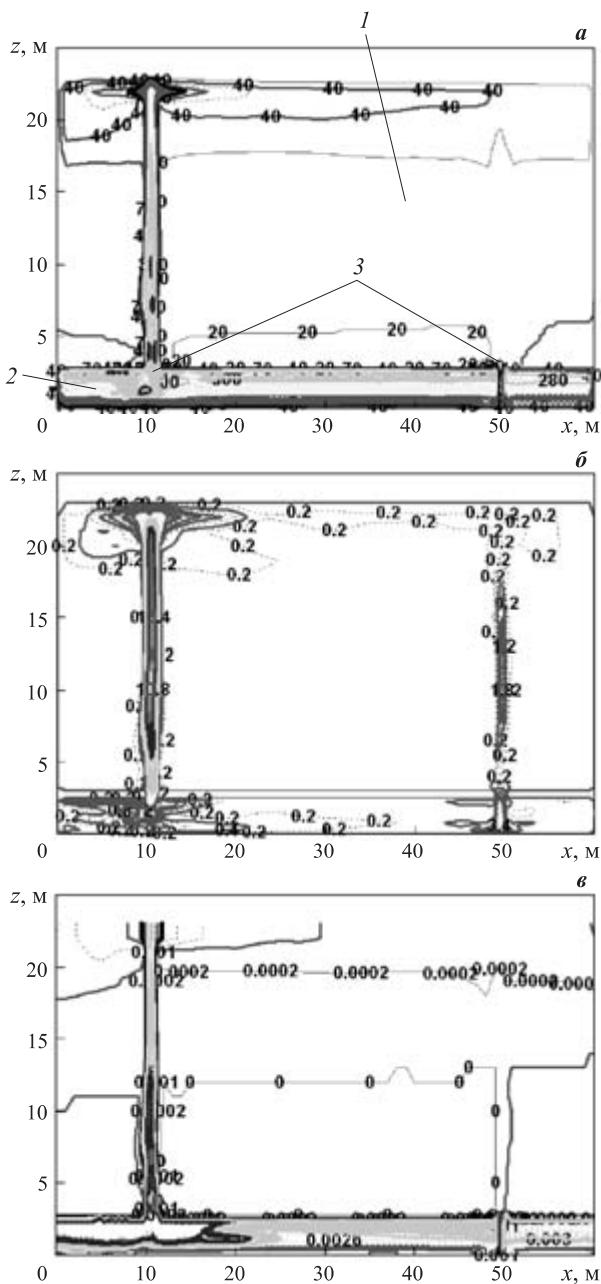


Рис. 3. Поля температур (а), скоростей (б) и массовой концентрации оксида углерода (в) через 420 с от начала горения в кабельной галерее: 1 — машинный зал; 2 — кабельная галерея; 3 — технологические отверстия

Горение начинается на расстоянии 5 м от левого торца кабельной галереи (см. рис. 3).

Определяем комбинированное воздействие трех опасных факторов пожара — повышенной температуры, повышенной концентрации оксида углерода и пониженной концентрации кислорода.

Результаты численных экспериментов и их анализ

Зависимости коэффициентов пропорциональности K_i между характерной плотностью оксида углерода и отношением L/Q_h^P из (39), полученные для

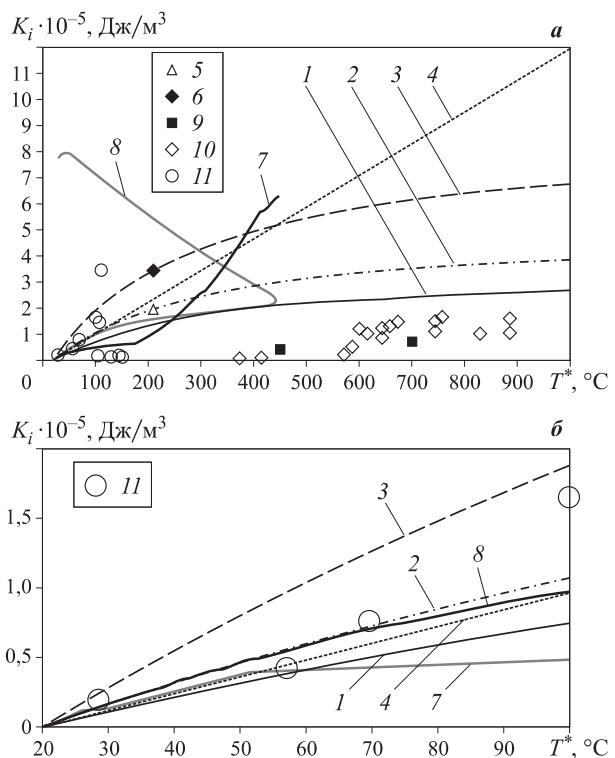


Рис. 4. Зависимости коэффициента пропорциональности K_i между характерной плотностью оксида углерода и отношением L/Q_h^P от характерной температуры: а — $T^* = 0 \div 1000$ °C; б — $T^* = 20 \div 100$ °C; 1 — $K_1, K_4, K_5 (\phi = 0)$; 2 — $K_1, K_4, K_5 (\phi = 0.3)$; 3 — $K_1, K_4, K_5 (\phi = 0.6)$; 4 — $K_2 (\phi = 0.3)$; 5 — $K_3 (\chi = 0.3)$; 6 — $K_3 (\chi = 0.6)$; 7 — полевая модель; 8 — интегральная модель; 9, 10 — эксперимент [11]; 11 — эксперимент [12]

всех рассмотренных схем (выражения (6), (15), (25), (32) и (38)), а также с использованием интегральной [5, 8] и полевой [5] моделей расчета тепломассообмена при пожаре, от характерной температуры (для разных диапазонов ее изменения) газовой среды приведены на рис. 4.

Экспериментальные данные, представленные на рис. 4, взяты из работ [11, 12]. Однако в вышеуказанных экспериментах приведены значения только локальных плотностей и температур, а среднеобъемных значений нет. Поэтому тестирование полученных теоретических зависимостей на этих опытных данных является оценочным.

Исходные данные в [11] получены на пиролитической приставке к хроматографу в случае термодеструкции пенополиуретанов “Сиспур SH” и ППУ-309.

В работе [12] исследовалось горение медных кабелей в оплётке внутри смежных помещений с максимальными габаритными размерами 7×4×4 м.

Коэффициент K_i определялся из формулы (39) с использованием экспериментальных значений локальных плотностей и температур, а также оценочных величин L_{CO} и Q_h^P .

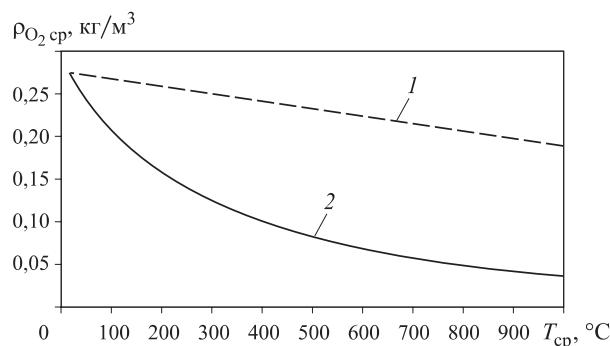


Рис. 5. Зависимости среднеобъемной плотности кислорода от среднеобъемной температуры газовой среды: 1 — схема № 2; 2 — схема № 4

Из рис. 4, *a* видно, что кривая 8 (решение, полученное с использованием интегральной модели) через 440 с имеет точку перегиба, после которой температура падает (горение прекратилось), а плотность токсичного газа растет. Поэтому схема № 2 (кривая 4), используемая для определения показателя токсичности при стандартных испытаниях [3, 4], занижает величину показателя токсичности в реальном помещении.

Практический интерес для задачи обеспечения безопасной эвакуации людей представляет область температур газовой смеси, не превышающих критического значения для человека, равного 70 °C [8]. При превышении вышеуказанной температуры человек погибает в первую очередь от теплового ожога.

В схеме № 3 характерная температура на выходе из пламенной зоны $T_{\text{пл}} = 481,3$ K (из выражений (18) и (19)) и всегда больше 70 °C.

Из рис. 4, *b* и анализа данных таблицы видно, что до температуры менее 70 °C зависимости коэффициентов K_i от температуры, полученные для схем № 1, 2, 4, 5 при одинаковом значении коэффициента теплопотерь, совпадают с погрешностью, не превышающей 28,6 %.

Зависимости среднеобъемной плотности кислорода от среднеобъемной температуры газовой среды для схем № 2 и 4 при $\phi = 0,3$ приведены на рис. 5.

Из рис. 4, *b* и 5 видно, что при температуре 70 °C:

- среднеобъемная плотность кислорода в полномасштабном помещении (схема № 4) на 17 % меньше, чем в мелкомасштабном;
- среднеобъемная плотность оксида углерода в полномасштабном помещении (схема № 4) на 20 % больше, чем в мелкомасштабном.

Таким образом, при рассматриваемых исходных данных схема № 2, используемая для определения показателя токсичности при стандартных испытаниях [3, 4], недооценивает пожарную опасность горючего вещества в реальном помещении.

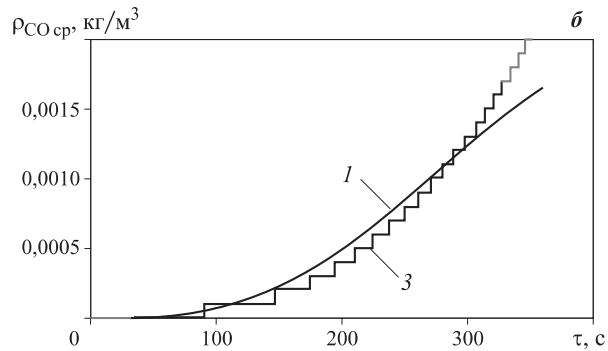
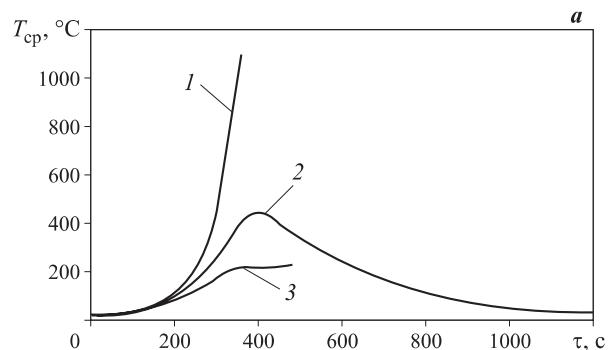


Рис. 6. Зависимости среднеобъемной температуры (*a*) и среднеобъемной массовой концентрации оксида углерода (*b*) в кабельной галерее от времени с начала пожара: 1 — аналитическое решение интегральной модели ($\phi = 0,3$); 2 — интегральная модель; 3 — полевая модель

На рис. 3 представлены поля температур (°C), скоростей (м/с) и массовой концентрации оксида углерода через 420 с от начала горения в кабельной галерее.

Зависимости среднеобъемной температуры и среднеобъемной массовой концентрации оксида углерода $\rho_{CO \text{ср}}$ в кабельной галерее от времени с момента начала пожара приведены на рис. 6.

Зависимости массовых расходов газовой смеси, проходящих через технологические отверстия, от времени представлены на рис. 7. Расход имеет положительный знак при направлении течения газовой смеси из галереи в машинный зал и отрицательный — при поступлении газов из машинного зала в галерею. Из рис. 7 видно, что расходы через отверстия существенно отличаются друг от друга и могут менять направление течения.

Интегральная модель (в том числе ее аналитическое решение) не позволяет разделить технологические отверстия по расстоянию от источника горения (не учитывается трехмерность задачи). Поэтому, когда направления течения газовой смеси через отверстия имеют разные знаки, решение вышеуказанной модели является неустойчивым (см. рис. 7, *b*).

Значение коэффициента K_i , полученное с использованием полевой модели (кривая 7, рис. 4, *a*), в интервале от 50 до 180 с от начала горения слабо ме-

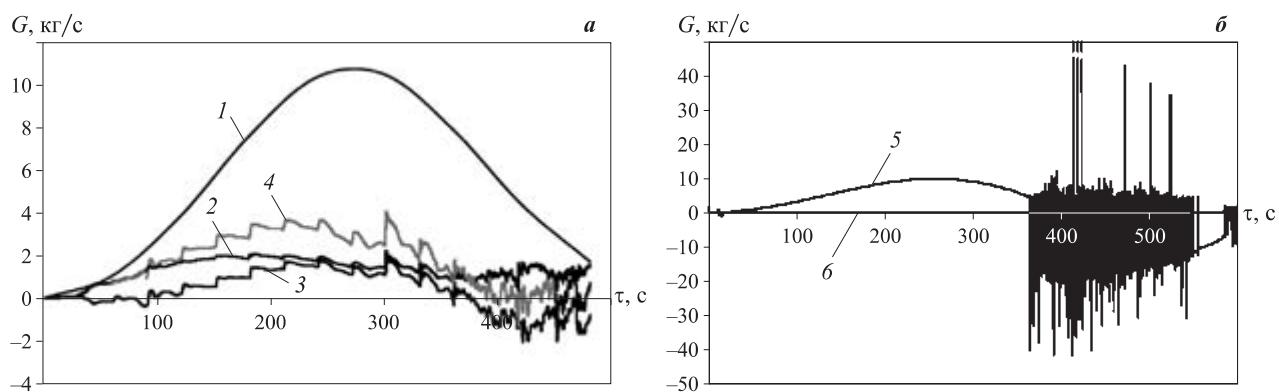


Рис. 7. Зависимости массовых расходов газовой смеси, проходящих через технологические отверстия, от времени с начала пожара: *а* — аналитическое решение интегральной модели ($\phi = 0,3$) и полевая модель; *б* — интегральная модель; 1 — аналитическое решение; 2 — расход через ближайшее технологическое отверстие к источнику горения; 3 — расход через дальнее технологическое отверстие от источника горения; 4 — суммарный расход через отверстия; интегральная модель: 5 — расход газов, выходящих из галереи в зал; 6 — расход газов, поступающих из зала в галерею

няется от температуры. Далее происходит резкий рост его величины. Примерно через 400 с, когда характер пожара в помещении кабельной галереи близок к горению в герметичном объеме (суммарный расход через технологические отверстия близок к нулю, см. рис. 7, *а*), $K_1 \rightarrow K_2$. Таким образом, при рассмотренных исходных данных схема № 2, используемая для определения показателя токсичности при стандартных испытаниях [3, 4], не отслеживает термогазодинамической картины пожара.

Заключение

Определение показателя токсичности на мелко-масштабных экспериментальных установках по данным химического анализа требует обработки результатов измерений в виде двух зависимостей:

- среднеобъемной плотности токсичного газа от температуры;
- среднеобъемной плотности кислорода от температуры.

Вышеуказанные зависимости позволяют оценить адекватность определения показателя токсичности совместного воздействия опасных факторов пожара реальным полномасштабным условиям пожара в помещении.

Коэффициент пропорциональности K_i между характерной плотностью токсичного газа и относени-

ем L/Q_h^P слабо зависит от свойств горючего материала, размеров помещения и открытой поверхности горючего материала и является в первом приближении функцией трех параметров, характеризующих термодинамическую картину пожара: характерной температуры пожара, начальной температуры в помещении и коэффициента теплопотерь из рассматриваемого газового объема в ограждающие конструкции.

Показатель токсичности, полученный в мелкомасштабной установке, будет близок величине, соответствующей условиям протекания пожара в крупномасштабном помещении, в случае равенства коэффициентов теплопотерь в мелкомасштабной установке и крупномасштабном реальном помещении при существенно различающихся термогазодинамических условиях:

- свободное развитие пожара или в условиях работы системы дымоудаления;
- герметичное помещение или помещение с малой или большой проемностью;
- твердые или жидкие горючие вещества и материалы.

Использование интегральной модели для прогнозирования показателя токсичности в машинном зале ГЭС при возгорании в кабельной галерее приводит к физически недостоверным результатам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белешников И. Л. Судебно-медицинская оценка содержания цианидов в органах и тканях людей, погибших в условиях пожара : дис. ... канд. мед. наук. — СПб, 1996.
2. Симоненко В. Б., Простакишин Г. П., Сарманаев С. Х. Острые отравления: неотложная помощь. — М. : Экономика и информатика, 2008. — 269 с.
3. Иличкин В. С. Токсичность продуктов горения полимерных материалов. Принципы и методы определения. — М. : Химия, 1993. — 136 с.

4. National Fire Protection Association (NFPA). Standard test method for developing toxic potency data for use in fire hazard modeling. NFPA 269. NFPA National Fire Codes. Quincy. — 2003. — Р. 269-1—269-18.
5. 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.
6. Пузач С. В., Смагин А. В., Доан В. М., 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.
7. 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.
8. Кошмаров Ю. А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении. — М. : Академия ГПС МВД России, 2000. — 118 с.
9. NFPA 92B. Standard for Smoke Management Systems in Malls, Atria, and Large Spaces. — 2005.
10. 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.
11. Молчадский И. С. Пожар в помещении. — М. : ВНИИПО, 2005. — 456 с.
12. Fei You, Jianjun Zhou, Yanghui Zou, Peide Li. Preliminary Real-scale Experimental Studies on Cable Fires in Plenum // Journal of Fire Sciences. — 2003. — Vol. 21. — November. — P. 465—484.

Материал поступил в редакцию 28 января 2011 г.
Электронный адрес авторов: puzachsv@rambler.ru.



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет новую книгу

А. Я. Корольченко, Д. О. Загорский

КАТЕГОРИРОВАНИЕ ПОМЕЩЕНИЙ И ЗДАНИЙ ПО ВЗРЫВОПОЖАРНОЙ И ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ. — М. : Пожнаука, 2010. — 118 с.



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

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

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

**С. В. Тимофеева**

канд. хим. наук, доцент
Ивановского института ГПС МЧС РФ,
г. Иваново, Россия

**О. Г. Хелевина**

д-р хим. наук, профессор Ивановского
государственного химико-технологического
университета и Ивановского института ГПС
МЧС РФ, г. Иваново, Россия

УДК 658.524

ВЛИЯНИЕ ТКАНЕВОЙ ОСНОВЫ НА ПОЖАРНУЮ ОПАСНОСТЬ МАТЕРИАЛОВ С СИЛОКСАНОВЫМ ПОКРЫТИЕМ

Изучено влияние тканевых основ на пожарную опасность материалов с силоксановым покрытием. Показано, что использование тканевых основ из смешанных волокон позволяет существенно снизить пожарную опасность материалов с силоксановым покрытием по сравнению с материалами на основе капроновых и лавсановых тканей. Наиболее эффективным является использование в качестве основ защитных материалов с силоксановым покрытием тканей из смешанных волокон, содержащих по основе капроновые нити, а по утку — крученые хлопкополиэфирные нити.

Ключевые слова: силоксановые покрытия; смешанные волокна; капроновые и лавсановые ткани; материалы пониженной горючести.

Ранее было показано [1], что нанесение на капроновые ткани отверженных покрытий на основе жидких низкомолекулярных силоксановых каучуков СКТН позволяет получать защитные материалы с пониженной пожарной опасностью. Однако в некоторых случаях пожарная опасность таких материалов оказывается недостаточной.

В настоящей работе изучено влияние тканевых основ, в частности тканей из полиэфирных и смешанных волокон, на пожарную опасность, кислородный индекс и физико-механические свойства материалов с силоксановым покрытием.

В табл. 1 приведены составы композиций на основе низкомолекулярных силоксановых каучуков СКТН и свойства защитных материалов на лавсановой ткани арт. 56208 с отверженным силоксановым покрытием. Сравнение данных таблицы со свойствами капроновой ткани арт. 56007 с отверженным силоксановым покрытием [1] позволяет сделать заключение, что пожарная опасность, кислородный индекс и физико-механические свойства материалов на лавсановой ткани арт. 56208 значительно ниже, чем у материалов на капроновой ткани арт. 56007. Объясняется это отсутствием какого-либо химического взаимодействия отверженных покрытий на основе жидких силоксановых каучуков СКТН с лавсановыми тканями, что подтверждается данными инфракрасной спектроскопии: инфракрасные спектры лавсановой ткани с отверженным покрытием на основе

жидкого силоксанового каучука СКТН-А представляют собой простое наложение ИК-спектра полиэтилентерефталата (лавсана) [2] и отверженного силоксанового покрытия. При нанесении отверженного силоксанового покрытия на лавсановую ткань не происходит смещения полос поглощения в ИК-спектре полиэтилентерефталата (лавсана), что указывает на отсутствие водородных связей между отверженным силоксановым покрытием и лавсановой тканью.

Наибольший интерес в качестве основ защитных материалов с силоксановым покрытием представляют ткани из смешанных волокон, содержащие по основе капроновые нити, а по утку — крученые хлопкополиэфирные нити, скручивание которых осуществляется на прядильно-крутильных машинах различной конструкции [3–6]. Такие тканевые основы по прочности соизмеримы с капроновыми тканями с аналогичной поверхностной плотностью. После нанесения на них отверженных силоксановых покрытий пожарная опасность получаемых защитных материалов снижается приблизительно вдвое по сравнению с материалами на капроновой основе.

В табл. 2 приведены свойства текстильных материалов с отверженным силоксановым покрытием, нанесенным на тканевые основы различного состава и с различным числом круток уточной нити. Из данных табл. 2 видно, что устойчивость к воз-

© Тимофеева С. В., Хелевина О. Г., 2011

Таблица 1. Составы композиций на основе каучуков СКТН и свойства материалов на лавсановой ткани арт. 56208 с отверженным силоксановым покрытием

Наименование компонентов и показатели материала	Содержание компонентов, масс. ч., и значение показателя полученного материала						
Каучук СКТН:							
марки А	100	—	—	—	100	—	—
марки Б	—	100	—	—	—	100	—
марки В	—	—	100	—	—	—	—
марки Г	—	—	—	100	—	—	100
Этилсиликат-40	12	—	15	—	—	12	15
Тетраэтоксититан	—	12	—	15	12	—	—
Октоат олова	2	—	—	—	—	1,5	2
Дибутилолово-лауринат	—	1	—	—	—	—	—
Ледяная уксусная кислота	8	8	8	8	—	—	—
Оксид кальция	3	3	3	3	—	—	—
Ацетат свинца	—	—	—	—	5	—	—
Ацетат железа (II)	—	—	—	—	—	5	—
Ацетат сурьмы (III)	—	—	—	—	—	—	5
<i>Свойства полученного материала</i>							
Воспламеняемость, с	30	32	33	35	36	37	26
Кислородный индекс, %	30	31	31	32	31	30	33
Водонепроницаемость, ч	18	18	18	18	18	18	18
Истираемость, г/(кВт·ч)	380	385	420	450	470	480	550
Масса 1 м ² , г	230	232	235	238	240	245	232
П р и м е ч а н и е .	Кислородный индекс капроновой ткани арт. 56007 с отверженным силоксановым покрытием 34–35 %.						

действию открытого пламени материалов на тканевой основе из смешанных волокон с нанесенным на них силоксановым покрытием достигает 100–120 с. Таким образом, эти материалы по своим защитным свойствам значительно эффективнее материалов на основе капроновых тканей [1].

Соотношение волокон в изучаемых тканевых основах (см. табл. 2) варьировалось следующим образом (% масс.): для капроновых волокон — 30–60, для полиэфирных — 20–40, для хлопковых — 20–40. Число круток на 1 м уточной нити варьировалось от 100 до 500. В качестве структурирующего агента — отвердителя силоксановых каучуков СКТН использованы известные отвердители: этилсиликат-40 (ГОСТ 26371–84, изм. 1–2), тетраэтоксисилилан марки А (ТУ 2435-419-05763441–2003, изм. 1).

В качестве катализатора отверждения силоксановых покрытий применен октоат олова — катализатор 230-19 (ТУ 6-02-539–75).

Из данных табл. 2 видно, что с увеличением числа круток уточной нити несколько улучшаются физико-механические свойства и снижается пожарная опасность материалов с силоксановым покрытием.

В качестве отвердителя силоксановых покрытий были также использованы эфиры ортотитановой кислоты — тетрапропоксититан и тетрабутооксититан (ТУ 6-09-2738–89).

При вулканизации жидких низкомолекулярных каучуков СКТН, имеющих концевые силанольные группы, эфирами ортотитановой кислоты образуются связи Ti—O—Si, что подтверждается данными ИК-спектроскопии и связано с появлением характеристической полосы поглощения при 980 cm^{-1} , соответствующей валентным колебаниям связи Ti—O—Si [7].

Свойства материалов пониженной пожарной опасности с силоксановыми покрытиями, полученных вулканизацией эфирами ортотитановой кислоты, с использованием в качестве тканевых основ тканей из смешанных волокон, представлены в табл. 3. Сравнение данных табл. 2 и 3 позволяет сделать заключение, что пожарная опасность материалов с основами из смешанных волокон, полученных вулканизацией эфирами ортотитановой кислоты, несколько ниже, а кислородный индекс и физико-механические свойства несколько выше по сравнению с материалами, полученными вулканизацией октоатом олова.

Во всех опытах, результаты которых представлены в табл. 2 и 3, вулканизация материалов проводилась при 160 °C в течение 2 мин. Воспламеняемость материалов определяли по ГОСТ Р 50810–95, кислородный индекс — по ГОСТ 12.1.044–84, разрывные нагрузки — по ГОСТ 17316–71.

Таким образом, использование тканевых основ из смешанных волокон позволяет существенно снизить пожарную опасность материалов с силоксановым покрытием по сравнению с материалами на основе капроновых и лавсановых тканей. Существенным преимуществом использования тканевых основ из смешанных волокон является также отсутствие перенапряжений в получаемых материалах с силоксановым покрытием.

Работа выполнена при поддержке гранта Российской фонда фундаментальных исследований № 09-03-97504 р_центр_a.

Таблица 2. Состав и свойства материала пониженной пожарной опасности с силоксановым покрытием

Состав тканевой основы			Число круток уточной нити на 1 м	Компоненты композиции для силоксанового покрытия, масс. ч.					Воспламеня-емость при выдержке в открытом пламени, с	Кисло-родный индекс, %	Разрывная нагрузка, Н	
Капрон	Поли-эфир	Хлопок		Каучук СКТН-А	Каучук СКТН-Г	Этилсиликат-40	Тетраэтоксисилан	Октоат олова			по основе	по утку
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1
40	30	30	100	100	—	12	—	2,0	95	34	1900	1850
40	40	20	200	—	100	—	12	2,5	100	35	1950	1900
40	35	25	300	100	—	15	—	3,0	110	36	2050	1950
30	30	40	400	—	100	—	15	3,0	115	37	2100	1975
50	20	30	500	100	—	12	—	2,5	120	38	2150	1925
60	20	20	300	—	100	—	15	2,5	110	36	2100	1900

Таблица 3. Состав и свойства текстильных материалов пониженной пожарной опасности, отверженных эфирами ортоитановой кислоты

Состав тканевой основы			Число круток уточной нити на 1 м	Компоненты композиции для силоксанового покрытия, масс. ч.					Воспламеня-емость при выдержке в открытом пламени, с	Кисло-родный индекс, %	Разрывная нагрузка, Н	
Капрон	Поли-эфир	Хлопок		Каучук СКТН-А	Каучук СКТН-Г	Этилсиликат-40	Тетра-пропоксититан	Тетра-бутоксититан			по основе	по утку
40	30	30	100	100	—	20	30	—	100	35	1950	2000
40	40	20	200	—	100	30	—	30	105	36	2000	2100
40	35	25	300	100	—	40	30	—	115	37	2050	2200
30	30	40	400	—	100	40	—	35	120	38	2150	2250
50	20	30	500	100	—	25	25	—	125	37	2150	2150
60	20	20	300	—	100	30	—	40	125	38	2200	2250

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тимофеева С. В., Осипов А. Е., Хелевина О. Г. Материалы пониженной пожарной опасности на основе отверженных жидких силоксановых каучуков // Пожаровзрывобезопасность. — 2009. — Т. 18, № 5. — С. 25–30.
2. Дехант И., Данц Р., Киммер В., Шмольке Р. Инфракрасная спектроскопия полимеров. — М. : Химия, 1976. — С. 299–313.
3. Кориковский П. К. Прядильно- крутильная машина. — М. : ЦИНТИ Легпром, 1960.
4. Зубчанинов В. В. Текстильная промышленность капиталистических стран. — М. : Ростехиздат, 1961.
5. Гусев В. Е. Химические волокна в текстильной промышленности. — М. : Легкая индустрия, 1971. — С. 568–569.
6. Севостьянов А. Г., Осьминин Н. А., Щербаков В. П. и др. Механическая технология текстильных материалов. — М. : Легпромбытиздат, 1989. — С. 242–245.
7. Долгов О. Н., Воронков М. Г., Гринблат М. П. Кремнийорганические жидкие каучуки и материалы на их основе. — Л. : Химия, 1975. — С. 25–26.

Материал поступил в редакцию 2 февраля 2011 г.
Электронный адрес авторов: timofeeva63@bk.ru.

**А. А. Таранцев**

д-р техн. наук, профессор, заслуженный работник высшей школы РФ, профессор Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС РФ, г. Санкт-Петербург, Россия

**А. Л. Холостов**

докторант, канд. техн. наук, доцент Академии ГПС МЧС России, г. Москва, Россия

УДК 614.841

О ЗАДАЧЕ СЛИЯНИЯ СЛУЧАЙНЫХ ПОТОКОВ СИГНАЛОВ

На основе компьютерного моделирования процесса слияния пуассоновского (экспоненциального) потока сигналов с интервальным и регулярным потоками получены и обобщены основные характеристики суммарного потока.

Ключевые слова: моделирование; потоки сигналов (сообщений, вызовов).

Введение

Функционирование сложных систем, связанных с информационными потоками (диспетчерские службы, автоматизированные системы пожароизобезопасности, системы комплексной безопасности [1, 2] и др.), требует изучения закономерностей во взаимодействии таких потоков [3]. При этом одной из характерных задач является исследование процесса слияния случайных потоков сигналов (сообщений, вызовов) с образованием суммарного потока, поступающего в единый узел обработки [4]. Типичными потоками сигналов во многих случаях являются пуассоновские (например, для пожарной охраны [5]), хотя имеют место и другие виды потоков — регулярные, эрланговские [6] и др.

Проблема

Задача построения результирующего закона плотности распределения $\varphi_0(t)$ промежутков времени t между моментами поступления сигналов в суммарном потоке, полученным при слиянии двух потоков с законами плотности распределения промежутков времени между сигналами соответственно $\varphi_1(t)$ и $\varphi_2(t)$, является достаточно сложной с точки зрения применения аналитических методов.

Аналитическая зависимость результирующего закона $\varphi_0(t)$ получена для простейших (стационарных, пуассоновских) потоков, для которых плотность распределения времени между поступлением сигналов имеет вид:

$$\varphi_i(t) = \lambda_i e^{-\lambda_i t}, \quad (1)$$

где λ_i — параметр (частота поступления сигналов) i -го потока.

Тогда величина $\varphi_0(t)$ принимает вид [6]:

$$\varphi_0(t) = \Lambda e^{-\Lambda t}, \quad (2)$$

где Λ — обобщенный параметр суммарного потока;
 $\Lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n$;
 n — число сливающихся потоков.

Задача слияния простейшего потока с потоками Пальма представляет значительный интерес. Например, в случае, когда в диспетчерский пункт экстренной службы поступает как простейший поток с частотой λ_1 , так и регулярный поток или поток сигналов, время между которыми распределено равномерно в промежутке от a до b .

При слиянии потоков Пальма имеет место соотношение

$$t_0^{-1} = t_1^{-1} + t_2^{-1} + \dots + t_n^{-1}, \quad (3)$$

где t_i — средний интервал времени между сигналами в i -м потоке ($i \in [1, n]$).

Применительно к простейшим потокам, когда $t_i = \lambda_i^{-1}$, результирующий закон принимает вид, описываемый выражением (2).

В общем же случае для получения результирующего закона $\varphi_0(t)$ можно использовать методы имитационного моделирования [7, 8].

Моделирование узла суммирования случайных потоков

Для решения данной проблемы была создана специальная компьютерная программа, моделирующая на основе метода Монте-Карло [7, 8] узел суммирования экспоненциального и интервального потоков, в котором образуется результирующий случайный поток с плотностью распределения $\varphi_0(t)$ случайных

промежутков времени между сигналами от обоих потоков.

Было проведено тестирование программы и определен необходимый объем выборки числа сигналов в потоках. Результаты тестирования позволяют утверждать, что точность получаемых данных фактически определяется точностью используемых датчиков случайных чисел CVR3R и CVR3UR [9], используемых в программе.

При компьютерном моделировании слияния экспоненциального и интервального потоков (рис. 1) с использованием разработанной программы результирующие законы в виде плотности распределения $\phi_0(t)$ получали в виде гистограмм (рис. 2), что не мешало находить основные закономерности. В частности, в ходе тестирования программы было также смоделировано слияние двух вариантов указанных потоков, плотности которых $\phi_1(t)$ и $\phi_2(t)$ отличались лишь пропорциями, и получены соответствующие результирующие законы с плотностями $\phi_0(t)$ (см. рис. 2), которые имели аналогичные пропорции. Это позволило широко использовать нормировку относительно интенсивности λ , перейти благодаря этому от абсолютных значений параметров законов к приведенным (нормированным) и тем самым снизить трудоемкость исследований.

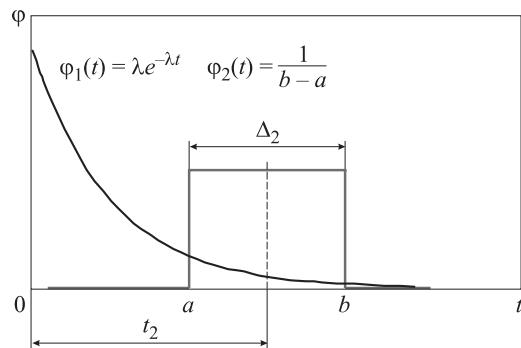


Рис. 1. Плотности распределения промежутков времени между сигналами в суммируемых потоках

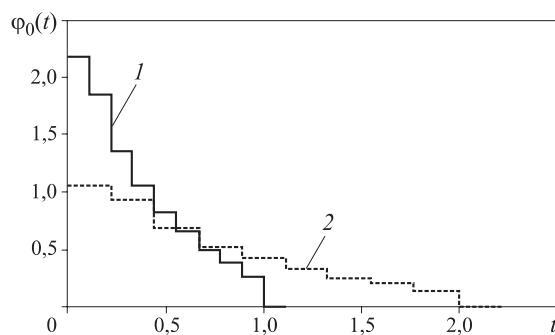


Рис. 2. Результирующие плотности распределения (в виде гистограмм) промежутков времени между сигналами в суммарном потоке: 1 — $\lambda = 1$; $a = 0$; $b = 1$; 2 — $\lambda = 0,5$; $a = 0$; $b = 2$

Результаты моделирования

В ходе серии компьютерных экспериментов исследовалось влияние приведенного математического ожидания потоков (параметр λt_2) и относительной “ширины” интервального потока Δ_2/t_2 ($\Delta_2 = b - a$; $t_2 = (b + a)/2$) на вид результирующего закона $\phi_0(t)$. На рис. 3 представлены полученные результирующие законы при различных соотношениях Δ_2/t_2 (показаны штрих-пунктиром), а на рис. 4 — при различных значениях параметра λt_2 (слияние экспоненциального и регулярного потоков, величина λt_2 показана штрих-пунктиром). В результате выявлен общий характер результирующего закона (рис. 5) и установлено, что он имеет выраженную правую границу, совпадающую с правой границей b интервального потока (см. рис. 5, а) или периодом t_2 следования сигналов в регулярном потоке (см. рис. 5, б).

Поскольку результирующие плотности распределения $\phi_0(t)$ получались в виде гистограмм, что не всегда удобно для анализа, было решено перейти к обобщенным характеристикам — приведенному математическому ожиданию λt_0 и коэффициентам вариации Kv , асимметрии As и эксцесса Ex [6]. Это позволило представить результаты моделирования в виде обобщающих зависимостей (рис. 6). Из полу-

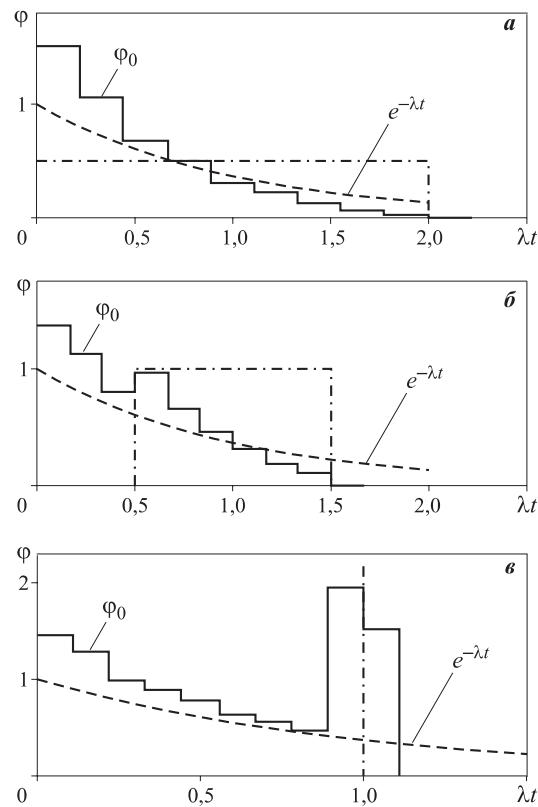


Рис. 3. Результирующие плотности распределения при слиянии экспоненциального потока с интервальными (а, б) и регулярным (в) потоками: а — $\lambda = 1$; $a = 0$; $b = 1$; б — $\lambda = 1$; $a = 0,5$; $b = 1,5$; в — $\lambda = 1$; $a = b = 1$

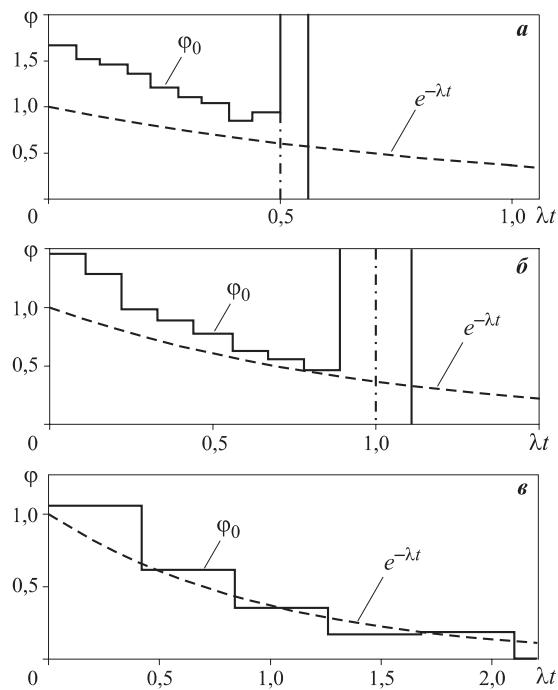


Рис. 4. Результатирующие плотности распределения при слиянии экспоненциального и регулярного потоков: *a* — $\lambda = 1$; $a = b = 0,5$; *b* — $\lambda = 1$; $a = b = 1$; *c* — $\lambda = 1$; $a = b = 2$

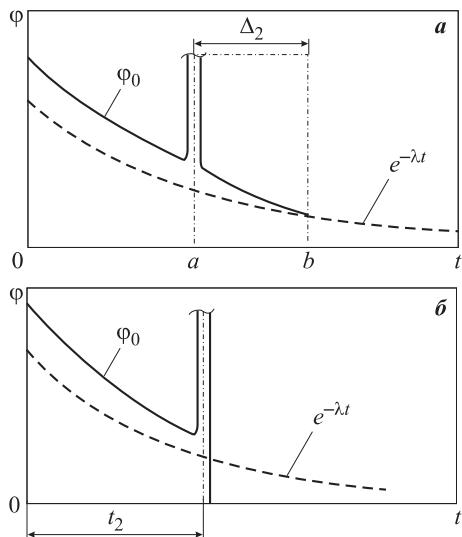


Рис. 5. Характерный вид результирующих плотностей распределения при слиянии экспоненциального потока с интервальным (*a*) и регулярным (*b*) потоками

ченных результатов, в частности, следует, что приведенное математическое ожидание результирующего закона не зависит от относительной ширины интервального потока, а определяется только параметром λt_2 (см. рис. 6, *a*). При этом может быть использовано аппроксимирующее выражение

$$t_0 = t_2 / (1 + \lambda t_2), \quad (4)$$

отражающее эффект суммирования интенсивностей при слиянии потоков.

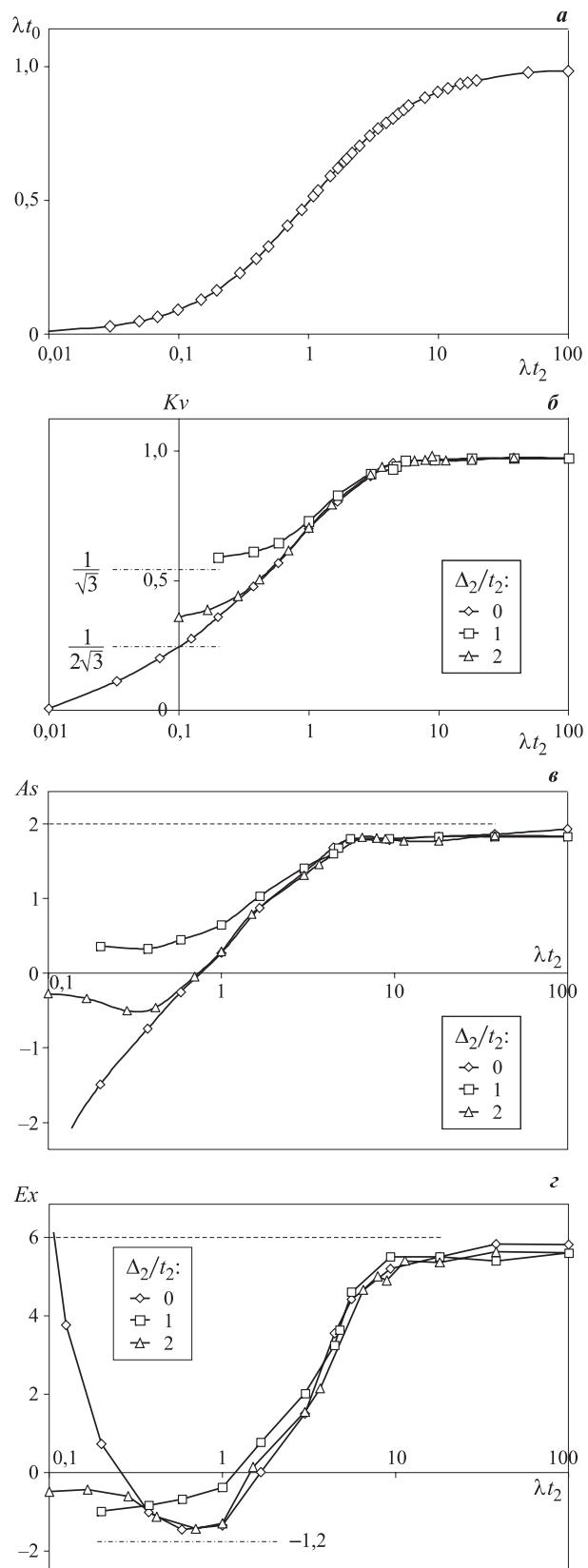


Рис. 6. Основные характеристики результирующих законов в зависимости от соотношения математических ожиданий суммируемых потоков (параметра λt_2) при различных значениях приведенного интервала Δ_2/t_2 : *a* — приведенное математическое ожидание; *b*, *v*, *z* — коэффициенты вариации, асимметрии и эксцесса соответственно

Коэффициенты же вариации, асимметрии и эксцесса суммарного потока зависят как от параметра λt_2 , так и от соотношения Δ_2/t_2 (см. рис. 6, б-г), но из анализа всех характеристик следует, что при больших значениях параметра λt_2 (более 10) проявляется эффект поглощения интервального потока экспоненциальным, поскольку сигналы интервального потока перестают быть статистически различимыми на фоне более частых сигналов экспоненциального потока, т. е. $t_0 \rightarrow \lambda$, $Kv \rightarrow 1$, $As \rightarrow 2$, $Ex \rightarrow 6$. Наоборот, при малых значениях параметра λt_2 (менее 0,1) и $\Delta_2 > 0$ проявляется эффект поглощения экспоненциального потока интервальным согласно (4), т. е. $t_0 \rightarrow t_2$, $As \rightarrow 0$, $Ex \rightarrow -1,2$. Коэффициент вариации результирующего закона при этих условиях стремится к отношению

$$Kv \rightarrow \frac{b-a}{\sqrt{3(b+a)}},$$

что соответствует закону равномерной плотности [6].

Выводы

На основе анализа результатов компьютерного моделирования слияния экспоненциального и интервального потоков можно утверждать следующее:

а) математическое ожидание результирующего потока не зависит от “ширины” интервального потока Δ_2 , а обуславливается только математическими ожиданиями обоих потоков (*эффект суммирования интенсивностей*);

б) на коэффициенты вариации, асимметрии и эксцесса результирующего закона $\phi_0(t)$ влияет соотношение математических ожиданий (параметр λt_2) и относительная “ширина” интервального потока Δ_2/t_2 , что позволяет уйти от использования соответствующих абсолютных значений (*правило относительности*) и несколько упростить анализ;

в) при значительной разнице в соотношениях математических ожиданий суммируемых потоков ($\lambda t_2 > 10$ или $\lambda t_2 < 0,1$) проявляется *эффект поглощения* потока с редким следованием сигналов потоком с более частыми сигналами;

г) правая граница результирующего закона $\phi_0(t)$ соответствует наименьшей правой границе b интервального потока (*эффект “отрезания”*).

Таким образом, становится возможным находить результирующий закон распределения времени между поступлением сигналов, например, в диспетчерские службы для объективной оценки параметров их функционирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Топольский Н. Г. Основы автоматизированных систем пожаровзрывобезопасности объектов. — М. : МИПБ МВД России, 1997. — 164 с.
2. Топольский Н. Г. Интеллектуальные интегрированные (комплексные) системы безопасности и жизнеобеспечения — от объектов до территорий // Материалы XIII научно-практической конференции “Системы безопасности” (СБ–2004). — М. : Академия ГПС МЧС России, 2004. — С. 8–10.
3. Риордан Дж. Вероятностные системы массового обслуживания. — М. : Связь, 1966.
4. Таранцев А. А. Инженерные методы теории массового обслуживания. — Изд. 2-е перераб. и доп. — Спб : Наука, 2007. — 175 с.
5. Брушлинский Н. Н. Системный анализ деятельности Государственной противопожарной службы. — М. : МИПБ МВД РФ, 1998.
6. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. — Изд. 5-е, стереотип. — М. : Высшая школа, 1998.
7. Бусленко Н. П., Голенко Д. И., Соболь И. М. и др. Метод статистических испытаний (метод Монте-Карло). — М. : Физматгиз, 1962.
8. Соболь И. М. Метод Монте-Карло. — М. : Наука, 1985.
9. Давидович М. И., Петрович М. Л. Прикладная статистика. Статистическое оценивание // Программное обеспечение ЭВМ. — АН БССР, Ин-т математики, 1987, вып. 4.

*Материал поступил в редакцию 20 декабря 2010 г.
Электронные адреса авторов: t_54@mail.ru; holostov@mail.ru.*



И. В. Костерин

преподаватель Ивановского института ГПС
МЧС РФ, г. Иваново, альянт ФГУ ВНИИПО
МЧС РФ, г. Балашиха, Россия

УДК 614.841:721.011.72

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ С АТРИУМАМИ

Приведен анализ российских и зарубежных нормативных документов, касающихся оценки пожарной опасности многофункциональных общественных зданий с наличием атриума. Указано на недостаточное развитие российской нормативной базы в области противопожарного нормирования многофункциональных общественных зданий с атриумами.

Ключевые слова: многофункциональные общественные здания; пожарная опасность; нормативные требования; атриум.

В настоящее время в Российской Федерации активно вводится аудит пожарной безопасности (независимая оценка рисков). Первым шагом в этом направлении стало принятие “Технического регламента о требованиях пожарной безопасности” (№ 123-ФЗ от 22 июля 2008 г.). Аудит безопасности нацелен на то, чтобы задействовать прежде всего экономические рычаги регулирования вопросов пожарной безопасности. Понятие пожарного риска и определение на его основе перечня противопожарных мероприятий, которые необходимо реализовать на конкретном объекте защиты, применяется в нашей стране примерно последние десять лет.

Накопленный за это время опыт показывает rationalность и целесообразность данного метода прежде всего для уникальных объектов, когда отсутствуют типовые решения в нормативных документах по пожарной безопасности. К таким объектам, в частности, относятся здания с атриумами.

Необходимо отметить также, что в ряде стран мира (Новая Зеландия, Австралия, США, Англия, Китай, Республика Беларусь, Республика Казахстан) противопожарные нормы для зданий с атриумами разработаны и приняты.

Согласно [1] атриум — это большое свободное пространство, образованное одним или несколькими проемами в перекрытиях, объединяющими два и более этажей, покрытое над проемами кровлей и используемое для различных целей, но не в качест-

ве огражденной лестницы, шахты лифта, проема для эскалатора, шахты для размещения инженерных коммуникаций, таких как водопровод, электропроводка, системы кондиционирования воздуха или средства связи.

Еще одно определение термина “атриум” приводится в английском техническом меморандуме [2], который заменил стандарт BS 5588 [3]: атриум — пространство внутри здания, необязательно вертикально ориентированное, проходящее через один или несколько структурных этажей.

Шахты лифтов, эскалаторные, трубопроводные пространства, лестничные клетки не классифицируются как атриумы. При разработке стратегии обеспечения пожарной безопасности здания следует также учитывать стоимость проектирования системы.

В процессе разработки должны учитываться следующие характеристики, которые могут существенно влиять на состояние пожарной безопасности: 1) тип здания; 2) степень разделения между пространством атриума и прилегающими помещениями; 3) размеры и геометрия атриума; 4) загруженность нижней части атриума и связанные с этим системы борьбы с пожаром; 5) высота здания.

Согласно “Функциональным нормам для зданий и сооружений Совета по международным нормам” (International Code Council Performance Code for Buildings and Facilities, 2003 г.) атриум — открытое про-

странство, образованное за счет высоты двух и более этажей здания, закрытое сверху крышой и используемое для других целей, кроме как для размещения огражденных лестниц, лифтов, лифтовых шахт, эскалаторов, пространства для распределения инженерных коммуникаций, таких как водоснабжение, электроснабжение, системы кондиционирования воздуха, и другого оборудования, и не являющееся моллом. Степени риска и опасности должны соответствовать группе классификации по назначению здания, в котором расположен атриум.

Для сравнения, в России определение “атриум” присутствует лишь в МГСН 4.04–94* (приложение 1) [4]. Атриум — это часть здания в виде многосветного пространства, как правило, развитого по вертикали с поэтажными галереями, на которые выходят помещения различного назначения. Атриум, развитый по горизонтали в виде многосветного прохода, может быть назван пассажем.

Согласно требованиям данного документа устройство атриумов допускается в здании или в его части, выделенной в пожарный отсек, оборудованных системой противопожарной защиты. При этом конструкции перекрытия атриумов должны быть особой степени огнестойкости и выполняться из негорючих материалов. Высота атриума должна быть не более 10 этажей. Пол атриума не может быть ниже уровня земли более чем на два этажа.

Согласно МГСН 4.04–94*, изм. № 1 (утв. Правительством Москвы 03.08.1999 г. № 592-РЗП) атриум и все помещения здания (пожарного отсека) оборудуются автоматической системой пожаротушения, дымовой пожарной сигнализацией и системой дымоудаления. При высоте атриума более 17 м спринклерные оросители следует устанавливать под выступающими в пространство атриума конструкциями (балконами, перекрытиями и др.) без установки спринклерных оросителей в покрытии атриума.

На территории г. Москвы действуют также МГСН 4.19–05 [5], актуальность разработки которых обусловлена интенсивным развитием высотного строительства в соответствии с городской программой “Новое кольцо Москвы” и отсутствием нормативной базы для этого вида строительства. В данных нормах есть указание (п. 14.13), что требования по обеспечению пожарной безопасности атриумов принимаются согласно МГСН 4.04–94*. Требования безопасности, предъявляемые к многофункциональным зданиям с атриумами в данном документе, касаются проектирования систем вентиляции, кондиционирования и воздушного отопления, а также систем вытяжной противодымной вентиляции.

На территории г. Санкт-Петербурга в 2006 г. введены в действие ТСН 31-332–2006 [6], которые распространяются на проектирование жилых и обще-

ственных зданий высотой до 150 м (жилые здания высотой более 75 м, общественные здания — более 50 м), а также комплексов таких зданий, возводимых на территории г. Санкт-Петербурга.

С 2008 г. на территории г. Санкт-Петербурга действуют РМД 31-03–2008 [7]. Одним из разделов данных рекомендаций является приложение Е “Рекомендации по проектированию атриумов (пассажей)”, в котором содержатся требования, например, к максимальной высоте атриума (28 м), проектированию систем дымоудаления и т. д.

Таким образом, мы видим, что на территории Российской Федерации требования по обеспечению пожарной безопасности многофункциональных общественных зданий с атриумами находят свое отражение в лишь в территориальных нормативных документах, рекомендациях и т. д. При этом следует отметить, что в них отсутствует методология оценки систем обеспечения пожарной безопасности в атриумных зданиях в отличие от зарубежных норм.

Если провести параллель с зарубежными нормативными документами в области противопожарного нормирования многофункциональных зданий с атриумами, несомненный интерес представляет руководство Национальной ассоциации противопожарной защиты NFPA 92B [1].

В данном документе представлена методология оценки распространения дыма внутри большого помещения при пожаре в нем либо в прилегающих к нему помещениях. Эти методы составляют техническую основу для помощи в проектировании, установке, проверке, эксплуатации, техническом обслуживании и ремонте новых и модернизированных систем противодымной защиты, установленных в зданиях с атриумами для защиты от дыма в помещении, где произошло возгорание, или между пространствами, не разделенными дымозащитными преградами. К зданиям, рассматриваемым в данном руководстве, относятся здания с атриумами, крытыми моллами и другими подобными большими помещениями. Данное руководство не применяется к складским, производственным и прочим аналогичным помещениям.

Целью данного руководства является дать рекомендации по устройству систем противодымной защиты с целью обеспечения:

- безопасных условий на путях эвакуации из зданий с большими внутренними объемами в течение времени, требуемого на эвакуацию;
- контроля и снижения распространения дыма из зоны пожара в смежные помещения;
- условий внутри и снаружи зоны пожара для проведения поисково-спасательных работ, обнаружения и контроля распространения пожара;

- помочи в защите людей и снижении материального ущерба;
- удаления дыма после пожара.

Согласно международным строительным нормам [8] пространство атриума не должно использоваться в целях, представляющих повышенную пожарную опасность, и в нем должны применяться только сертифицированные материалы и отделка. Как исключение, площадь пространства атриума может быть использована в любых целях при условии, что каждое отдельное помещение будет оборудовано автоматической спринклерной системой. Пространства атриумов должны отделяться от смежных помещений противопожарной преградой с часовым пределом огнестойкости.

Представляемая проектно-сметная документация должна сопровождаться рациональным расчетом задействованных типов дымоудаления, описанием методов их работы, поддерживающих их систем, а также используемых строительных технологий.

Согласно требованиям нормативных документов Республики Казахстан [9] устройство атриумов допускается в здании или его части, выделенной в пожарный отсек, оборудованный системой противопожарной защиты в соответствии с нормами. В случае замены противопожарной стены на дренчерную завесу системами противопожарной защиты оборудуется также пожарный отсек, отделенный указанной дренчерной завесой от пожарного отсека с атриумом.

Нормативные требования ограничивают площадь этажа между противопожарными стенами в многофункциональных зданиях и комплексах выше 16 этажей до 3000 м² при размещении гостиничных номеров, апартаментов, квартир и до 4000 м² — в остальных случаях; площадь подземных этажей между противопожарными стенами не должна превышать 4000 м² (независимо от надземной этажно-

сти здания); ограничение высоты атриума — 10 м, причем пол атриума не может быть ниже уровня земли более чем на два этажа.

В Республике Беларусь нормативные требования к зданиям с атриумами установлены НПБ 96–2004 [10]. Согласно данному нормативному документу атриумы, например, допускается устраивать в зданиях высотой не более 26,5 м от планировочной отметки земли до пола верхнего этажа. Под атриумами допускается устройство одноэтажных автомобильных стоянок (паркингов), отделаемых противопожарными перекрытиями и (или) стенами 1-го типа от атриума и остальной части здания. При этом отметка пола атриума не должна быть ниже планировочной отметки земли более чем на один этаж.

В галерейном пространстве следует устраивать сплошные продольные вертикальные завесы (экраны) по всей длине галереи, опускающиеся по наружному ее краю до высоты не менее 2,5 м от пола галереи, препятствующие распространению дыма в объем атриума. Экраны должны выполняться из негорючих материалов. Если указанные экраны выполнены нестационарными, то пусковые устройства экранов должны иметь автоматическое (от систем пожарной сигнализации с дымовыми пожарными извещателями), дистанционное и ручное управление. Автоматическое пожаротушение следует предусматривать в помещениях, смежных с атриумом, за исключением помещений, в которых применяются мокрые процессы либо отсутствуют горючие материалы.

Таким образом, можно сделать вывод, что на федеральном уровне в Российской Федерации не определены общие требования по обеспечению пожарной безопасности многофункциональных общественных зданий с атриумами, что является важной задачей обеспечения пожарной безопасности на данных объектах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. NFPA 92B. Guide for Smoke Management Systems in Malls, Atria and Large Areas (2009 edition).
2. Health Technical Memorandum 05-03: Operational provisions. Part M: Guidance on the fire safety of atria in healthcare buildings, 2010.
3. BS 5588-12:2004. Fire precautions in the design, construction and use of buildings. Managing Fire Safety, 2004.
4. МГСН 4.04–94* (ТЧ 31-304–95). Многофункциональные здания и комплексы г. Москва : утв. Правительством Москвы 23.12.94 : введ. 01.01.95. — М. : ГУП НИАЦ, 1994.
5. МГСН 4.19–05. Многофункциональные высотные здания и комплексы : утв. Постановлением Правительства Москвы от 28.12.2005. № 1058-ПП : введ. 28.12.2005. URL : <http://www.complex-doc.ru/ntd/544360>.
6. ТЧ 31-332–2006. Жилые и общественные высотные здания : утв. Правительством Санкт-Петербурга 23.12.2005 : введ. 28.04.2006. — СПб : Правительство Санкт-Петербурга, 2006.
7. РМД 31-03–2008. Рекомендации по проектированию зданий гостиничных предприятий, мотелей и кемпингов в Санкт-Петербурге : утв. Правительством Санкт-Петербурга 20.06.2008 : введ. 20.06.2008. — СПб : ЗАО “Инженерная ассоциация “Ленстройинжсервис”, 2008.

8. International Building Code, IBC–2003.
9. СНиП РК 2.02-05–2009. Пожарная безопасность зданий и сооружений : утв. Агентством РК по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства 25.12.2009 : введ. 01.07.2010. — Астана, 2010. — 32 с.
10. НПБ 96–2004. Нормы пожарной безопасности Республики Беларусь. Здания с атриумами (пассажами). Противопожарные требования : утв. 29.10.2004 : введ. 01.01.2005. URL : <http://www.pra-voby.info/docum09/part19/akt19028.htm>.

*Материал поступил в редакцию 26 января 2011 г.
Электронный адрес автора: kosteriniv@gmail.com.*

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

Учебное пособие

В. Н. Черкасов, В. И. Зыков

**Обеспечение
пожарной безопасности
электроустановок**



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

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



Web-сайт: firepress.ru

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

Тел.: (495) 228-09-03, тел./факс: (495) 737-65-74



С. В. Заикин
начальник конструкторско-технологического отдела ЗАО “Теплоогне-защита”, г. Сергиев Посад, Россия



С. А. Бушманов
аспирант Московского государственного строительного университета, г. Москва, Россия



А. П. Парфёnenko
адъюнкт Академии
ГПС МЧС РФ, г. Москва,
Россия



И. Р. Белосохов
адъюнкт Академии
ГПС МЧС РФ, г. Москва,
Россия

УДК 614.894:006.354

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРАХ В ЗДАНИЯХ ПОСРЕДСТВОМ ПРИМЕНЕНИЯ САМОСПАСАТЕЛЕЙ. Часть 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ*

Приведены результаты эксперимента по использованию средств индивидуальной защиты органов дыхания и зрения (самоспасателей) для людей, самостоятельно эвакуирующихся из здания во время пожара, которыми согласно “Техническому регламенту о требованиях пожарной безопасности” (Федеральный закон № 123-ФЗ) должны оснащаться здания и помещения классов функциональной пожарной опасности Ф1.1, Ф1.2, Ф2.1, Ф2.2, Ф3.1, Ф3.2, Ф3.4, Ф4.1, Ф4.2, Ф4.3, Ф5.1.

Ключевые слова: самоспасатель; эвакуация; спасение; фактическое и необходимое времена эвакуации людей при пожаре.

Введение

По методике эксперимента, рассмотренной в предыдущей статье (часть 2. Объекты испытаний. Методика эксперимента), проведены испытания, в ходе которых регистраторами были измерены фактические значения времен эвакуации из учебного корпуса и общежития, а также рассчитаны значения времен блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара (ОФП).

Моделирование динамики опасных факторов пожара

Для описания термогазодинамических параметров пожара в учебном корпусе и общежитии применена одна из трех детерминистических моделей, а именно полевая. Интегральная (однозонная) и зонная (с числом зон две и более) математические модели не позволяют в полной мере прогнозировать пространственно-временную динамику значений опасных факторов пожара при развитии пожаров. Поэтому приоритетность использования полевой модели пожара в данном случае обусловлена тем,

что она позволяет получать локальные значения замеряемых величин в определенных точках независимо от сложности конструктивного и объемно-планировочного исполнения здания. В дополнение к этому дифференциальный (полевой или CFD) метод дает возможность учитывать работу систем противопожарной защиты. Полевая математическая модель пожара основана на уравнениях, выражающих законы сохранения массы, импульса, энергии и масс компонентов в малом рассматриваемом объеме.

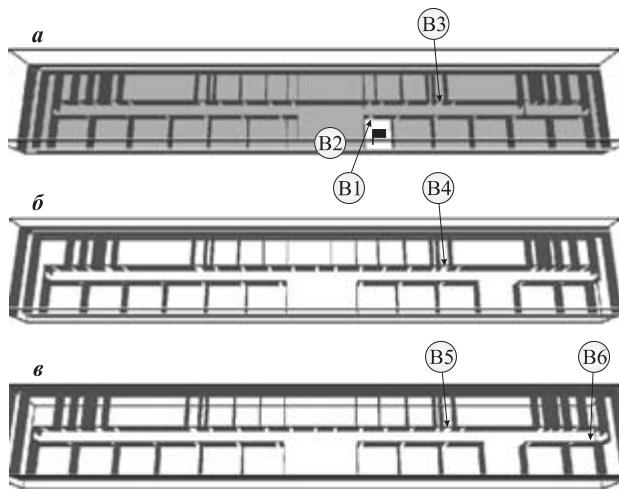
Для проведения эксперимента были выбраны следующие места возникновения очагов пожара: в учебном корпусе — кабинет директора на первом этаже; в здании общежития — помещение кладовой на первом этаже. При расчете была использована полевая математическая модель пожара, реализованная с помощью программного комплекса Fire Dynamics Simulator (FDS) 5.3.0.

Как упоминалось выше, наиболее опасный сценарий развития пожара по учебному корпусу — возгорание в кабинете директора (мебель и бумага, рассредоточенные по площади комнаты), расположенному на первом этаже в непосредственной близости к выходу из здания. В область моделирования включены все помещения в уровнях первого, второго

* Окончание. Начало см. журнал “Пожаровзрывобезопасность” № 2 и 3 за 2011 г.

Таблица 1. Критические значения ОФП

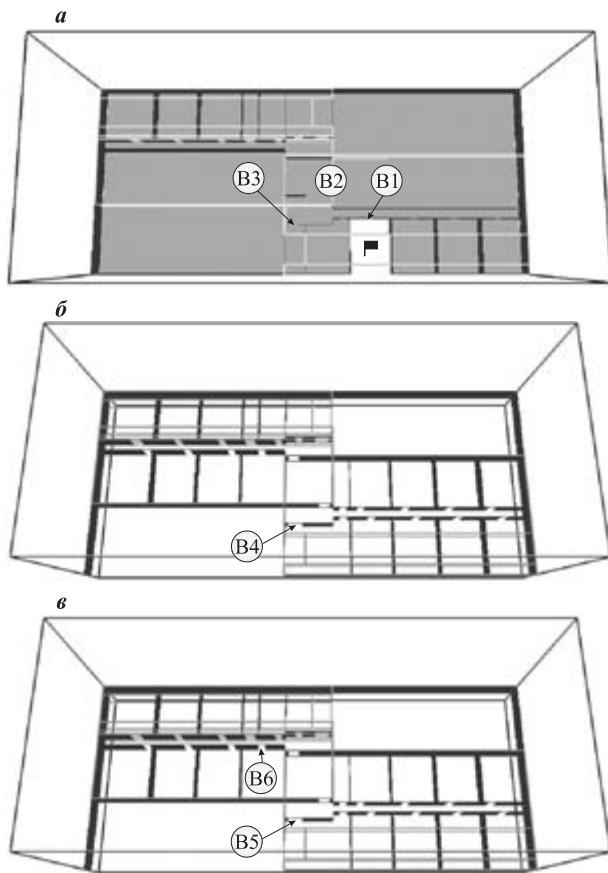
Параметр	Критическое значение
Температура, °C	70
Тепловой поток, Вт/м ²	1400
Дальность видимости, м	20
Концентрация, кг/м ³ :	
CO	$1,16 \cdot 10^{-3}$
CO ₂	0,11
HCl	$23 \cdot 10^{-6}$
O ₂	0,226

**Рис. 1.** Расчетные схемы пожара: а — отм. ±0.000; б — отм. +3.500; в — отм. +7.000

го и третьего этажей здания. Время моделирования сценария — 1020 с.

В процессе моделирования определялись значения опасных факторов пожара у эвакуационных выходов на высоте рабочей зоны (1,7 м от уровня пола). Контролируемые параметры пожара и их критические значения приведены в табл. 1.

Исходные данные. В качестве материала ограждающих конструкций принят бетон. Принята типовая пожарная нагрузка для кабинета (административное помещение): мебель + бумага (0,75 + 0,25).

**Рис. 2.** Расчетные схемы пожара: а — отм. ±0.000; б — отм. +2.500; в — отм. +5.000

Расчетные схемы пожара показаны на рис. 1. Полученные расчетные значения наступления критических значений ОФП приведены в табл. 2.

По сценарию пожара в здании общежития в качестве расчетного варианта рассматривается возгорание мебели и линолеума ПВХ в помещении кладовой на первом этаже здания. Принята типовая пожарная нагрузка для помещения кладовой (общественное здание): мебель + линолеум ПВХ (0,9 + 0,1). В область моделирования включены помещения всего здания. Время моделирования сценария — 720 с.

Таблица 2. Сводные данные наступления критических значений ОФП (времени блокирования путей эвакуации, с) по учебному корпусу

Обозначения на рис. 1	Контрольная точка	Опасный фактор пожара					
		Концентрация CO	Концентрация CO ₂	Тепловой поток	Концентрация O ₂	Температура	Потеря видимости
B1	Выход из помещения пожара (отм. ±0.000)	H/б	93	42	84	44	34
B2	Выход из здания (отм. ±0.000)	H/б	346	324	330	181	112
B3	Выход в ЛК1 (отм. ±0.000)	H/б	372	314	243	174	99
B4	Выход в ЛК1 (отм. +3.500)	H/б	H/б	H/б	H/б	H/б	H/б
B5	Выход в ЛК1 (отм. +7.000)	H/б	H/б	H/б	H/б	H/б	H/б
B6	Выход из аудитории (отм. +7.000)	H/б	369	H/б	H/б	H/б	H/б

П р и м е ч а н и е . “H/б” означает, что за время моделирования контрольная точка не блокируется ОФП.

Таблица 3. Сводные данные наступления критических значений ОФП (времени блокирования путей эвакуации, с) по общежитию

Обозначения на рис. 2	Контрольная точка	Опасный фактор пожара						
		Концентрация CO	Концентрация CO ₂	Тепловой поток	Концентрация O ₂	Концентрация HCl	Температура	Потеря видимости
B1	Выход из помещения пожара (отм. ±0.000)	H/б	120	76	102	49	57	48
B2	Выход из здания (отм. ±0.000)	H/б	319	318	230	123	204	122
B3	Выход в ЛК1 (отм. ±0.000)	H/б	183	190	145	81	100	80
B4	Выход в ЛК1 (отм. +2.500)	H/б	H/б	673	H/б	361	705	343
B5	Выход в ЛК1 (отм. +5.000)	H/б	H/б	H/б	H/б	374	684	242
B6	Выход из комнаты (отм. +5.000)	H/б	H/б	H/б	H/б	308	H/б	306

В процессе моделирования замеряются значения опасных факторов пожара у эвакуационных выходов на высоте рабочей зоны (1,7 м от уровня пола). Контролируемые параметры пожара и их критические значения приведены в табл. 3. Расчетные схемы пожара показаны на рис. 2.

Как видно из данных, приведенных в табл. 2 и 3, фактором, определяющим значение необходимого времени эвакуации $t_{н.б.}$, является потеря видимости, наступающая в результате задымления. Тем самым аргументируется корректность использования в качестве индивидуальных средств защиты при пожаре основного функционального контингента зданий учреждений образования и науки самоспасателей фильтрующего типа.

Время прохождения пути эвакуации в обычных условиях

Данные по времени прохождения путей эвакуации испытателями в обычных условиях в учебном корпусе приведены в табл. 4а, по общежитию — в табл. 4б.

Время прохождения пути эвакуации при задымлении и физические показатели добровольцев-испытателей после прохождения задымленного участка

Время движения (фактическое время эвакуации) измерялось в контрольных точках. Измерения проводились при использовании трех разных типов самоспасателей. Данные по средним показателям движения и физиологического состояния людей во время спасения из учебного корпуса приведены в табл. 5а, из общежития — в табл. 5б.

Результаты и их обсуждение

Для оценки влияния использования самоспасателей на продолжительность эвакуации результаты испытаний сведены в табл. 6а и 6б. Время блокирования выходов из здания учебного корпуса непо-

Таблица 4а. Продолжительность движения испытателей при эвакуации из учебного корпуса при отсутствии задымления и без применения самоспасателей

№ п/п	Ф. И. О. испытателя	Время, с			
		включения в самоспасатель	выхода в ЛК	выхода из ЛК в коридор 1-го этажа	выхода из коридора в вестибюль 1-го этажа
1	Испытатель 1	—	35	59	73
2	Испытатель 2	—	27	45	58
3	Испытатель 3	—	25	48	64
4	Испытатель 4	—	23	37	50
5	Испытатель 5	—	28	50	67
6	Испытатель 6	—	30	58	73
7	Испытатель 7	—	25	50	66
8	Испытатель 8	—	27	54	71
9	Испытатель 9	—	29	59	76
10	Испытатель 10	—	34	66	86
					96

Таблица 4б. Продолжительность движения испытателей при эвакуации из общежития при отсутствии задымления и без применения самоспасателей

№ п/п	Ф. И. О. испытателя	Время, с	
		включения в самоспасатель	выхода из здания
1	Испытатель 1	—	25
2	Испытатель 2	—	26
3	Испытатель 3	—	27
4	Испытатель 4	—	33
5	—	—	—
6	Испытатель 6	—	34
7	Испытатель 7	—	35
8	Испытатель 8	—	38
9	Испытатель 9	—	36
10	Испытатель 10	—	42

Таблица 5а. Средние показатели движения и физиологического состояния людей при спасении из учебного корпуса

№ п/п	Тип самоспасателя	Время включения в самоспасатель, с	Скорость движения, м/с			Фактическое время эвакуации, с	Медицинские показатели после эвакуации			Особые реакции, %	Субъективная оценка, по 10-балльной системе
			по горизонтальному участку без задымления		по ЛК		Артериальное давление		Частота пульса, уд./мин		
			по горизонтальному участку без задымления	по ЛК	по горизонтальному участку с задымлением		систолическое	диастолическое	Частота пульса, уд./мин		
1	Без самоспасателя	—	1,48	1,25	—	76	119	70	70	—	—
2	Газодымозащитный комплект ГДЗК	36,6	1,83	1,10	1,30	113	141	83	76	Запах	8,75
3	Универсальный фильтрующий малогабаритный самоспасатель (УФМС) "Шанс-Е"	43	1,77	0,98	1,25	124	141	75	78	Намин	8,85
4	Газодымозащитный комплект ГДЗК-У	37,5	1,74	1,16	0,85	114	138	76	79	—	9,55

Таблица 5б. Средние показатели движения и физиологического состояния людей при спасении из общежития

№ п/п	Тип самоспасателя	Время включения в самоспасатель, с	Скорость движения, м/с	Фактическое время эвакуации, с	Медицинские показатели после эвакуации			Особые реакции, %	Субъективная оценка по 10-балльной системе		
					Артериальное давление		Частота пульса, уд./мин				
					систолическое	диастолическое					
1	Без самоспасателя	—	1,3	33	128	79	75	Нет	—		
2	Газодымозащитный комплект ГДЗК	37	1,1	77	134	77	77	Нет	9,5		
3	Универсальный фильтрующий малогабаритный самоспасатель (УФМС) "Шанс-Е"	35	1,2	81	136	81	77	Нет	9,5		
4	Газодымозащитный комплект ГДЗК-У	39	1,4	72	126	76	73	Нет	9,7		

Таблица 6а. Итоговые результаты испытаний в здании учебного корпуса

№ п/п	Тип самоспасателя	Время включения в самоспасатель, с	Необходимое время эвакуации, с ($t_{бл} \cdot 0,8$)		Фактическое время эвакуации, с
			по потере видимости	по температуре	
1	Без самоспасателя	—	89	144	76
2	Газодымозащитный комплект ГДЗК	36,5	89	144	113
3	Универсальный фильтрующий малогабаритный самоспасатель (УФМС) "Шанс-Е"	43,0	89	144	124
4	Газодымозащитный комплект ГДЗК-У	37,5	89	144	114

Таблица 6б. Итоговые результаты испытаний в здании общежития

№ п/п	Тип самоспасателя	Время включения в самоспасатель, с	Необходимое время эвакуации, с ($t_{бл} \cdot 0,8$)	Фактическое время эвакуации, с
1	Без самоспасателя	—	97	33
2	Газодымозащитный комплект ГДЗК	37	97	77
3	Универсальный фильтрующий малогабаритный самоспасатель (УФМС) "Шанс-Е"	35	97	81
4	Газодымозащитный комплект ГДЗК-У	39	97	72

средственно наружу показано на рис. 3, а, а общежития — рис. 3, б.

Как видно из табл. ба и бб, без использования самоспасателей люди эвакуируются из здания раньше, чем наступает время блокирования ОФП выхода из здания. При эвакуации из учебного корпуса с использованием самоспасателей эвакуационный выход из здания через вестибюль блокируется дымом раньше, чем люди успевают покинуть здание учебного корпуса. Эти результаты ставят вопрос о времени целесообразного начала использования людьми самоспасателей.

С этих позиций актуально сопоставление двух общеизвестных определений:

- эвакуация представляет собой процесс организованного самостоятельного движения людей наружу из помещений, в которых имеется возможность воздействия на них опасных факторов пожара;
- спасение представляет собой вынужденное перемещение людей наружу при воздействии на них опасных факторов пожара или при непосредственной угрозе этого воздействия.

Это сопоставление показывает, что в отличие от эвакуации спасение осуществляется *при воздействии опасных факторов пожара*, т. е. когда

$$t_{\text{ев}} > t_{\text{н.б.}} \quad (2)$$

В этом случае может быть целесообразным использование *средств индивидуальной защиты органов дыхания и зрения*, что позволит продлить допустимое время эвакуации на период эффективной индивидуальной защиты органов дыхания и зрения $t_{\text{и.з}}$ или до момента формирования критических уровней воздействия иных факторов пожара $t_{\text{иб}}^{\text{оф}}$, защиту от которых указанные средства не могут обеспечить. При этом время эвакуации должно включать время на одевание средств индивидуальной защиты $t_{\text{од}}$. Таким образом, допустимое время эвакуации при использовании средств индивидуальной защиты органов дыхания и зрения $t_{\text{ев}}^c$ определяется соотношением

$$t_{\text{ев}}^c = t_{\text{ев}} + t_{\text{п}} + t_{\text{од}} < t_{\text{иб}}^{\text{оф}} = t_{\text{иб}} + t_{\text{и.з.}} \quad (3)$$

Соотношения (2) и (3) показывают, что необходимость использования средств индивидуальной защиты органов дыхания и зрения определяется условием (2), а целесообразная продолжительность их использования — соотношением (3). Поэтому первостепенной задачей является анализ возможных значений $t_{\text{н.б.}}$ на этапах эвакуации в зависимости от места возникновения пожара.

Этапность эвакуации, являющаяся следствием естественного поведения людей в чрезвычайных ситуациях — стремления удалиться от источника опасности, и имеющихся для этого возможностей,

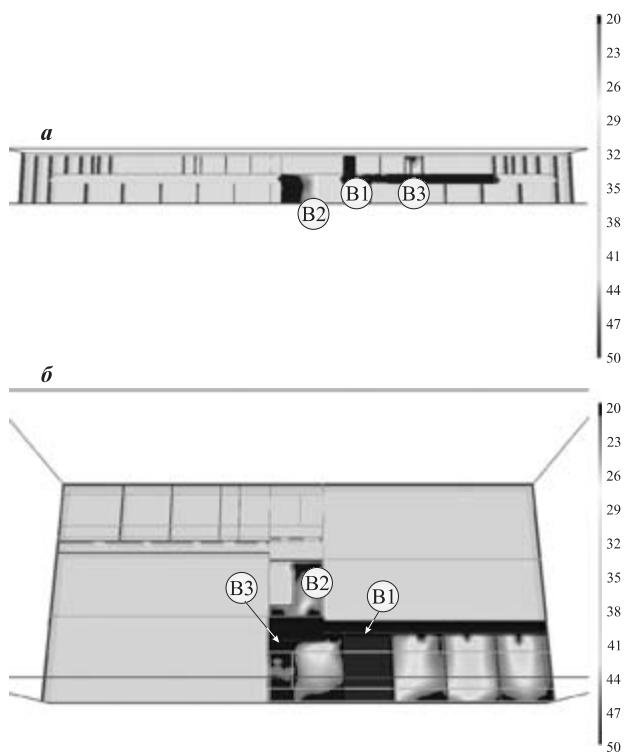


Рис. 3. Предельная дальность видимости в контрольной точке B2 (выход из здания) на высоте рабочей зоны 1,7 м от уровня пола (отм. ±0,000): а — по учебному корпусу в момент времени $t = 112$ с; б — по зданию общежития в момент $t = 122$ с

обеспечиваемых структурой эвакуационных путей здания и средствами их защиты от воздействий ОФП, определяет сценарии анализируемых пожароопасных ситуаций.

Первый этап — помещение. Здесь возможны два варианта:

- первый — люди находятся в помещении очага пожара, эвакуационные пути второго этапа эвакуации еще свободны от воздействия ОФП, которые не успели на них распространяться из помещения очага пожара;
- второй — люди находятся в помещении, которое не является очагом пожара, и возможность их эвакуации из помещения определяется уровнем воздействия ОФП перед выходом из их помещения со стороны эвакуационных путей второго этапа эвакуации, на которые ОФП распространяются из помещения очага пожара на этом этаже.

Второй этап — эвакуационные пути этажа. Здесь также возможны два варианта:

- первый — на этаже расположено помещение очага пожара (очевидно, что этот вариант — продолжение второго варианта первого этапа);
- второй — этаж не является местом расположения помещения — очага пожара, поэтому ОФП

распространяются со стороны эвакуационных путей третьего этапа — через лестничную клетку.

Эвакуационные пути второго этапа эвакуации могут быть свободны от воздействия ОФП либо подвержены воздействию ОФП со стороны одного из выходов на третий этап эвакуации.

Третий этап — эвакуационные пути по лестницам, ведущим непосредственно наружу или через вестибюль первого этажа (по лестничной клетке или открытой лестнице). В зданиях образовательных учреждений, при ограничении их этажности, как правило, девятью этажами (здания вузов), применяются обычные лестничные клетки типов: Л1 — с остекленными или открытыми проемами в наружных стенах на каждом этаже; Л2 — с естественным освещением через остекленные или открытые проемы в покрытии. Могут применяться внутренние открытые лестницы между вторым и первым этажами и наружные открытые лестницы для эвакуации в зданиях детских дошкольных учреждений.

Соответственно указанным вариантам необходимо определить вероятные значения $t_{\text{нб}}$ для последовательных этапов эвакуации людей из помещений наружу, что позволяет оценить целесообразность

использования средств индивидуальной защиты органов дыхания и зрения, поскольку их “заблаговременное” одевание в случае отсутствия необходимости использования может привести к потере тех самых минут ($t_{\text{од}}$) в начале эвакуации, которые эквивалентны недостающим секундам для завершения своевременной эвакуации.

Выводы

В результате экспериментов установлено, что время надевания (приведения в действие) самоспасателей составило в среднем 35–43 с, что не превысило нормативного значения 60 с. По субъективному восприятию людей все испытуемые типы самоспасателей получили хорошую оценку. Установлено, что верхнее артериальное давление после испытаний с использованием самоспасателей по сравнению с эвакуацией без них повысилось на 11 %, ниже — на 5 %, а частота пульса увеличилась на 6 %. Пульс у всех испытуемых до и после испытания находился в 1-й зоне MRH, что соответствует спокойной езде на велосипеде. У включенных в самоспасатели людей при прохождении задымленных участков скорость движения уменьшилась на 36 %.

Материал поступил в редакцию 27 сентября 2010 г.

Электронные адреса авторов: sa.bushmanov@gmail.com; zaikin.tognez@rambler.ru; parf01@inbox.ru.



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет новую книгу

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



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

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

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

**В. В. Холщевников***

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

**Д. А. Самошин**

канд. техн. наук, Академия ГПС МЧС РФ, г. Москва, Россия

**И. Р. Белосохов**

адъюнкт Академии ГПС МЧС РФ, г. Москва, Россия

**Р. Н. Истратов**

адъюнкт Академии ГПС МЧС РФ, г. Москва, Россия

**И. С. Кудрин**

адъюнкт Академии ГПС МЧС РФ, г. Москва, Россия

**А. П. Парфёnenko**

адъюнкт Академии ГПС МЧС РФ, г. Москва, Россия

УДК 614.8

ПАРАДОКСЫ НОРМИРОВАНИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЛЮДЕЙ ПРИ ЭВАКУАЦИИ И ПУТИ ИХ УСТРАНЕНИЯ**

Эвакуация людей из зданий при пожаре является естественным процессом их защиты от воздействия опасных факторов пожара, интенсивно распространяющихся по эвакуационным путям. Анализ динамики распространения опасных факторов пожара показывает, что основными направлениями обеспечения условий для своевременной и беспрепятственной эвакуации людей из помещений и зданий различных классов функциональной пожарной опасности являются: применение высокоэффективных и надежных систем активной противопожарной защиты; целесообразная для каждого конкретного случая организация эвакуации, исходящая из закономерностей движения людских потоков при эвакуации и психофизиологических возможностей поведения людей, составляющих основной функциональный контингент в здании. Показана недостаточность нормативного обоснования оснащения путей эвакуации системами активной противопожарной защиты и знаний в области закономерностей поведения при эвакуации психофизически уязвимого контингента людей. Приведены данные натурных наблюдений за поведением этого контингента в вероятных условиях эвакуации. С рассмотренных позиций выявлены недостатки СП 1.13130.2009 "Эвакуационные пути и выходы" и недостаточность его требований для обеспечения безопасности людей при эвакуации по сравнению с "Методикой определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности".

Ключевые слова: эвакуация; опасные факторы пожара; системы активной противопожарной защиты; надежность систем; пожарные риски; безопасность людей.

Функциональная пожарная опасность, что это такое?

Подразделение зданий на классы по функциональной пожарной опасности "в зависимости от способа их использования и от того, в какой мере

* Эксперт в области архитектурно-строительного проектирования и безопасности людей в чрезвычайных ситуациях Республиканского исследовательского научно-консультационного центра экспертизы (рег. № 11313707.1908 Федерального реестра).

** Окончание. Начало см. журнал "Пожаровзрывобезопасность" № 3 за 2011 г.

безопасность людей в них в случае возникновения пожара находится под угрозой, с учетом их возраста, физического состояния, возможности пребывания в состоянии сна" [1, п. 5.21] требует учитывать психофизиологические особенности "основного функционального контингента" в зданиях различного назначения. Однако приведенное определение не содержит никаких пожаротехнических характеристик и количественных показателей "основного функционального контингента", необходимых для декларируемой классификации.

Наряду с требованием расчета параметра $t_{\text{н.б.}}$, Методика [2] как раз и показывает, “в какой мере безопасность людей в них в случае возникновения пожара находится под угрозой”. А учет “возраста, физического состояния, возможности пребывания в состоянии сна” должен осуществляться при определении параметров $t_{\text{н.з}}$ и t_p . Но для этого необходимо иметь исходные значения параметров для их расчета, дифференцированные для “основного функционального контингента” по установленным классам и подклассам зданий по функциональной пожарной опасности.

Дело в том, что при установлении расчетных зависимостей между параметрами людских потоков при разработке СНиП II-2-80 “Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений” впервые потребовалось установить единую закономерность связи между ними, если она существует, поскольку это был единый документ, действие которого распространялось на все виды зданий. К дифференциации требований ни Госстрой СССР, ни проектные организации в то время не были готовы. Тем не менее поставленная задача в рамках диктуемых условий была выполнена [3–6]. В ходе проведения этих работ потребовалось обобщение и статистический анализ 25 тыс. эмпирических данных всех 69 серий натурных наблюдений, проведенных к тому времени в зданиях различного назначения и в сооружениях транспортно-коммуникационных узлов. В результате были впервые установлены математические выражения формы общей закономерности изменения скорости в зависимости от плотности людского потока и ее вида для смешанного состава людского потока как случайного процесса:

$$V_{D,j} = V_{o,j} (1 - a_j \ln D_{i,j} / D_{o,j}), \quad (1)$$

где $V_{D,j}$ — случайная функция скорости потока на j -м виде пути (горизонтальный, проем, лестница вниз, лестница вверх, горизонтальный вне здания) при его плотности D , м/мин;

$V_{o,j}$ — случайная величина скорости свободного движения потока по j -му виду пути (при $D_{i,j} \leq D_{o,j}$), м/мин;

a_j — коэффициент адаптации людей к движению по j -му виду пути при увеличении плотности потока;

$D_{i,j}$ — плотность людского потока на i -м участке пути j -го вида;

$D_{o,j}$ — пороговое значение плотности потока на участке пути j -го вида, по достижении которого плотность начинает оказывать влияние на скорость движения в нем людей.

В этом выражении величина $V_{o,j}$ зависит от уровня эмоционального состояния людей, составляющих

поток, и их психофизиологических качеств, а значения параметров a_j и $D_{o,j}$ являются психофизическими коррелянтами сенсорного пространства человека при восприятии им воздействий внешней среды. Как показал анализ результатов рассмотренных и последующих многочисленных серий натурных наблюдений, во всех случаях наблюдается установленная общая форма закономерности, а ее конкретный вид зависит от значений a_j и $D_{o,j}$, определяемых составом людей того или иного “основного функционального контингента”. Наиболее наглядно это проявилось при установлении расчетных зависимостей для различных групп мобильности в СНиП 35-01-2001 “Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения”. Отсюда видно, что для зданий каждого класса и подкласса функциональной пожарной опасности, населенных своим, отличающимся от других, “основным функциональным контингентом”, должны использовать свои значения параметров $V_{o,j}$, a_j и $D_{o,j}$.

Для установления этих значений необходимо выполнение специальных работ. Они могут базироваться на данных ранее проведенных исследований, но в ряде случаев потребуется выполнение и новых научно-исследовательских работ, включающих корректное проведение достаточно масштабных натурных наблюдений [7]. К объектам таких научно-исследовательских работ неизбежно относятся здания детских дошкольных учреждений, школ и стационаров (больницы, госпитали и т. п.) учреждений здравоохранения, поскольку ни по одному из таких объектов не удалось обнаружить данных натурных наблюдений за их “основным функциональным контингентом” ни в период, определяемый временем $t_{\text{н.з}}$, ни в период t_p .

Необходимые для этого исследования начаты кафедрой пожарной безопасности в строительстве АГПС МЧС России. Проведение натурных наблюдений (рис. 1–4) стало возможным благодаря активной помощи сотрудников Государственного пожарного надзора — бывших выпускников Академии ГПС и глубокой заинтересованности руководства и персонала учреждений.

Установленная ранее [8] неподготовленность персонала к действиям при пожаре определила проведение для уточнения этих сведений видеопрезентации в школьных зданиях (см. рис. 2).

Анализ поведения персонала позволил сделать заключение, что 67 % персонала не выполнили действий, требуемых нормативными документами (в частности, ППБ 01–03). Было очевидно, что многие опрашиваемые не имели четкой позиции относительно своего поведения, что привело к неадекватным действиям с их стороны.



Рис. 1. Иллюстрации и итоги проведения натурных наблюдений за подготовкой детей к началу эвакуации: *а* — время реагирования детей на сигнал воспитателя о необходимости покинуть помещение, $t = 0,03 \div 1,13$ мин; *б* — время одевания детей в зимнюю одежду, $t = 0,94 \div 7,26$ мин; *в* — время укутывания детей в спальные одеяла, $t = 0,16 \div 0,95$ мин

Проведенные исследования позволяют предложить для определения времени начала эвакуации в дошкольных и школьных учреждениях следующую формулу:

$$t_{\text{н.о}} = t_{\text{ин}} + t_{\text{р.в}} + t_{\text{р.д}}, \quad (2)$$

где $t_{\text{ин}}$ — интервал времени с момента возникновения пожара до формирования командного сигнала на включение системы оповещения и управления эвакуацией людей (СОУЭ); при оборудовании здания дымовыми пожарными извещателями $t_{\text{ин}} = 10$ с, тепловыми $t_{\text{ин}} = 180$ с; $t_{\text{р.в}}$ — время реакции на сигнал о пожаре педагогов (воспитателей), определяемое с момента получения ими этого сигнала до начала подготовки детей к эвакуации; $t_{\text{р.д}}$ — время подготовки детей к эвакуации, т. е. интервал времени с момента подачи воспитателями сигнала детям о необходимости покинуть помещение до начала эвакуации.

Изучение вопросов, связанных с организацией движений ребенка, — одна из задач психофизиологии, дифференциальной биомеханики, теории и методики физического воспитания и развития ребенка. Как установлено, у детей с 2 до 5 лет формируется схема (психофизиологическая модель) собственного тела. В этот периодрабатываются основные двигательные умения и навыки, накапливается двигательный опыт. “Схема тела” используется в качестве понятия, позволяющего объяснить, каким образом человек воспринимает пространство, время и

планирует свои движения. “Схема тела” “ориентируется” на двигательную задачу в конкретных условиях и “позволяет” в чувственной форме приобрести ощущение скорости различными частями тела, темп движения. Специально организованные исследования (например, [9]) свидетельствуют об особенностях пространственно-временной организации и коррекции двигательной программы ходьбы вперед “схемой тела” у детей 3 и 6 лет при различных условиях сенсорного потока раздражителей.

Однако эти исследования касаются только формирования индивидуальных мобильных способностей детей разных возрастных групп. Как они проявляются при неизбежном поточном движении во время эвакуации, до сих пор остается неясным, прежде всего из-за отсутствия данных натурных наблюдений. Затем должен последовать трудоемкий процесс теоретического осмысливания полученных эмпирических данных (см. рис. 3 и 4) для установления закономерностей, “прорывающихся” сквозь массу искажающих их случайных воздействий. Но без их установления невозможно полноценное использование Методики определения расчетных величин пожарного риска [2].

Первичная обработка около 5 тыс. данных, полученных при натурных наблюдениях, показала, что и при движении детей сохраняется общая психофизическая закономерность связи между параметрами людских потоков (1). Значения параметров формулы (1) $V_{o,j}$, a_j и $D_{o,j}$ в настоящее время устанавливаются.



Рис. 2. Компьютерная видеопрезентация (видеоанкета) с целью выяснения поведения персонала при пожаре в зданиях учебных заведений: *а* — воспитательница ведет урок рисования; *б* — воспитательница с детьми выходят в коридор; *в* — воспитательница с детьми видят дым или огонь в соседнем помещении



Рис. 3. Натурные наблюдения за эвакуацией детей по различным видам путей в детских садах

Особую проблему представляет организация эвакуации из зданий, в которых находится значительное количество немобильных людей. К немобильным относятся люди, которые лишены возможности самостоятельно передвигаться, поэтому их эвакуация возможна только при помощи других людей и с использованием носилок или каталок. Такие люди находятся не только в домах-интернатах для

престарелых и в больницах, но и в жилых зданиях, месте их постоянного проживания. Плохая проработанность организации их эвакуации очевидна всем, кто соприкасается с этой проблемой повседневно, и они охотно идут на проведение экспериментов, необходимых для ее решения. Существуют определенные нормативные документы в этой области, однако приведенные в них нормативы состав-



Рис. 4. Натурные наблюдения за движением детей-инвалидов в интернатах



Рис. 5. Примеры попытки эвакуации: две медицинских сестры не смогли переместить пациента весом 90 кг на носилках, а медперсонал — перенести пациента весом 60 кг по лестнице

лены, по-видимому, на основании весьма умозрительных фактов, поскольку первые же попытки организовать первый этап эвакуации немобильных людей в больницах в соответствии с этими нормами привели к конфузам (рис. 5).

Эксперименты, проведенные сотрудниками кафедры ПБС Академии ГПС [9], в которых в качестве медперсонала выступали слушатели, показали следующее. Скорость переноса человека на носилках тренированными курсантами составляет: по горизонтали — 95 м/мин, по лестнице вниз — 65 м/мин, по лестнице вверх — 45 м/мин. Скорость беспре пятственного перемещения пациентов на каталках — 80 м/мин. Приведенные данные получены в экспериментах с участием физически развитых молодых мужчин, поэтому отражают наиболее оптимальные данные для расчета процесса эвакуации немобильных людей. Тем не менее у участников эксперимента, переносящих носилки, отмечалась сильная усталость. В ходе дальнейших экспериментов было установлено, что в среднем (имея в виду вариабельность объемно-планировочных решений зданий больниц, веса эвакуируемого и физической силы эвакуирующих) одна пара спасателей не может эвакуировать более 3-х чел.

Общее время эвакуации немобильных людей складывается из следующих слагаемых:

$$t_{\text{ев}} = t_{\text{подг}} + t_{\text{трансп} + \text{возвр}} n_{\text{рейс}}, \quad (3)$$

где $t_{\text{подг}}$ — время подготовки к эвакуации;

$t_{\text{трансп} + \text{возвр}}$ — время, затрачиваемое на транспортировку немобильного человека и возвращение за следующим;

$n_{\text{рейс}}$ — количество рейсов.

Подготовка к эвакуации включает затраты времени на поиск и подготовку носилок для транспортировки немобильных людей (около 0,5 мин) и времени на поиск и надевание средств индивидуальной защиты органов дыхания и зрения изолирующего типа (по паспортным данным — 1 мин). При этом следует учитывать, что скорость движения человека в самоспасателях снижается на 36 % и что они не защищают от потери видимости в дыму. Время начала эвакуации нетранспортабельных людей будет

включать, кроме времени подготовки к эвакуации, и время их перекладывания на транспортные средства, которое, как показано, зависит от физических возможностей людей, осуществляющих эвакуацию.

Только после установления значений всех параметров, определяющих величины $t_{\text{н.з}}$ и t_p для зданий каждого класса функциональной пожарной опасности, можно надеяться на получение достаточно обоснованных оценок индивидуального пожарного риска и на этом основании приступить к разработке для них сводов правил по проектированию эвакуационных путей и выходов. Это трудоемкая и небыстрая (подобно переписыванию устаревших норм) работа.

Оценка возможностей обеспечения своевременной эвакуации людей

Имеющиеся данные позволяют оценить возможность выполнения требования $t_{\text{н.з}} + t_p = 0,8t_{\text{н.б}}$ для рассмотренных условий распространения ОФП по эвакуационным путям на этапах эвакуации (см. табл. 1–3 [10]). Для моделирования процесса эвакуации применена имитационно-стохастическая модель как наиболее адекватно отображающая реально наблюдаемый процесс движения людских потоков [11].

В тех помещениях (на первом этапе эвакуации), в которых обеспечивается свободное движение людей, скорость их передвижения по горизонтальным путям V_o будет составлять в зависимости от состава “основного функционального контингента” от 70 до 130 м/мин для группы мобильности M1 и от 15 до 45 м/мин — для группы мобильности M2. Расстояние L от эвакуационного выхода, на котором они должны находиться, чтобы успеть эвакуироваться при возникновении пожара в помещении, определяется просто: $L = V_o(t_{\text{н.б}} - t_{\text{н.з}})$. Очевидно, что при более или менее активном развитии пожара и отсутствии в помещениях средств пожаротушения и противодымной вентиляции люди не успевают эвакуироваться из них. Поэтому иностранные специалисты противопожарной охраны рекомендуют населению не заниматься тушением пожара, если его очаг достиг размеров больше ступни ноги. Очевидно также, что люди в помещении очага пожара не успеют воспользоваться индивидуальным самоспасателем, поскольку только время его одевания (“погружения” в самоспасатель) достигает 60 с. Лучшее, что они могут сделать, — покидая помещение, прихватить самоспасатель с собой в надежде воспользоваться им на следующем этапе эвакуации.

Немногим лучше складывается, как показывают данные табл. 2 [10], ситуация и для людей, находящихся в соседнем помещении. Более того, при нефункционирующей системе сигнализации они

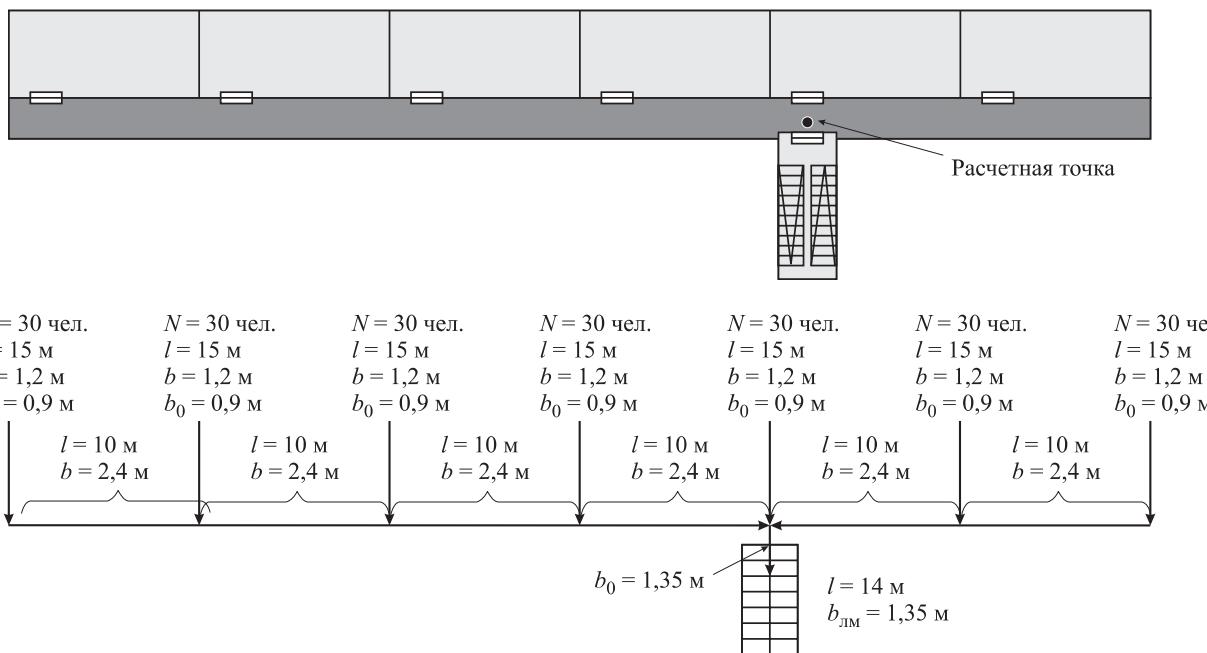


Рис. 6. Расчетная схема эвакуации типового этажа здания школы: b_0 — ширина дверного проема; b_{lm} — ширина лестничного марша; b — ширина коридора

могут оказаться в “ловушке”, т. е. отрезанными от путей эвакуации следующего этапа ОФП, распространившимися по коридору к выходу из их помещения. И в этой ситуации преимущество имеют молодые здоровые люди, способные двигаться со скоростью $V_o = 130$ м/мин и более. Однако и они вынуждены будут эвакуироваться бегом (что часто журналистами принимается за проявление паники), поскольку из-за потерянных минут в начале эвакуации может

не хватить нескольких секунд для ее завершения. В тяжелом положении оказываются маломобильные люди не только в специальных заведениях, но и в жилых домах, а о положении неподвижных людей страшно и думать.

Движение людей на втором этапе эвакуации неизбежно переходит в поточное. На рис. 6 в качестве примера приведен фрагмент расчетной схемы эвакуации с одного из этажей здания школы при одно-

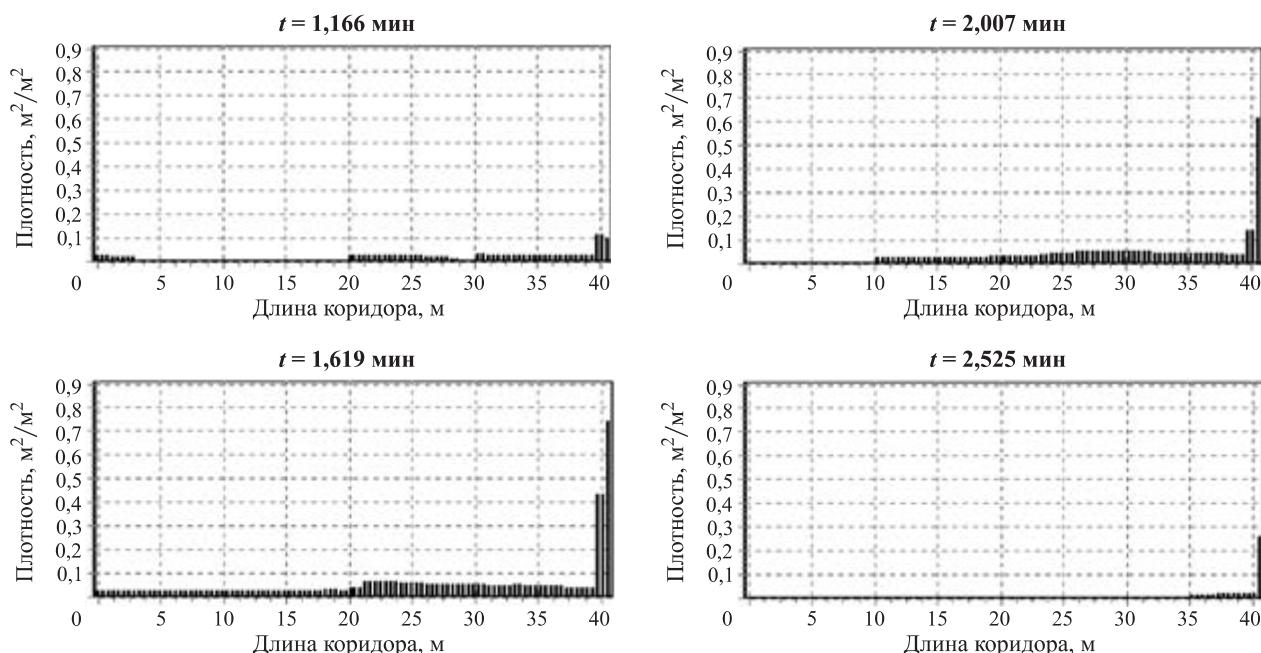


Рис. 7. Диаграммы изменения плотности людских потоков в коридоре третьего этажа в последовательные моменты времени эвакуации

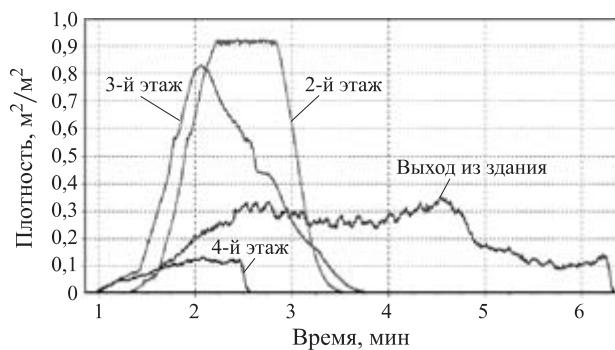


Рис. 8. Графики динамики процесса эвакуации людей со 2–4-го этажей

стороннем расположении относительно коридора учебных кабинетов, выходы из которых (источники

людских потоков) расположены на расстоянии 10 м друг от друга. Параметры людских потоков приняты по результатам натурных наблюдений [12]. Характеристики случайной величины $t_{\text{н.з}}$ по данным недавно проведенных натурных наблюдений следующие: среднее значение (математическое ожидание) — 1,1 мин, стандартное отклонение — 0,2 мин. Изменения плотности людского потока в последовательные моменты времени при эвакуации по коридору этажа приведены на рис. 7.

Поскольку на третьем этапе эвакуации (в лестничной клетке) образуются людские потоки максимальной плотности (рис. 8), которые влияют (причем по-разному) на динамику выхода людей с этажей, то значения плотностей людских потоков и времени выхода с этажей различны, что видно из рис. 9.

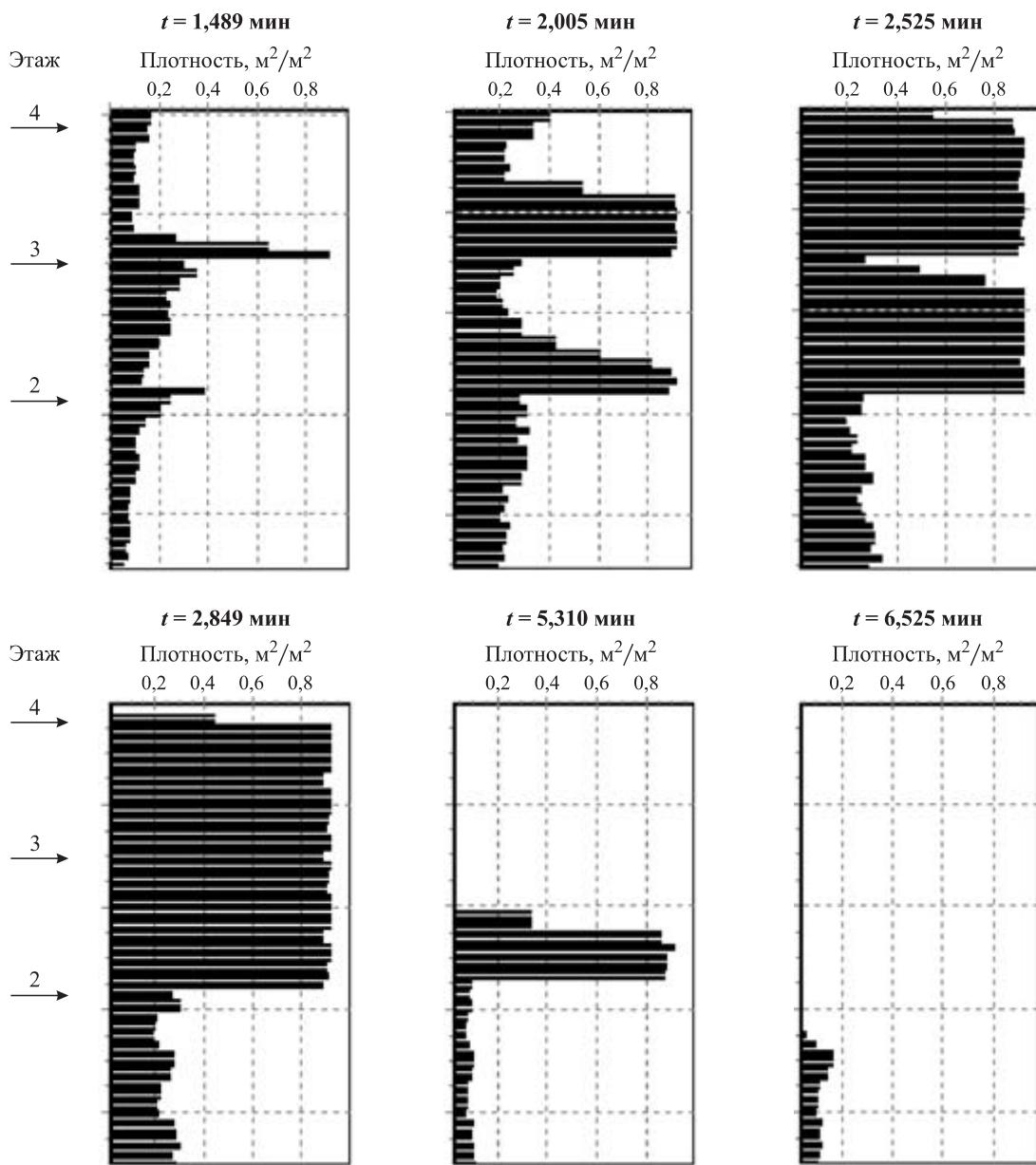


Рис. 9. Плотность людского потока в лестничной клетке в последовательные моменты эвакуации по ней людей

Сопоставление результатов анализа процесса эвакуации с данными табл. 3 [10] показывает, что в рассматриваемой ситуации безопасность эвакуации (ее своевременность и беспрепятственность) не обеспечивается. Выход из создавшегося положения связан, во-первых, с поиском возможностей такой организации, которая позволит предотвратить образование людских потоков высокой плотности, исключив тем самым скопления людей и увеличив скорости их движения, и, во-вторых, с поиском способов увеличения необходимого времени эвакуации.

Направления решения проблемы

Наибольшие возможности поиска в первом направлении, как показывают теория и практика, связаны с организацией поэтапной эвакуации. Способы целесообразного решения задач второго направления также достаточно очевидны, но довольно дорогостоящи и трудоемки. По-видимому, поэтому отыскиваются всевозможные паллиативные меры, по большей части популистские, не дающие коренного решения проблемы. Например, такие как:

- применение различного рода самоспасателей, которые, как показывают исследования [13], хотя и продлевают время возможного пребывания человека в атмосфере, загазованной опасными факторами пожара, но удлиняют время эвакуации;
- устройство зон безопасности в высотных зданиях на расстоянии 25 этажей от эвакуирующегося человека, до которых он в большинстве случаев (рис. 10) добраться не может;
- запрет пользования лифтами для самостоятельной эвакуации людей вместо требования обеспечить их необходимую надежность и безопасность использования в пожароопасных ситуациях.

В то же время моделирование вариантов распространения ОФП показывает, что одновременное использование в помещении системы водяного пожаротушения и противопожарной вентиляции при соответствующем подборе их производительности позволяет в течение 5–6 мин блокировать влияние ОФП (акрелеина, дыма, температуры и теплового потока) на людей в помещении и коридоре. Естественно, что при этом не происходит блоки-

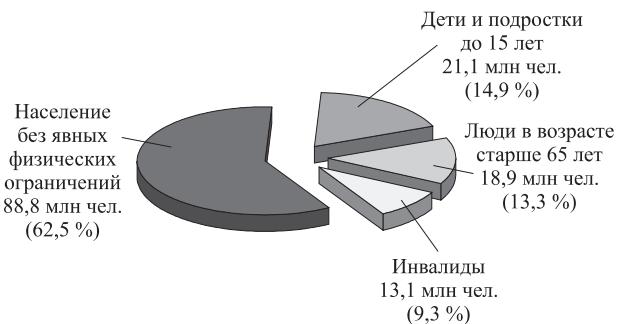


Рис. 10. Структура населения Российской Федерации по данным Росстата за 2009 г.: общее число психофизиологически уязвимого населения 37,5 % (53,1 млн чел.)

рования и путей третьего этапа эвакуации. Этот пример свидетельствует о том, что целесообразное решение проблемы повышения безопасности людей при пожаре в здании необходимо искать в направлении обеспечения высокой надежности и необходимой достаточности систем активной противопожарной защиты.

В свете изложенного должно быть понятно, что СП 1.13130.2009 [14], устанавливающий размеры эвакуационных путей и выходов, но не учитывающий ни оборудования зданий системами активной противопожарной защиты, ни надежности их функционирования, ни закономерностей и особенностей поведения людей в зданиях различных классов функциональной пожарной опасности в период начала эвакуации и в процессе эвакуации, не может обеспечить безопасности людей при пожаре. Разработчики СП не смогут мотивировать состоятельности его требований.

Использование СП в существующем виде, несомненно, удобно инвесторам и обслуживающим их проектировщикам, поскольку снимает с них ответственность за обеспечение безопасности людей при пожаре и в других чрезвычайных ситуациях, большинство из которых сопровождается пожаром. Но нужно четко понимать, что за этим кроется то, что Федеральный закон [15] мягко, применительно к данной проблеме, называет “введение в заблуждение приобретателей” — в заблуждение относительно действительного риска для жизни и здоровья людей, находящихся в здании во время пожара.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СНиП 21-01-97*. Пожарная безопасность зданий и сооружений : утв. Минстроем РФ 13.02.97 : введ. 01.01.98. — М. : ГУП ЦПП, 2002.
2. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности : утв. 30.06.2009 приказом МЧС России № 382 : зарег. в Минюсте РФ 06.08.2009, рег. № 14486 : введ. 30.06.2009. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.

3. Холщевников В. В. Статистика зависимостей между параметрами людских потоков // Сб. : Исследование по основам архитектурного проектирования. — Томск : Томский государственный университет, 1983.
4. Холщевников В. В. Моделирование зависимостей между параметрами людских потоков // Сб. : Исследование по основам архитектурного проектирования. — Томск : Томский государственный университет, 1983.
5. Холщевников В. В. Людские потоки в зданиях, сооружениях и на территории их комплексов : дис. ... д-ра техн. наук. — М. : МИСИ, 1983.
6. Закономерности связи между параметрами людских потоков : диплом № 24-С (автор Холщевников В. В.) // Научные открытия. — М. : Российская академия естественных наук; Международная академия авторов научных открытий и изобретений, 2006. — С. 63–69.
7. Холщевников В. В., Самошин Д. А., Исаевич И. И. Натурные наблюдения людских потоков. — М. : АГПС МЧС России, 2009.
8. Изучение особенностей поведения при пожаре персонала детских образовательных учреждений / Караман В. Н. : дипломная работа (рук-ль Самошин Д. А.). — М. : АГПС МЧС России, 2005.
9. Гурфинкель В. С., Левик Ю. С. Концепция “схемы тела” и моторный контроль // Интеллектуальные процессы и их моделирование. Организация движений. — М. : Наука, 1991. — С. 59.
10. Холщевников В. В., Самошин Д. А., Белосохов И. Р., Истратов Р. Н., Кудрин И. С., Парфёновенко А. П. Парадоксы нормирования обеспечения безопасности людей при эвакуации из зданий и пути их устранения (начало) // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 3. — С. 41–51.
11. Холщевников В. В., Самошин Д. А. Эвакуация и поведение людей при пожарах. — М. : АГПС МЧС России, 2009.
12. Шурин Е. Т., Самошин Д. А. Результаты экспериментов по определению некоторых параметров эвакуации немобильных людей при пожаре // 10-я науч.-техн. конф. “Системы безопасности”. — М. : Академия ГПС МВД РФ, 2001. — С. 114–117.
13. Заикин С. В., Бушманов С. А., Парфёновенко А. П., Белосохов И. Р. Обеспечение безопасности людей при пожарах в зданиях посредством применения самоспасателей. Часть 2. Объекты испытаний. Методика эксперимента // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 2. — С. 32–40.
14. СП 1.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы : утв. приказом МЧС РФ от 25 марта 2009 г. № 171 : введ. в действие 1 мая 2009 г. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.
15. О техническом регулировании : Федер. закон от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ : принят Гос. Думой 15 декабря 2002 г. // Собрание законодательства Российской Федерации. — 2002. — № 52 (ч. I). — Ст. 5140; 2005. — № 19. — Ст. 1752; 2007. — № 19. — Ст. 2293; 2007. — № 49. — Ст. 6070; 2008. — № 30 (ч. II). — Ст. 3616.

Материал поступил в редакцию 30 ноября 2010 г.

Электронные адреса авторов: reglament2004@mail.ru;
inbox-d@mail.ru; belosokhov86@mail.ru; roman57rus@rambler.ru;
ivankudrin@yahoo.com; parf01@inbox.ru.

**Н. Н. Брушинский**

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

**С. В. Соколов**

д-р техн. наук, профессор,
профессор Академии ГПС МЧС РФ,
г. Москва, Россия

УДК 614.849

О СТАТИСТИКЕ ПОЖАРОВ И О ПОЖАРНЫХ РИСКАХ

Показана необходимость использования статистики пожаров при оценке пожарных рисков и ошибочность нормативного допустимого значения индивидуального пожарного риска для России.

Ключевые слова: статистика пожаров; пожарный риск; допустимое значение.

*“Умом Россию не понять,
Аришном общим не измерить:
У ней особенная стать —
В Россию можно только верить”.*
Ф. И. Тютчев (28 ноября 1866 г.)

Введение

Же почти два года действует “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности” [1], и все это время не утихают споры о его сути и содержании его отдельных статей. Особым вниманием специалистов пользуются ст. 76 и 79, связанные с пожарными рисками и дислокацией подразделений Государственной противопожарной службы (ГПС) в городах и сельской местности [2–10]. Ряд важных моментов не был учтен разработчиками этого закона и остается пока вне поля зрения специалистов. Рассмотрению их и посвящена данная статья.

Статистика пожаров в СССР

Рассуждения о пожарных рисках нельзя вести в отрыве от статистики пожаров и их последствий. Однако до сих пор дело обстояло именно так: реальную статистику пожаров и их последствий либо просто игнорировали, либо не умели использовать.

Для того чтобы правильно оценить величину допустимого пожарного риска в конкретной стране, не впадая при этом в прожекторство, необходимо просто исходить из существующей в ней обстановки с пожарами. К этому и призвана статистика пожаров. Но и здесь есть несколько спорных моментов.

Зададимся, например, вопросом: сколько пожаров и их жертв фиксировалось в СССР? Ответ на него можно найти в книге бывшего начальника Главного управления пожарной охраны МВД СССР, д-ра экон. наук А. К. Микеева [11]. Обобщая приведен-

ные в ней данные, можно представить их в виде следующей таблицы (табл. 1).

Итак, сколько же пожаров было в СССР в 1990 г.? По официальной государственной статистике (а только ей и можно было руководствоваться!) их было 168,7 тыс. По данным МВД СССР, в ведении которого находилась противопожарная служба, их было 467,5 тыс., т. е. в 2,8 раз больше. Всего же, как видно из табл. 1, пожаров было почти полмиллиона и на них погибло 10,1 тыс. чел. Поэтому следует признать, что замечательный русский поэт Ф. И. Тютчев был глубоко прав: умом Россию не понять! Тем не менее оценивать риски нужно именно по этой, максимальной полной, статистике.

Таблица 1. Статистические данные о числе пожаров и их жертв в СССР за 1990 г.

Вид пожаров	Число пожаров, ед.	Число погибших на пожарах, чел.
Подлежащие государственному учету (с ущербом свыше 50 руб.)	168738	10083
Регистрируемые МВД (включая подлежащие государственному учету)	467542	10083
Лесные	25345	—
На транспорте (железные дороги, авиация, корабли)	858	18
На объектах Минобороны	137	24
Итого	493882	10125

При этом полезно помнить, что горение травы, кустарников, мусора в СССР (и в России) традиционно не подлежало статистическому учету пожаров, хотя подразделения противопожарной службы всегда выезжали на такие случаи неуправляемого горения и ликвидировали их, затрачивая на эту работу гораздо больше соответствующих ресурсов, чем на ликвидацию пожаров [12].

Таким образом, в 1990 г. в СССР было около 0,5 млн пожаров. В условиях пожара в течение года мог оказаться любой из 290 млн советских граждан. Следовательно, первый (и основной) пожарный риск R_1 для человека оказаться в течение года в условиях пожара [2], определяемый как число пожаров, приходящееся на 1 чел. в год, в последний год существования СССР можно вычислить так:

$$R_1^{1990} = \frac{N_{\text{п}}}{N_{\text{нас}}} = \frac{493882}{290 \cdot 10^6} = 1,70 \cdot 10^{-3},$$

где $N_{\text{п}}$ — число пожаров, произошедших в течение года;

$N_{\text{нас}}$ — численность населения, чел.

Если использовать официальные данные, то значение риска R_1 будет таким:

$$R_1^{1990} = \frac{168738}{290 \cdot 10^6} = 5,82 \cdot 10^{-4},$$

т. е. в соответствии с полной статистикой на каждую тысячу советских людей приходилось 1,7 пожара, а по официальной статистике — 0,6 (или иначе — один пожар приходился на 1718 чел.), что выгодно работало в пользу коммунистической идеологии.

Второй риск R_2 погибнуть на пожаре [12], определяемый как число погибших, приходящееся на 1 пожар, по статистическим данным СССР вычисляется таким образом:

$$R_2^{1990} = \frac{N_{\text{ж}}}{N_{\text{п}}} = \frac{10125}{493882} = 2,1 \cdot 10^{-2},$$

где $N_{\text{ж}}$ — число погибших на пожарах за год, чел.

Отсюда следует, что на каждые 100 пожаров приходилось в среднем 2 жертвы.

Используя для расчетов официальные данные, получим совсем другую картину:

$$R_2^{1990} = \frac{10083}{168738} \approx 6,0 \cdot 10^{-2},$$

т. е. 6 погибших на каждые 100 пожаров (или на каждом 16–17-м пожаре погибал 1 чел.).

Наконец, риск R_3 для человека погибнуть на пожаре в единицу времени (в течение года) [2] для СССР в 1990 г. составлял:

$$R_3^{1990} = \frac{10125}{290 \cdot 10^6} = 3,49 \cdot 10^{-5}.$$

Это значит, что на каждые 100 тыс. советских граждан за год приходилось в среднем 3,5 погибших на пожаре. Очевидно, что

$$R_3 = R_1 R_2.$$

Используя официальные данные, будем иметь практически тот же результат:

$$R_3^{1990} = \frac{10083}{290 \cdot 10^6} = 3,48 \cdot 10^{-5}.$$

Именно этот показатель R_3 принят в Техническом регламенте [1] в качестве индивидуального риска, но его узаконенное допустимое значение равно 10^{-6} . Однако, как показали наши вычисления, в 1990 г. это значение было превышено в 35 раз. Проверим динамику его изменения в Российской Федерации за последние 20 лет.

Статистика пожаров и динамика пожарных рисков в Российской Федерации

После распада СССР в Российской Федерации осталась примерно половина его населения: в 1991 г. его численность составила 148543 тыс. чел., причем начиная с 1992 г. население России начало убывать и на 1 января 2010 г. составило 141915 тыс. чел. За эти годы число пожаров поднялось до максимума, составив более 332 тыс. ед. (в 1993 г.), затем начало последовательно уменьшаться, достигнув в 2010 г. значения 179 тыс. пожаров (т. е. 54 % от уровня 1993 г.) (рис. 1). Иначе выглядит динамика числа погибших на пожарах (рис. 2). Оно росло до 2002 г., достигнув почти 20 тыс. чел., после чего начало монотонно уменьшаться, составив в 2010 г. 12983 чел. (65 % от уровня 2002 г.).

Эту, в целом благоприятную для современной России, картину нарушает динамика материального ущерба от пожаров. Только за последние 5–6 лет величина ущерба от одного пожара выросла с 25 до 79 тыс. руб., т. е. более чем в 3 раза [13]. Никакой ин-

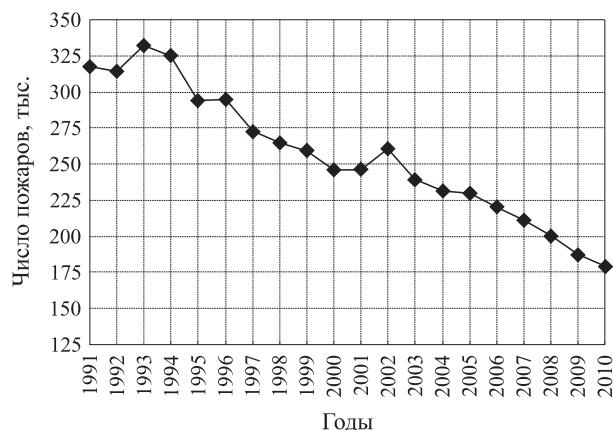


Рис. 1. Динамика числа пожаров в РФ за период 1991–2010 гг.

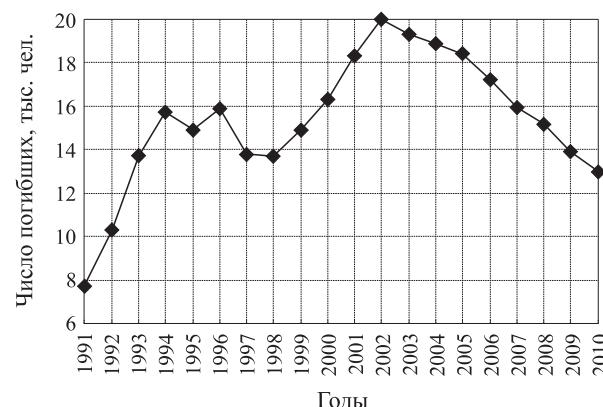


Рис. 2. Динамика гибели людей на пожарах в РФ за период 1991–2010 гг.

фляцией подобные темпы роста ущерба объяснить невозможно. Нельзя также объяснить это снижением боеспособности личного состава ГПС и эффективности его деятельности. Остается опять-таки слиться на мудрого Ф. И. Тютчева (или на какие-то невидимые механизмы, регулирующие статистику пожаров в России).

Кстати говоря, в последние годы, следуя опыту советской пожарной охраны, в отечественной статистике пожаров восстановили понятие загорания, что в какой-то степени позволяет понять происходящее.

С 1 января 2009 г. приказом МЧС России от 21 ноября 2008 г. № 714 введен в действие новый порядок учета пожаров и их последствий в Российской Федерации. В этом документе сказано, что официальному статистическому учету подлежат все пожары, для ликвидации которых привлекались подразделения пожарной охраны, а также пожары, в ликвидации которых подразделения пожарной охраны не участвовали, но информация о которых поступила от граждан и юридических лиц.

При этом под пожаром понимают неконтролируемое горение, причиняющее материальный ущерб, вред жизни и здоровью граждан, интересам общества и государства, а под загоранием — неконтролируемое горение, не причинившее такого ущерба и вреда. Например, к загораниям теперь относятся следующие случаи горения: бесхозных зданий и транспортных средств, сухой травы и тополиного пуха, мусора на свалках, на территории домовладений, на обочинах дорог, в подвальных и чердачных помещениях жилых домов и пр.

Статистика пожаров в России по итогам 2009 г. представлена в табл. 2. Сравнивая эти результаты с данными табл. 1, видим, что практически все показатели табл. 2 превышают соответствующие данные табл. 1, но при этом надо учитывать, что они приходятся только на половину населения СССР. Полезно

Таблица 2. Статистические данные по числу пожаров, загораний и погибших на них в России за 2009 г.

Вид пожаров	Число пожаров и загораний, ед.	Число погибших на пожарах, чел.
Подлежащие государственному учету	187571	13946
Загорания	332265	—
Лесные	21520	—
Итого	531356	13946

Таблица 3. Динамика пожарных рисков в СССР и России

Страна	R ₁	R ₂	R ₃
СССР (1990 г.)	$1,70 \cdot 10^{-3}$	$2,05 \cdot 10^{-2}$	$3,48 \cdot 10^{-5}$
РСФСР (1990 г.)	$2,03 \cdot 10^{-3}$	$2,29 \cdot 10^{-2}$	$4,65 \cdot 10^{-5}$
Российская Федерация (2009 г.)	$3,66 \cdot 10^{-3}$	$2,68 \cdot 10^{-2}$	$9,82 \cdot 10^{-5}$

сравнить динамику интегральных пожарных рисков за период 1990–2009 гг. в СССР и Российской Федерации (табл. 3), используя только официальные учетные данные (пожары и загорания).

Сравнивая эти данные, видим, что в РСФСР значения всех пожарных рисков в 1990 г. были несколько выше, чем в СССР, а в Российской Федерации в 2009 г. их значения существенно выше, чем в РСФСР в 1990 г. Так, если в 1990 г. в РСФСР на 1 млн чел. приходилось погибших на пожарах 46,5 чел., то в России в 2009 г. — 98,2 чел. Последнее значение почти в 100 раз (на два порядка) больше допустимого значения индивидуального риска, определенного в Техническом регламенте [1].

Возникает естественный вопрос: откуда взялось это нормативное значение индивидуального пожарного риска — 10^{-6} ? Впервые оно появилось в ГОСТ 12.1.004–76 в такой формулировке: “Система пожарной защиты должна разрабатываться по каждому конкретному объекту из расчета, что нормативная вероятность воздействия опасных факторов пожара на людей принимается равной не более 0,000001 в год в расчете на отдельного человека” [14].

Спустя 15 лет то же самое значение индивидуального пожарного риска (в то время этого понятия еще не существовало в отечественной литературе) было зафиксировано в ГОСТ 12.1.004–91*: “допустимый уровень пожарной опасности для людей должен быть не более 10^{-6} воздействия опасных факторов пожара, превышающих предельно допустимые значения, в год в расчете на каждого человека” [15].

В декабре 1991 г. Советский Союз распался, и статистики пожаров, позволяющей проверить выполнимость требований ГОСТ 12.1.004–91* [15] в

1991 г., уже не было. Но выше мы показали, что в 1990 г. в СССР этот нормативный уровень пожарного риска был превышен в 35 раз, а в РСФСР — в 46 раз. Можно еще добавить, что в 1979 г. в СССР это значение уровня пожарного риска равнялось $28,3 \cdot 10^{-6}$, т. е. на 1 млн граждан СССР приходилось 28 погибших на пожарах, и, как видим, далее это значение быстро возрастало, достигнув в 2008 г. почти 100 жертв на 1 млн граждан России.

Именно в этом году вступил в действие Технический регламент [1], в ст. 79 которого говорится: “Индивидуальный пожарный риск в зданиях, сооружениях и строениях не должен превышать значения одной миллионной в год при размещении отдельного человека в наиболее удаленной от выхода из здания, сооружения и строения точке”.

Когда авторы статьи попытались выяснить у разработчиков ГОСТов [14, 15], почему они взяли за нормативное значение индивидуального пожарного риска 10^{-6} , то услышали в ответ, что в основном были взяты за ориентир голландские литературные источники. В связи с этим попробуем выяснить, выполняются ли эти нормативы в развитых странах мира?

Статистика пожаров и динамика пожарных рисков в странах мира

До недавнего времени мировая пожарная статистика (так же, как и теория пожарных рисков) отсутствовала вообще, а добротные национальные пожарные статистики появились только во второй половине XX столетия [13, 16–18]. Тем не менее сегодня мы уже располагаем достаточной и вполне надежной информацией, чтобы ответить на интересующие нас весьма актуальные и злободневные вопросы.

В табл. 4 приведены данные по обстановке с пожарами в Нидерландах (Голландии) за период 1985–2005 гг. [18].

Мы вычислили только интересующие нас значения пожарного риска R_3 с интервалом в пять лет исходя из общего числа пожаров в Голландии, а также пожаров в зданиях (как требуется в [1]).

Из табл. 4 следует, что в Нидерландах за последние 20 лет на каждый 1 млн жителей за год приходится 3–4 погибших на пожарах в зданиях. Следовательно, для этой страны нормативное значение индивидуального пожарного риска 10^{-6} абсолютно приемлемо, хотя и здесь его достичь пока не удается.

В связи с этим важным результатом возникает очередной вопрос: каковы значения пожарного риска R_3 в других странах мира? Ответ на этот вопрос получаем из табл. 5 [17], в которой приведены усредненные значения числа жертв пожаров за 2004–2008 гг. в 35 странах мира, а также значения пожарных рисков R_3 и R_2 . Среди стран представлены главным образом страны Европы, но также США, Малайзия, Сингапур и Новая Зеландия. Ранжирование стран ведется по возрастанию значений риска R_3 .

Из табл. 5 следует, что для первых 10 стран вполне приемлем диапазон допустимых значений R_3 $1,0 \cdot 10^{-6}$ – $5,0 \cdot 10^{-6}$; для следующих семи стран — $6,0 \cdot 10^{-6}$ – $9,0 \cdot 10^{-6}$. Далее идут 12 стран, для которых приемлем диапазон $1,0 \cdot 10^{-5}$ – $2,0 \cdot 10^{-5}$, и замыкают таблицу страны постсоветского пространства с диапазоном $0,8 \cdot 10^{-4}$ – $1,2 \cdot 10^{-4}$. Для этой последней группы стран не может быть и речи о нормативном значении индивидуального пожарного риска 10^{-6} , узаконенном в [1].

Об этом же говорится в недавней публикации чл.-корр. РАН Н. А. Махутова с соавторами: “Важной составляющей в методологии оценки риска является концепция приемлемого риска. В ряде стран (например, в Нидерландах и Великобритании) на законодательном уровне для предельно допустимого уровня (ПДУ) индивидуального риска, обусловленного хозяйственной деятельностью, принято значение риска смерти, равное 10^{-6} в год. Экспертные оценки, основанные на обобщении Российской обществом по анализу рисков проделанных исследований и практического опыта, в том числе декларирования безопасности, показывают, что ПДУ индивидуального риска для России и стран СНГ, учитывая современный социально-экономический уровень развития, можно принять в диапазоне 10^{-4} – 10^{-5} в год” [19].

Таблица 4. Динамика числа пожаров и гибели людей на них в Нидерландах за период 1985–2005 гг.

Параметр	1985 г.	1990 г.	1995 г.	2000 г.	2005 г.	Среднее
Население, млн чел.	14491	14950	15450	15812	16306	15418
Число пожаров, ед.	33350	40001	42101	45999	43200	40930
Число пожаров в зданиях, ед.	10941	11921	12475	13910	13147	12479
Число погибших на пожарах, чел.	79	104	82	62	67	78,8
Число погибших на пожарах в зданиях, чел.	59	60	42	—	47	52,0
Пожарный риск R_3	5,45	6,96	5,31	3,90	4,11	5,15
Пожарный риск R_3 в зданиях	4,07	4,01	2,72	—	2,88	3,42

Авторы данной статьи писали об этом в монографии [20] еще в 2000 г., задолго до создания Российского общества по анализу рисков и Технического регламента [1].

Таблица 5. Средние значения пожарного риска R_3 (за 2004–2008 гг.) в странах мира

№ п/п	Страна	Среднее число погибших при пожарах			Диапазон допустимых значений R_3
		в год	на 1 млн чел.	на 100 пожаров	
1	Сингапур	3	0,7	0,06	
2	Сербия	14	1,4	0,09	
3	Италия	95	1,6	0,04	
4	Кипр	2	2,1	0,03	
5	Малайзия	72	2,9	0,31	$1,0 \cdot 10^{-6}$ –
6	Люксембург	2	3,1	0,07	$5,0 \cdot 10^{-6}$
7	Нидерланды	64	3,9	0,51	
8	Швейцария	31	4,1	0,21	
9	Германия	429	5,2	0,24	
10	Австрия	44	5,2	0,13	
11	Испания	221	5,5	–	
12	Греция	68	6,1	0,20	
13	Франция	411	6,5	0,12	
14	Словения	14	6,8	0,23	$6,0 \cdot 10^{-6}$ – $9,0 \cdot 10^{-6}$
15	Новая Зеландия	32	7,7	0,14	
16	Великобритания	480	7,9	0,12	
17	Ирландия	38	9,3	0,12	
18	Хорватия	44	9,7	0,61	
19	Словакия	53	9,8	0,46	
20	Швеция	93	10,3	0,34	
21	Румыния	227	10,5	3,81	
22	США	3514	11,5	0,23	
23	Чехия	124	12,1	0,61	$1,0 \cdot 10^{-5}$ –
24	Болгария	104	13,7	0,35	$2,0 \cdot 10^{-5}$
25	Норвегия	64	13,9	0,48	
26	Венгрия	143	14,2	0,63	
27	Польша	576	14,9	0,35	
28	Дания	83	15,2	0,47	
29	Финляндия	96	18,4	0,68	
30	Литва	280	83,7	1,60	
31	Украина	3982	86,0	8,06	
32	Латвия	207	91,7	1,86	$0,8 \cdot 10^{-4}$ –
33	Эстония	130	96,6	1,14	$1,2 \cdot 10^{-4}$
34	Беларусь	1142	117,4	11,00	
35	Россия	17147	121,3	7,81	
Итого		40,6	1,18		

О методах обоснования и вычисления пожарных рисков

Мы надеемся, что достаточно аргументировано показали, что реальный для современной России уровень индивидуального пожарного риска ровно на два порядка ниже, чем узаконенный в ст. 79 Технического регламента [1]. Тем не менее в России существуют сотни официально признанных “специалистов”, которые за высокие гонорары “вычисляют” для тех или иных объектов защиты нужные значения индивидуального пожарного риска, убеждая заказчиков и, главное, экспертов, что данные объекты имеют необходимый уровень пожарной безопасности. Разумеется, эти виртуальные значения рисков не свидетельствуют ни о какой безопасности. Цитируем одну из недавних статей, посвященных этому вопросу: “За этой цифрой не видна действительная пожарная опасность; такая система не дает уверенности, что безопасность обеспечена; невозможно доказать соответствие реального виртуальному... Поэтому введенный МЧС РФ показатель состояния пожарной безопасности не отражает этого состояния и, соответственно, не улучшит положения с пожарной безопасностью в стране” [7]. С этим утверждением нельзя не согласиться.

К этому вопросу мы еще вернемся. Пока же кратко рассмотрим принципы и этапы формирования методологии оценки уровня пожарной опасности объектов, городов и регионов. Здесь нам удобно будет сослаться на статью профессора Гарвардского университета (США) Х. Эммонса (1912–1998) [21].

Х. Эммонс построил свою статью так, как будто она написана в конце XXIII в. и, следовательно, все достижения науки о пожаре в предыдущие столетия уже известны. Мы приведем только некоторые выдержки из этой замечательной работы, имеющие прямое отношение к предмету нашего обсуждения: “Я начинаю эту “Историю науки о пожаре” три столетия тому назад, в середине XX в. Я выбрал эту начальную дату потому, что к этому времени общественность уже хорошо осознавала серьезность проблемы пожаров и важность противопожарных норм и правил, методов испытаний, стандартов. Все они были почти полностью эмпирическими, но росло осознание важности разработки фундаментальных аспектов пожаров на основе развития научных методов и возможности создания количественной теории пожара с помощью компьютеров, тогда находившихся в детском возрасте” [21].

И далее, подводя итоги XX в., Эммонс писал: “...мы можем рассматривать годы с 1950 по 2000 как период, в котором были развиты основные идеи науки о пожаре, когда были идентифицированы все существенные компоненты пожара и выяснен их фундаментальный характер. Была осознана необхо-

димость основывать пожарную безопасность общества на базе создания расчетных противопожарных норм, учитывающих законы развития пожара, и были предприняты первые шаги по реализации этой задачи” [21].

Напомним, что это было написано почти за 20 лет до конца XX в., но справедливость этого утверждения не вызывает сомнений и сейчас. Добротное решение задач, связанных с обоснованием величин пожарных рисков и оценкой уровня пожарной безопасности различных объектов защиты, невозможно без выполнения следующих условий: во-первых, создания количественной теории возникновения, развития и ликвидации пожара на основе физико-химических и математических моделей (такой развитой теории пока не существует из-за сложности изучаемых процессов и отсутствия адекватных теоретико-математических и вычислительных методов); во-вторых, построения компьютерных моделей развития пожара, опирающихся на алгоритмы, вытекающие из вышеуказанной теории (первые такие упрощенные модели — интегральные, зонные, дифференциальные, появившиеся в середине 70-х годов, получили определенное развитие, но пока недостаточно адекватны исследуемым процессам [20]); в-третьих, наличия достаточно надежной пожарной статистики, которая способствовала бы проверке адекватности получаемых теоретических результатов (такая статистика возникла только в конце XX в. и сейчас быстро развивается [17, 18]; в-четвертых, создания теории пожарных рисков (которая получила развитие только в конце XX в. [2]; в-пятых, формирования моделей эвакуации и поведения людей при пожарах (они возникли еще в середине XX в., но настоящего успеха достигли опять-таки в конце прошлого столетия [20, 22]).

Тем не менее необходимость оценки уровня пожарной опасности различных объектов защиты (особенно с учетом интересов страховых компаний) в середине XX в. стала настолько актуальной, что уже с середины 60-х годов стали появляться и модифицироваться своеобразные эмпирические экспресс-методы (типа конструкций Гретнера), которые благодаря их простоте получили достаточно широкое распространение в мире [23, 24].

Таким образом, к началу XXI в. в мире сложились в основном две группы методов оценки уровня пожарной опасности объектов защиты и пожарных рисков: экспресс-методы и вероятностные методы, использующие, в частности, построение логических деревьев возможных сценариев пожара. Подробному анализу их достоинств и недостатков посвящены работы [23, 24].

В заключение этого раздела статьи мы хотим заметить следующее. В работе [19] говорится: “...ин-

тегральные (для всей техносферы) и дифференциальные (для данного вида объектов) риски измеряются в относительном числе летальных исходов на тысячу человек в год” (редакция сохранена. — Авторы). Это, правильное в целом, утверждение говорит о том, что для оценки таких рисков нужна именно добротная статистика.

Такой подход позволяет строить и анализировать вполне обоснованные тренды подобных рисков как в ретроспективе, так и в будущем, намечая конкретные пути управления рисками.

Ничего подобного не позволяют делать методы оценки рисков отдельных объектов защиты, о которых идет речь в [1]. Такие риски следует называть локальными.

В отличие от интегральных и дифференциальных рисков, которые достаточно информативны и позволяют реально оценивать и прогнозировать обстановку с пожарами (и не только!) в городах, регионах и странах, локальные риски, по существу, не дают никакой объективной информации о степени безопасности объекта защиты и ассоциируются со знаменитой сказкой Г. Х. Андерсена о новом платье короля. Объясняется это, конечно, тем, что в большинстве случаев невозможно получить необходимую репрезентативную статистику об отдельных объектах и нужно просто скрупулезно выполнять на них разумные требования и нормы обеспечения их безопасности [2].

Завершая эту статью, мы хотим обрисовать реальное пространство применения теории пожарных рисков, для чего нам опять потребуется современная мировая и отечественная пожарная статистика [13, 17, 18]. Эта информация, как видно практически из всех современных статей о пожарных рисках, специалистам просто неизвестна. Поэтому большинство статей носит в значительной степени умозрительный, излишне теоретический характер (разумеется, мы не хотим здесь никого обидеть, а просто констатируем факт).

Гибель людей при пожарах в мире

Поскольку речь здесь идет, главным образом, об индивидуальном пожарном риске, связанном с гибелью людей на пожаре, то в этом заключительном разделе мы подробно рассмотрим данный вопрос [2, 13, 17, 18].

В 2009 г. на Земле насчитывалось 6,8 млрд чел. За этот год на планете произошло всего около 8 млн пожаров, при которых погибло примерно 85 тыс. чел. [18]. Из них половина приходится на Индию и страны постсоветского пространства. Вычисляя значения основных пожарных рисков R_1 , R_2 и R_3 [2], получим (для всей планеты):

$$R_1^{2009} = \frac{8 \cdot 10^6}{6,8 \cdot 10^9} = 1,18 \cdot 10^{-3};$$

$$R_2^{2009} = \frac{85 \cdot 10^3}{8 \cdot 10^6} = 1,06 \cdot 10^{-2};$$

$$R_3^{2009} = \frac{85 \cdot 10^3}{6,8 \cdot 10^9} = 1,25 \cdot 10^{-5}.$$

Отсюда мы видим, что в 2009 г., во-первых, на каждую тысячу землян в среднем за год приходился один пожар; во-вторых, на каждого 100 пожарах в среднем погибал 1 чел.; в-третьих, на каждые 100 000 землян в среднем за год приходилась одна жертва пожара.

Это и есть наиболее объективная и естественная оценка уровня пожарной опасности на Земле в целом в 2009 г. С этим уровнем и нужно сравнивать уровни пожарной опасности на континентах, в странах, регионах, городах и т. д. Иного подхода нет и не может быть. Поэтому в большинстве случаев предпочтение нужно отдавать именно интегральным пожарным рискам [2].

Подчеркнем еще раз, что в настоящее время в мире на 100 пожаров в среднем приходится одна жертва. Это значит, что 99 % всех пожаров заканчиваются без жертв, но в 1 % люди погибают.

Возникает вопрос: на каких именно пожарах в мире погибают люди? Ответ на этот вопрос дают рис. 3 и 4 [18]. Из рис. 3 видим, что 35 % всех пожаров возникают в зданиях (подавляющее большинство из них — в жилых домах) и 18 % — на автотранспорте. Здесь мы имеем важнейшую половину всех объектов пожаров в мире (в другой половине большую часть составляют пожары мусора, травы, кустов). Если оценивать пожарные риски только для зданий, значение R_1 уменьшится вдвое, R_2 — увеличится вдвое, R_3 — не изменится.

Далее, на пожары в жилых домах приходится 80 % всех погибших на пожарах (в России — 90,6 % [13]), в других зданиях — 10 % и на транспорте — 5 % (см. рис. 4 [18]). Значит, в мире в целом в 2009 г. в зданиях (производственных, административных, общественных и др., не относящихся к жилому сектору) всего погибло около 8000 чел. Это и есть один из основных сегментов пространства применения теории пожарных рисков. Например, в России в 2009 г. в зданиях, не относящихся к жилому сектору, всего при пожарах погибли 526 чел. (т. е. 3,8 % всех жертв пожаров!) [13].

Мы считаем, что все это необходимо знать специалистам, занимающимся теорией рисков и безопасности.

Кстати говоря, статистика пожаров позволяет оценить влияние разных условий, способствующих гибели людей на пожарах. Например, из-за несо-

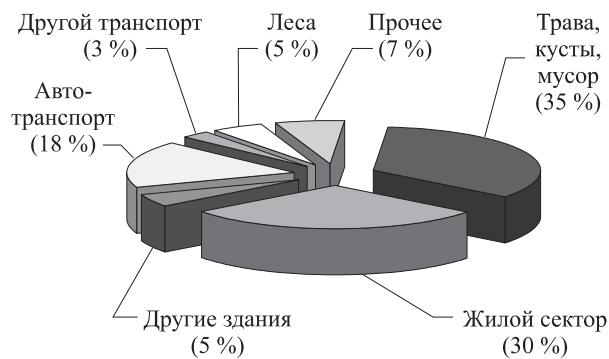


Рис. 3. Распределение пожаров в странах мира по объектам (2000–2010 гг.)

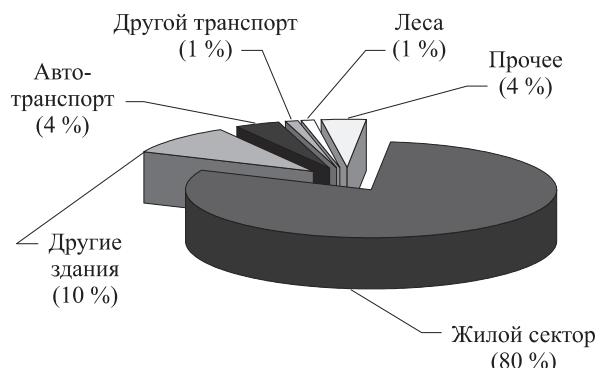


Рис. 4. Распределение гибели людей по объектам пожаров в странах мира (2000–2010 гг.)

ответствия путей эвакуации противопожарным требованиям в 2009 г. в России погибли 16 чел. и из-за отсутствия освещения на путях эвакуации — 4 чел. [13]. Отказов систем противопожарной защиты зданий в 2009 г., а также автоматических установок пожаротушения не было. Отказ системы обнаружения пожара и управления эвакуацией людей зафиксирован один раз [13]. Все эти параметры входят в расчетную формулу индивидуального пожарного риска. Очевидно, что при их указанных значениях величина риска может оказаться приемлемой.

Однако здесь не учитывается, что 7547 чел. в 2009 г. погибли на пожарах в состоянии алкогольного опьянения, а 2671 — в состоянии сна. Эти факторы никакой расчетной формулой учтены быть не могут.

Далее, 41255 пожаров в 2009 г. возникли из-за нарушения правил устройства и эксплуатации электрооборудования. При этом погибли 2015 чел. Кроме того, 24872 пожара произошли из-за нарушения правил устройства и эксплуатации печей. Жертвами этих пожаров стали 1118 чел. Наконец, 80392 пожара возникли из-за неосторожного обращения с огнем. При этом погибли 9624 чел., т. е. 70 % всех жертв пожаров в 2009 г.

Этих пожаров и гибели людей можно было избежать, главным образом, за счет профилактики пожа-

ров, в частности мощной противопожарной пропаганды, и здесь важную роль могут сыграть пожарные добровольцы.

Выводы

1. Без использования актуальной мировой и национальных статистик пожаров проводить анализ и управление пожарными рисками весьма затруднительно.

2. Нормативное значение индивидуального пожарного риска, содержащееся в Техническом регламенте [1], для России невыполнимо. Его целесообразно заменить на вполне обоснованное значение $5,0 \cdot 10^{-5}$.

3. Кроме людей, погибших на пожарах, нужно еще оценивать риски травмирования людей.

4. Работа пожарных добровольцев по ремонту электросетей, электроприборов и печного отопления позволит реально уменьшить число пожаров в России на 35 % и их жертв — на 3 тыс. чел. Это и

будет означать конкретное управление пожарными рисками в стране.

5. Колossalный резерв в управлении пожарными рисками таится в противопожарной пропаганде и непосредственной работе с населением.

Об этом свидетельствует накопленный опыт противопожарных служб различных стран мира. Целенаправленная работа с различными слоями населения (школьники, престарелые люди, этнические меньшинства) в жилом секторе, обучение и распространение литературы по вопросам пожарной безопасности, установка и проверка дымовых датчиков, проверка монтажа электрооборудования и т. п. позволяют значительно снизить риски гибели людей в жилом секторе [25–27]. Например, в ряде городов Канады такая работа с населением за последние годы привела к 50 %-ному снижению гибели людей на пожарах в жилом секторе [27].

Как говорили И. Ильф и Е. Петров, “Не нужно бороться за чистоту, нужно просто подметать!”

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ : принят Гос. Думой 4 июля 2008 г. : одобр. Советом Федерации 11 июля 2008 г. — М. : ФГУ ВНИИПО, 2008. — 157 с.
2. Пожарные риски. Динамика, управление, прогнозирование / Под ред. Н. Н. Брушлинского и Ю. Н. Шебеко. — М. : ФГУ ВНИИПО, 2007. — 370 с.
3. Корольченко А. Я., Косачев А. А. К вопросу о расчете пожарного риска // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 6. — С. 53–56.
4. Корольченко А. Я., Бушманов С. А. Количественная оценка величины пожарного риска // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 6. — С. 27–29.
5. Седов Д. В. Уточнение условий обеспечения пожарной безопасности объектов защиты // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 6. — С. 39–40.
6. Федорец А. Г. Практические вопросы применения и совершенствования методики оценки пожарных рисков // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 8. — С. 64–71.
7. Хафизов Ф. Ш., Бакиров И. К. Пожарные риски: кто ответит за пожар? // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 9. — С. 2–4.
8. Седов Д. В. К вопросу о взаимосвязи между нормативными требованиями пожарной безопасности и уровнем пожарного риска // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 9. — С. 5–8.
9. Седов Д. В. Уточнение методики расчета индивидуального пожарного риска // Пожарная безопасность. — 2010. — № 2. — С. 116–122.
10. Жуков В. В. Опять двойка // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 11. — С. 4–8.
11. Микеев А. К. Пожар. Социальные, экономические, экологические проблемы. — М. : Изд-во “Пожнаука”, 1994. — 386 с.
12. Лупанов С. А., Сибирка В. И., Чабан Н. Г. Анализ статистических данных по загораниям, произошедшим на территории России в 2009 г. // Актуальные проблемы пожарной безопасности : матер. XXII Междунар. науч.-практ. конф. Ч. 3. — М. : ВНИИПО, 2010. — С. 39–46.
13. Пожары и пожарная безопасность в 2009 г. : статистический сборник / Под общ. ред. Н. П. Копылова. — М. : ВНИИПО, 2010.
14. ГОСТ 12.1.004–76. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования. — М. : Госкомстандартов СМ СССР, 1976.
15. ГОСТ 12.1.004–91*. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования. — Введ. 01.07.92. — М. : ИПК “Изд-во стандартов”, 2002.

16. Вишняков Я. Д., Радаев Н. Н. Общая теория рисков : учеб. пособие. — Изд. 2-е. — М. : Изд. центр “Академия”, 2008. — 368 с.
17. Brushlinsky N. N., Hall J. R., Sokolov S. V., Wagner P. World fire statistics: Report № 13, CFS of CTIF. — Moscow–Berlin, 2008.
18. Brushlinsky N. N., Sokolov S. V., Wagner P. Humanity and Fires. — Leipzig : German Fire Protection Association, 2010. — Р. 353.
19. Махутов Н. А., Зацаринный В. В., Зацаринная Л. Д. и др. Национальное и межгосударственное сотрудничество стран СНГ по научным проблемам предупреждения и ликвидации ЧС природного и техногенного характера // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. — 2010. — № 5. — С. 10–23.
20. Моделирование пожаров и взрывов / Под ред. Н. Н. Брушлинского, А. Я. Корольченко. — М. : Пожнаука, 2000. — 492 с.
21. Emmons H. W. The further history of fire science // Fire Technology. — 1985. — Vol. 21, No. 3. — Р. 230–238.
22. Холщевников В. В., Самошин Д. А. Эвакуация и поведение людей при пожарах : учеб. пособие. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2009. — 212 с.
23. Якуш С. Е., Эсманский Р. К. Анализ пожарных рисков. Ч. I: Подходы и методы // Проблемы анализа риска. — 2009. — Т. 6, № 3. — С. 8–27.
24. Якуш С. Е., Эсманский Р. К. Анализ пожарных рисков. Ч. II: Проблемы применения // Проблемы анализа риска. — 2009. — Т. 6, № 4. — С. 26–46.
25. Global Concepts in Residential Fire Safety. Part 1 — Best Practices from England, Scotland, Sweden, and Norway. Philip Schaenman, TriData, a Division of System Planning Corporation, 2007. — Р. 101.
26. Global Concepts in Residential Fire Safety. Part 2 — Best Practices from Australia, New Zealand, and Japan. Philip Schaenman, TriData, a Division of System Planning Corporation, 2008. — Р. 111.
27. Global Concepts in Residential Fire Safety. Part 3 — Best Practices from Canada, Puerto Rico, Mexico, and Dominican Republic. Philip Schaenman, TriData, a Division of System Planning Corporation, 2009. — Р. 107.

Материал поступил в редакцию 3 февраля 2011 г.
Электронный адрес авторов: albrus-ssv@yandex.ru.



С. С. Воевода
д-р техн. наук, профессор,
начальник кафедры Академии
ГПС МЧС РФ, г. Москва, Россия



С. А. Макаров
канд. техн. наук, старший
научный сотрудник Академии
ГПС МЧС РФ, г. Москва, Россия



В. П. Молчанов
д-р техн. наук, профессор
Академии ГПС МЧС РФ,
г. Москва, Россия



Д. Л. Бастиров
адъюнкт Академии
ГПС МЧС РФ,
г. Москва, Россия



М. А. Крутов
адъюнкт Академии
ГПС МЧС РФ,
г. Москва, Россия

УДК 614.84.664

ТУШЕНИЕ ПОЖАРОВ МОТОРНОГО ТОПЛИВА ЕВРОПЕЙСКОГО СТАНДАРТА НИЗКОКРАТНОЙ ПЕНОЙ

Исследуется механизм тушения смесевых топлив и углеводородов со спиртами пенообразователями, содержащими полимерный стабилизатор. Рассмотрен процесс растекания пены с полимерным компонентом, входящим в состав пенообразователя, при нанесении на слой горючего. Изучено влияние концентрации полимерного компонента на термическую устойчивость пены и на толщину пенного слоя.

Ключевые слова: пенообразователь; пленкообразующая пена; топливо.

Исследовательские работы, посвященные вопросам тушения смесей бензина и углеводородов со спиртами [1, 2], выявили ряд особенностей, сопровождающих процесс тушения и свободного горения смесевого топлива. Внимание к данной проблеме связано с применением этих смесей в качестве автомобильного топлива, поэтому вопрос обеспечения пожарной безопасности объектов хранения и транспортирования смесевого топлива является актуальным.

В данной работе исследуется механизм тушения смесевых топлив пенообразователями, содержащими полимерный стабилизатор.

Основное отличие процесса тушения смесевых топлив пенообразователями с полимерным компонентом связано с тем, что при соприкосновении с горючим пена разрушается и формирует на поверхности толстый полимерный слой. В дальнейшем пена растекается по полимерному слою, который предотвращает непосредственный контакт пены с агрессивным растворителем.

Наличие полимера в водном растворе, с одной стороны, защищает пену от контакта с растворителем и обеспечивает ее повышенную устойчивость к воздействию теплового потока от пламени, а с другой — повышенная концентрация полимерного компонента (ПК) снижает скорость самопроизвольного растекания пены из-за ее высокой вязкости. Чтобы этого избежать, необходимо установить оптимальное содержание полимерного компонента в рабочем растворе, из которого образуется низкократная пена. Пенообразователи с полимером — полисахаридом представляют собой вязкую жидкость с консистенцией геля и относятся к неильтоновским жидкостям, эффективная вязкость которых зависит от скорости течения геля.

Результаты исследований пенообразователей с полимерным компонентом показывают определяющую роль концентрации последнего в пене. На рис. 1 представлены результаты тушения смесевого топлива полимерсодержащим пенообразователем ФС-600.

© Воевода С. С., Макаров С. А., Молчанов В. П., Бастиров Д. Л., Крутов М. А., 2011

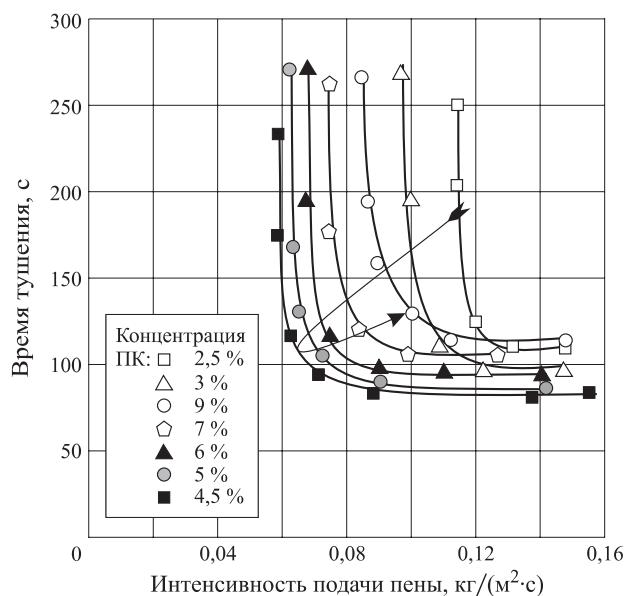


Рис. 1. Влияние концентрации пенообразователя ФС-600 на время тушения смесевого горючего (80 % бензин АИ-95 и 20 % ИПС)

Особенность экспериментальных результатов заключается в том, что огнетушащая эффективность пены достигает максимума при концентрации ПК 4,5 %, а дальнейшее увеличение доли ПК снижает ее огнетушащую эффективность. Для выяснения причин такого поведения пены предприняты исследования влияния концентрации ПК на термическую устойчивость пены и на толщину пенного слоя, при которой достигается полное тушение пламени.

Характер взаимодействия смешанных растворителей с пеной, содержащей полимерное пленкообразующее вещество, определяется физико-химическими свойствами разделительной пленки, которая образуется на межфазной границе при разрушении первых порций пены. В дальнейшем разделительная пленка упрочняется за счет выпадения полимерного соединения, коагулирующего в водно-органических смесях.

Сложность процесса формирования разделительной пленки позволяет провести лишь приближенное рассмотрение характера взаимодействия этих пен с органическими растворителями. Для обеспечения устойчивости пены на агрессивном растворителе разделительная пленка должна обладать малой проницаемостью для молекул органического соединения. Кроме того, она должна быть достаточно эластичной и прочной, чтобы выдерживать местные напряжения, а также внешние возмущения и касательные напряжения, возникающие при движении жидкости-подложки. Пленка должна быть также сплошной и однородной.

Увеличение доли полимерного компонента в рабочем растворе приводит к повышению вязкости водного раствора в пленках и пены в целом.

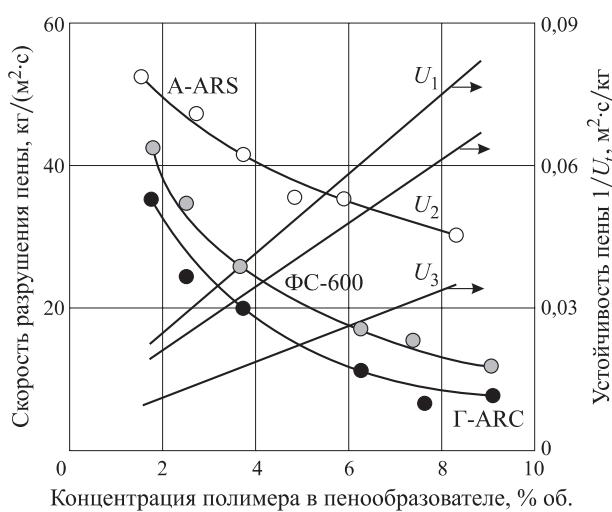


Рис. 2. Влияние полимерного компонента на удельную скорость термического разрушения и устойчивость пен, полученных из пенообразователей с полимерным компонентом Г-ARC, ФС-600, А-ARC: U_1 , U_2 и U_3 — удельная скорость термического разрушения пены из пенообразователей соответственно Г-ARC, ФС-600 и А-ARC

Экспериментально установлено, что термическая устойчивость пены растет пропорционально концентрации полимерного компонента. Результаты экспериментальных измерений представлены на рис. 2.

Термическая устойчивость пены является величиной, обратной удельной скорости разрушения пены U_z :

$$U_z = \beta_1/C, \quad (1)$$

где C — концентрация полимера, %;

$$\beta_1 \equiv 1/\beta;$$

$$\beta = (1/U_z)/C_1; \quad (2)$$

U_z — удельная скорость термического разрушения пены при концентрации C_1 , кг/(м²·с).

В исследованном диапазоне концентраций зависимость термической устойчивости V_z от концентрации удовлетворительно описывается линейной зависимостью (см. рис. 2):

$$V_z = \beta C. \quad (3)$$

Параметр β зависит от природы полимера, фторсодержащих компонентов, молекулярной массы спирта и его доли в смесевом топливе.

Экспериментальные исследования зависимости средней толщины пенного слоя после тушения пламени от содержания полимерного компонента показали, что по мере роста доли полимера средняя толщина пенного слоя увеличивается. Результаты экспериментальных измерений представлены на рис. 3. Так же, как и в случае термической стабильности, средняя толщина пенного слоя h линейно возрастает с концентрацией полимера C в рабочем

растворе. Эту зависимость можно представить эмпирической формулой

$$h = h_0 + \alpha C, \quad (4)$$

где h_0 — минимальная толщина пенного слоя, м; $\alpha = h_1/C_1$; h_1 — средняя толщина пенного слоя при концентрации полимера C_1 , м.

Ниже представлено уравнение материального баланса пены, включающее контактное поверхностное, контактное боковое и термическое разрушение пены. При этом учитывается зависимость удельной скорости термического разрушения пены от степени покрытия ею поверхности ПК [3, 4]:

$$q d\tau = U_0(1-\theta)\theta S_0 d\tau + U_k S_b d\tau + U_k S_b \theta d\tau + \rho h S_0 d\theta, \quad (5)$$

где q — расход пены, кг/с;

τ — время, с;

U_0 — удельная скорость термического разрушения пены, кг/(м²·с);

θ — степень покрытия поверхности горючей жидкости пеной; $\theta = S_f/S_0$;

S_0, S_f — площадь поверхности соответственно горючего и пены, м²;

S_b — площадь свободной поверхности горючего, не покрытого пеной, м²;

U_k — удельная контактная скорость разрушения пены, кг/(м²·с);

ρ — плотность пены, кг/м³;

h — средняя толщина пенного слоя, м.

В результате решения дифференциального уравнения (5) с учетом граничных условий

$$\tau = 0, \theta = 0; \tau = \tau_t, \theta = 1$$

можно получить зависимость времени тушения от интенсивности подачи пены:

$$\tau_t = \frac{\rho h}{\sqrt{4U_0(J-B)}} \operatorname{arctg} \left[\frac{U_k + U_0}{\sqrt{4U_0(J-B)}} \right], \quad (6)$$

где

$$B \equiv U_k S_b / S_0 + U_0 / 4 + U_k / 2 + U_k^2 / 4U_0. \quad (7)$$

Для упрощения процедуры количественного анализа выражение (6) преобразовали, представив его первым членом ряда Маклорена. При этом относительная погрешность расчета для времен тушения не более 2 мин составит 15 %:

$$\tau_t = \rho h (U_k + U_0) / (4U_0(J-B)). \quad (8)$$

Если постепенно снижать интенсивность подачи пены, то возникнет ситуация, когда расчетное время тушения станет бесконечно большим, т. е. пламя практически не будет потушено. Эта интенсивность называется критической, а соответствующее усло-

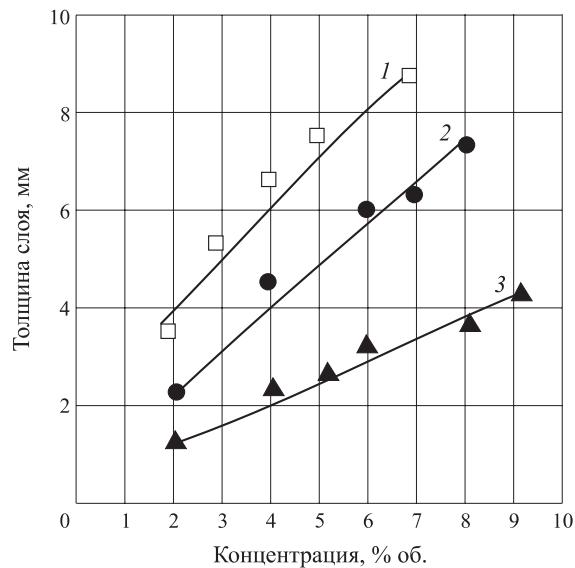


Рис. 3. Влияние доли полимерного компонента из композиций Г-АРС на среднюю толщину пенного слоя после тушения смеси гептан (85 %) – изопропанол (15 %) при различной интенсивности подачи пены: 1 — 0,1 кг/(м²·с); 2 — 0,08 кг/(м²·с); 3 — 0,05 кг/(м²·с)

вие возникает, если подкоренное выражение в знаменателе формулы (8) становится равным нулю:

$$4J - U_0 = 0. \quad (9)$$

Критическую интенсивность определяли из эксперимента как среднее арифметическое двух интенсивностей, из которых при меньшей потушить пламя за 300 с не удается, а при большей время тушения менее 300 с. Причем разница этих интенсивностей (шаг эксперимента) составляла 0,005 кг/(м²·с).

Сопоставление эффективности пенообразователей проводили по оптимальной и критической интенсивности тушения, а также по удельным затратам пенообразователя на тушение единицы площади поверхности. Указанные величины определяли на основе анализа диаграммы зависимости времени тушения от интенсивности подачи пены.

Принято, что интенсивность подачи пены является оптимальной, если она обеспечивает тушение с минимальными удельными затратами пенообразователя. Следовательно, критерием оптимальности процесса здесь принят минимум удельных затрат пенообразователя, затраченного на тушение:

$$q = m/S_0 = J \tau_t, \quad (10)$$

где τ_t — время тушения, с;

S_0 — площадь поверхности горючего, м²;

m — масса пены, затраченной на тушение, кг.

Экспериментально полученные кривые, отображающие зависимость времени тушения от интенсивности подачи пены, имеют традиционный вид гипербол (см. рис. 1), левая часть которых резко под-

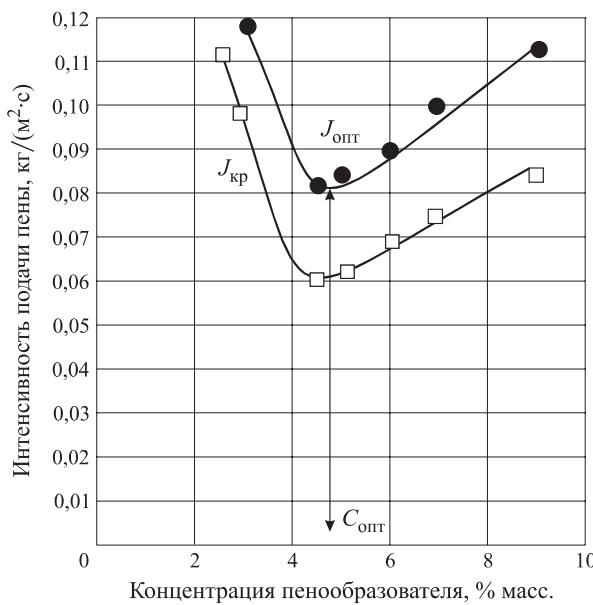


Рис. 4. Зависимость оптимальной ($J_{\text{опт}}$) и критической ($J_{\text{кр}}$) интенсивности подачи пены, полученной из пенообразователя ФС-600, от концентрации рабочего раствора при тушении смесевого горючего (80 % бензин и 20 % ИПС)

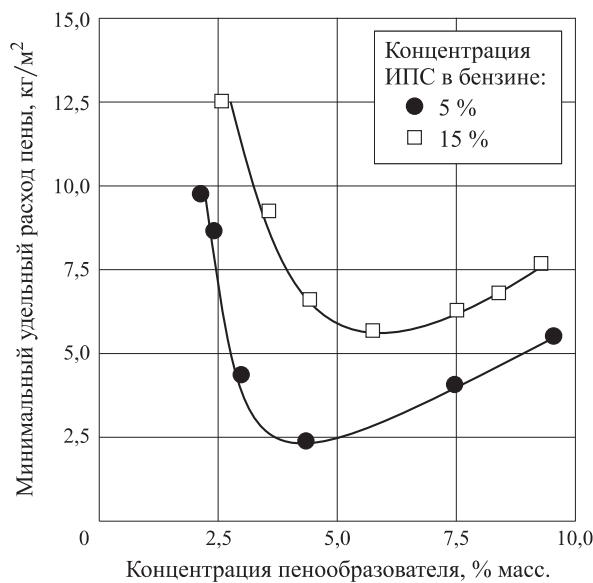


Рис. 5. Зависимость минимального удельного расхода пены от концентрации пенообразователя с полимерным компонентом при тушении пламени смесевого топлива бензин – изопропиловый спирт пенообразователем ФС-600

нимается в область больших времен при определенной интенсивности подачи пены. Эта интенсивность называется критической, поскольку при этом тушение может произойти только теоретически и за бесконечно большой отрезок времени. Здесь скорость

разрушения пены практически равна скорости ее подачи. По мере повышения интенсивности подачи пены время тушения пламени сокращается, но, достигнув определенной величины, она остается далее практически неизменной. Это объясняется, с одной стороны, низкой сдвиговой прочностью пенной структуры, а с другой — высокой вязкостью пены. При сильном нажиме на слой пены происходит движение массы вверх, а не вперед. При высокой интенсивности увеличивается средняя толщина слоя пены, т. е. часть пены расходуется бесполезно. Пена, вместо того чтобы растекаться вперед, начинает резко увеличивать свою толщину в месте ее подачи.

Подставив выражение для U_0 ($U_0 \equiv U_z$) (1) и h из формулы (4) в формулу (8), получим:

$$\tau_r = \rho(h_0 + \alpha C)(U_k + \beta_1/C)/4(\beta_1/C)(J - B), \quad (11)$$

где

$$B \equiv U_k S_b / S_0 + \beta_1/4C + U_k/2 + U_k^2 C/\beta_1. \quad (12)$$

Анализ соотношения (11) показывает, что зависимость времени тушения от концентрации полимерного компонента проходит через минимум, положение которого определяет оптимальное содержание полимера в рабочем растворе пенообразователя. На рис. 4 показано влияние концентрации полимерного пенообразователя на критическую и оптимальную интенсивность подачи пены при тушении пламени различными пенообразователями. Экстремальная зависимость получена также для минимального удельного расхода пены (рис. 5).

В формуле (12) параметр B является критической интенсивностью подачи пены, поскольку при $J = B$ время тушения стремится к бесконечности. Следовательно, критическая интенсивность зависит от содержания полимерного компонента в соответствии с формулой (12).

Для использования формулы (11) необходимо из другого эксперимента определить коэффициенты пропорциональности α и β , удельную скорость контактного разрушения пены U_k , минимальную толщину пенного слоя h_0 .

Кроме того, следует ввести предположение о соотношении площади боковой поверхности пенного потока и площади поверхности тушения горючей жидкости. Если первые четыре параметра можно определить экспериментально, то данное соотношение рассчитывали из предположения о среднем размере порции пены, на которую разбивается вспывающий поток пены.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ryderman Anders. Testing of foam as a fire extinguishing medium for polar solvent and petroleum fires (Испытания пены в качестве огнетушащего агента для полярных растворителей и нефтепродуктов) // FoU-Brand. — 1981–1982. — Р. 12–16.
2. Ferroni G., Lev Y. Test into combustibility of fluoroprotein foams with alcohol/petrol blends (Тушение спиртобензиновых смесей фторированными пенами) // Fire Prev. — 1983. — №. 159. — Р. 21–26.
3. Шароварников А. Ф., Молчанов В. П. Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов подачей пены в слой горючего // Транспорт и хранение нефтепродуктов : сб. статей. — ЦНИИ Нефтехимпрома, 1996. — № 8–9. — С. 5–9.
4. Шароварников А. Ф., Молчанов В. П., Воевода С. С., Шароварников С. А. Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов. — М. : Пожнаука, 2006.

Материал поступил в редакцию 22 марта 2011 г.
Электронный адрес авторов: vss62@mail.ru.

ООО «ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПОЖНАУКА»

ПРЕДЛАГАЕТ ВАШЕМУ ВНИМАНИЮ

Технические средства систем охранной и пожарной сигнализации

А.Н. ЧЛЕНОВ, Т.А. БУЦЫНСКАЯ, И.Г. ДРОВНИКОВА. — Ч. 1. — 316 с.
В.П. БАБУРОВ, В.В. БАБУРИН, В.И. ФОМИН. — Ч. 2. — 300 с.

В учебно-справочном пособии рассмотрены общие вопросы построения систем охранной сигнализации, приведены сведения об основных видах технических средств, составляющих систему: извещателях, приемно-контрольных приборах, системах передачи извещений, оповещателях и блоках питания. Рассмотрены современное состояние рынка средств охранной сигнализации и тенденции его развития.

Большое внимание уделено вопросам проектирования систем охранной сигнализации, требованиям по их монтажу и технической эксплуатации. Рассмотрены особенности применения средств сигнализации в пожаро- и взрывоопасных зонах.

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

WEB-САЙТ:
www.firepress.ru

ЭЛ. ПОЧТА:
mail@firepress.ru;
izdat_pozhnauka@mail.ru

Телефон:
(495) 228-09-03

Тел./факс:
(495) 737-65-74



Н. Ш. Лебедева
д-р хим. наук, доцент, ведущий
научный сотрудник Института
химии растворов РАН, препода-
вател Ивановского института
ГПС МЧС РФ, г. Иваново, Россия



Е. А. Малькова
канд. хим. наук,
младший научный
сотрудник Института
химии растворов РАН,
г. Иваново, Россия



О. В. Потемкина
канд. хим. наук, замести-
тель начальника института
по НИР Ивановского
института ГПС МЧС РФ,
г. Иваново, Россия



И. А. Малый
канд. техн. наук,
начальник Иванов-
ского института ГПС
МЧС РФ, г. Иваново,
Россия

УДК 544.460;614.844.5

ТЕРМООКИСЛИТЕЛЬНАЯ ДЕСТРУКЦИЯ ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ СОЛЕЙ АЛКИЛСУЛЬФАТОВ

Исследована термоокислительная деструкция двух видов пенообразователей: на основе натриевых и триэтаноламиновых солей алкилсульфатов. Определена кинетическая устойчивость исследуемых пенообразователей, а также продукты горения на каждом этапе процесса деструкции пенообразователей. Установлено, что наибольшую экологическую опасность представляют пенообразователи на основе натриевых солей алкилсульфатов.

Ключевые слова: пенообразователи; термоокислительная деструкция; термогравиметрический анализ; кинетическая устойчивость; ИК-спектроскопия.

Последние события, связанные с обширными пожарами по всему центральному региону России, наглядно показали, что вопросам пожарной безопасности требуется уделять больше внимания. Среди прочих задач наибольшую актуальность приобретает задача по разработке новых высокоеффективных средств пожаротушения и совершенствованию уже имеющихся. Анализ последствий пожаров и резко ухудшившейся экологической обстановки показал, что внимание нужно акцентировать прежде всего на воздействии на окружающую среду средств пожаротушения. В связи с этим необходимо оценивать средства пожаротушения не только согласно традиционным стандартам, т. е. при их производстве, аннигиляции, но и проводить оценку влияния на окружающую среду и человека продуктов термодеструкции самих пенообразователей.

Наиболее широко используемыми средствами пожаротушения являются пенообразователи на основе алкилсульфатов, в том числе их триэтаноламиновых солей, которые по сравнению с натриевыми аналогами имеют лучшие основные показатели качества пенообразователей [1, 2]. С другой стороны, в работе [3] указывается, что "при использовании пенообразователей при пожаротушении, изготовленных на базе триэтаноламина, в атмосферу выделяется огромное количество вредных веществ, по степени своего воздействия на окружающую среду

сравнимых с воздействием продуктов горения". Однако количественных сведений не приводится, в связи с чем задачей данного исследования являлась оценка термической устойчивости пенообразователей на основе солей алкилсульфатов с натрием и триэтаноламином.

Экспериментальная часть

В качестве объектов исследования были выбраны пенообразователи на основе натриевых солей алкилсульфатов марки ПО-6СП (ООО "Семьсот") и триэтаноламиновых солей алкилсульфатов марки ПО-6ТС (марка А) (ОАО "Ивхимпром").

Термическую устойчивость и кинетические характеристики окисления пенообразователей определяли методом термогравиметрического анализа на термоаналитическом оборудовании [4]. Термоаналитическую установку предварительно аттестовывали по ряду реперных систем (KNO_3 , NH_4NO_3 , NH_4Cl , NaNO_3 , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, KIO_3 , LiCl , KBr , NaBr , KCl и K_2CO_3). Аттестация показала, что точность изменения температуры в интервале от 10 до 1000 °C составляет не более 0,1 °C, массы — $0,5 \cdot 10^{-3}$ г при используемой чувствительности термовесов. Навески образцов составляли 100–150 мг. Для расчета кинетических параметров термоокисления по данным термогравиметрии и дифференциальной тер-

© Лебедева Н. Ш., Малькова Е. А., Потемкина О. В., Малый И. А., 2011

могравиметрии использовался специальный пакет компьютерных программ [5]. Методика расчета позволяет определять следующие кинетические характеристики процесса термоокислительной деструкции: энергию активации E_a , предэкспоненциальный фактор $\ln(A)$, порядок реакции n , лимитирующую стадию процесса.

В программу заложена математическая модель, в основе которой для определения энергии активации процесса термодеструкции лежат зависимости потери массы образца от температуры и скорости потери массы образца от температуры (определенные из термогравиметрического эксперимента). Расчеты проводятся по двум методикам, предложенным Коутсом и Редферном [6], Сестаком и Берггреном [7] на основании уравнения Аррениуса (1), отражающего зависимость константы скорости реакции от температуры и формального кинетического уравнения (2):

$$k = A e^{-E_a/RT}; \quad (1)$$

$$-\frac{dx}{dt} = kx^n, \quad (2)$$

где k — константа скорости реакции;

A — предэкспоненциальный множитель;

E_a — энергия активации;

R — универсальная газовая постоянная;

x — масса образца, вступившего в реакцию;

n — порядок реакции.

Интегральная форма уравнения (2) позволяет связать скорость потери массы образца с энергией активации процесса:

$$\left(\frac{m_0}{w_\infty}\right)^{1-n} \int_0^w (w_\infty - w)^{-n} dw = \frac{A}{\varphi} \int_{T_1}^{T_2} e^{-E_a/R} dT, \quad (3)$$

где m_0 — начальная масса образца;

w_∞ — максимальная потеря массы;

w — уменьшение массы.

Для определения энергии активации реакций, порядок которых неизвестен, используется подход, предложенный Коутсом и Редферном [6], основанный на использовании уравнения

$$\lg \frac{\ln(1-\alpha)^{1-n}}{T^2(1-n)} = \lg \frac{AR}{vE_a} \left(1 - \frac{2RT}{E_a}\right) - \frac{E_a}{2,3RT}, \quad (4)$$

где α — массовая доля образца, разложившегося за время t ;

v — скорость нагревания.

На основании уравнения (4) при различных значениях n (0...3) строится зависимость величины

$$\lg \frac{\ln(1-\alpha)^{1-n}}{T^2(1-n)} \text{ от } 1/T \text{ (при } n \neq 1) \text{ и } \lg \frac{-\ln(1-\alpha)}{T^2} \text{ от}$$

$1/T$ для $n = 1$.

Задача сводится к определению зависимости, наиболее удачно описываемой прямой линией, наклон которой соответственно определяется величиной $E_a/2,3R$. Таким образом, данный подход позволяет определить значение энергии активации и порядок реакции.

Рассчитать кинетические параметры и установить лимитирующую стадию процесса термодеструкции позволяет метод, предложенный Сестаком и Берггреном [7]. Для этого используются следующие уравнения:

$$\frac{d\alpha}{dt} = k f(\alpha); \quad (5)$$

$$\ln k = \ln(A) - E_a/RT, \quad (6)$$

где α — массовая доля образца, разложившегося за время t (степень превращения);

$d\alpha/dt$ — скорость реакции;

$f(\alpha)$ — математическое выражение α .

Совместное решение уравнений (5) и (6) дает выражение

$$\ln \left[\frac{d\alpha/dt}{f(\alpha)} \right] = \ln(A) - E_a/RT. \quad (7)$$

Степень превращения вычисляется как

$$\alpha = \frac{w_i - w_f}{w_i - w_t}, \quad (8)$$

где w_i — начальная масса образца;

w_t — масса образца в определенный момент времени или при температуре T ;

w_f — окончательная масса образца.

Дифференцируя (8), получаем:

$$\frac{d\alpha}{dt} = -\frac{dw_t/dt}{w_i - w_f}. \quad (9)$$

Численное значение (dw_t/dt) может быть получено методом дифференциальной термогравиметрии (DTG). Таким образом, скорость реакции может быть вычислена по уравнению (9).

Получив значение $d\alpha/dt$ и подставив его в уравнение (7), можно построить зависимость $\ln \left[\frac{d\alpha/dt}{f(\alpha)} \right]$

от $f(1/T)$. Функция $f(\alpha)$ имеет различное математическое выражение в зависимости от механизма реакции. В табл. 1 представлены алгебраические выражения для дифференциальной функции $f(\alpha)$ и интегральной функции $g(\alpha)$ для наиболее общих механизмов, описывающих кинетику термодеструкции кристаллических образцов. Выражая зависимость $\ln \left[\frac{d\alpha/dt}{f(\alpha)} \right]$ от $f(1/T)$ при различных функциях $f(\alpha)$ и строя их графики, необходимо добиться, чтобы эта зависимость была наиболее близка к прямой линии. Соответственно, угол наклона данной

Таблица 1. Математическое выражение функции $f(\alpha)$ и лимитирующая стадия процесса

№	Функция	$f(\alpha)$	Механизм
1	Параболический закон	$1/(2\alpha)$	Одномерная диффузия, 1D
2	Валентное уравнение	$[-\ln(1-\alpha)]^{-1}$	Двумерная диффузия, 2D
3	Уравнение Гинстлинга–Бронштейна	$3/2[(1-\alpha)^{1/3} - 1]^{-1}$	Трехмерная диффузия, цилиндрическая симметрия, 3D
4	Уравнение Яндера	$3/2(1-\alpha)^{2/3}[1-(1-\alpha)^{1/3}]^{-1}$	Трехмерная диффузия, сферическая симметрия, 3D
5	Уравнение анти-Яндера	$3/2(1+\alpha)^{2/3}[(1+\alpha)^{1/3} - 1]^{-1}$	Трехмерная диффузия, 3D
6	Уравнение Журавлева, Лесокина и Темпелмана	$3/2(1-\alpha)^{4/3}[1/(1-\alpha)^{1/3} - 1]^{-1}$	То же
7	Уравнение Аврами–Ерофеева	$(1-\alpha)$	Свободное зародышеобразование и его последующий рост, $n = 1$
8	Уравнение Аврами–Ерофеева	$3/2(1-\alpha)[-ln(1-\alpha)]^{1/3}$	То же, $n = 1,5$
9	Уравнение Аврами–Ерофеева	$2(1-\alpha)[-ln(1-\alpha)]^{1/2}$	То же, $n = 2$
10	Уравнение Аврами–Ерофеева	$3(1-\alpha)[-ln(1-\alpha)]^{2/3}$	То же, $n = 3$
11	Уравнение Аврами–Ерофеева	$4(1-\alpha)[-ln(1-\alpha)]^{3/4}$	То же, $n = 4$
12	—	$2(1-\alpha)^{1/2}$	Сжимающаяся сфера, цилиндрическая симметрия
13	—	$3(1-\alpha)^{2/3}$	Сжимающаяся сфера, сферическая симметрия
14	Mampel power law	1	Химическая реакция
15	Mampel power law	$2\alpha^{1/2}$	То же
16	Mampel power law	$3\alpha^{2/3}$	"
17	Mampel power law	$4\alpha^{3/4}$	"
18	Уравнение второго порядка	$(1-\alpha)^2$	"
19	—	$2(1-\alpha)^{3/2}$	"
20	—	$2/3\alpha^{-1/2}$	—
21	Экспоненциальный закон	α	—
22	Пауэр–Томкинс	$\alpha(1-\alpha)$	Branching nuclei
23	—	$1/2(1-\alpha)[-ln(1-\alpha)]^{-1}$	—
24	—	$1/3(1-\alpha)[-ln(1-\alpha)]^{-2}$	—
25	—	$1/4(1-\alpha)[-ln(1-\alpha)]^{-3}$	—
26	Третий порядок	$1/2(1-\alpha)^3$	—
27	—	$4(1-\alpha)^{3/4}$	—
28	—	$1/2(1-\alpha)^{-1}$	—
29	—	$1/3(1-\alpha)^{-2}$	—
30	—	$1/4(1-\alpha)^{-3}$	—
31	—	$6[1-(1-\alpha)^{1/3}]^{1/2}(1-\alpha)^{2/3}$	—
32	—	$4\{(1-\alpha)[1-(1-\alpha)^{1/2}]\}^{1/2}$	—

зависимости будет определяться энергией активации процесса в соответствии с уравнением (7), а константа данного линейного уравнения будет определять предэкспоненциальный фактор реакции. При этом выбранное таким образом значение функции $f(\alpha)$ отражает наиболее вероятный механизм исследуемой реакции.

В качестве реперного вещества для оценки корректности определяемых кинетических параметров были использованы рекомендуемый в подобных случаях $KMnO_4$ и его смеси с Al_2O_3 . Рассчитанные кинетические характеристики процесса термоокисления, а также взятые из литературных источников приведены в табл. 2.

Таблица 2. Кинетические характеристики процесса термоокислительной деструкции KMnO_4

Состав образца, соотношение компонентов, вес. ч.	Значения E_a , кДж/моль	
	экспериментальные	из [8]
$\text{KMnO}_4:\text{Al}_2\text{O}_3$ 1:1	141,59 ($r^2 = 0,967$)	135,43–144,21

На каждом этапе процесса термодеструкции пенообразователей методом ИК-спектрального анализа были исследованы продукты термоокисления. ИК-спектральное исследование продуктов термоокисления пенообразователей проводили на спектрофотометре Avatar 360 FT $\sqrt{\text{IR}}$ ESP. Для интерпретации полученных ИК-спектров были использованы справочные базы Aldrich Library, Georgia State Chime Lan Sample Library, Organics by RAMAN Sample Library и Sigma Biological Sample Library.

Обсуждение результатов

Общий вид термограмм исследуемых образцов в целом совпадает (рис. 1): термоокислительная деструкция протекает в три основных этапа. Потеря массы, регистрируемая до температур не выше 130 °C, связана с удалением молекул воды. Термоокислительная деструкция солей алкилсульфатов независимо

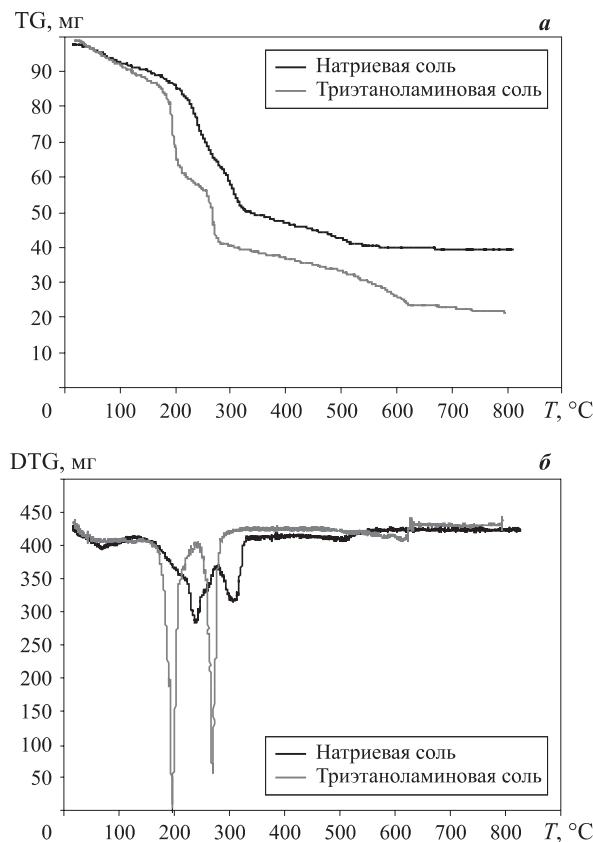


Рис. 1. Термограммы натриевых и триэтаноламиновых солей алкилсульфатов: а — TG (термогравиметрия); б — DTG (дифференциальная термогравиметрия)

от природы солеобразователя, сопровождающаяся основной потерей массы, приходится на температурный интервал от 130 до 300 °C. Следует отметить, что триэтаноламиновые соли алкилсульфатов более устойчивы, чем их натриевые аналоги, о чем свидетельствует более высокая температура начала первого этапа деструкции и энергия активации процесса (табл. 3). В процентном отношении потеря массы на данном этапе составляет: 31 % — для натриевых солей алкилсульфатов и 37 % — для триэтаноламиновых солей.

Для проведения кинетических исследований процесс термоокислительной деструкции исследуемых образцов изучали при неравновесных условиях, что достигалось высокими скоростями нагрева (5 и 10 °C/мин). Для корректной интерпретации полученных данных необходимо учитывать несколько моментов.

Во-первых, физический смысл полученных кинетических параметров процесса термоокислительной деструкции (энергии активации E_a , предэкспоненциального фактора) неоднозначен. Это связано

Таблица 3. Кинетические параметры термоокислительной деструкции натриевых и триэтаноламиновых солей алкилсульфатов

Этап	Параметр	Образцы на основе солей алкилсульфатов	
		натриевых	триэтаноламиновых
I	T , °C	134–280	170–240
	Потеря массы, %	31	37
	E_a^*	83	262
	$\ln(A)^*$	20	66
	Модель	Свободное зародышебордование (№ 27, табл. 1)	
II	T , °C	280–340	240–300
	Потеря массы, %	15	19
	E_a^*	330	524
	$\ln(A)^*$	68	117
	Модель	Свободное зародышебордование (№ 27, табл. 1)	
III	T , °C	440–560	595–630
	Потеря массы, %	11	19
	E_a^*	**	787
	$\ln(A)^*$	**	106
	Модель	**	Свободное зародышебордование (№ 27, табл. 1)

* Погрешность E_a и $\ln(A)$ составляет соответственно 5–6 и 0,5–1,0 %.

** Для данного этапа не представлялось возможным произвести расчет указанных величин в рамках требуемой для корректного анализа погрешности.

со следующим. В отличие от газовой фазы или растворов, для которых можно сделать допущение о том, что в каждом элементарном акте участвует одна или две молекулы, в твердой фазе в каждом элементарном акте участвует гораздо большее число частиц, определяемое, в свою очередь, многими параметрами самого образца (силами межмолекулярного взаимодействия, типом кристаллической решетки и т. д.).

Во-вторых, сравнение энергии активации корректно только при сравнении однотипных процессов в разных системах, если одинаков механизм элементарного акта сравниваемых процессов. В этом случае энергия активации будет характеризовать затрудненность исследуемого процесса [9]. Кроме того, по мнению некоторых авторов [9–12], необходимо учитывать, что температуру начала деструкции нельзя рассматривать как меру устойчивости соединения, так как для процессов термической диссоциации, сопровождающихся газовыделением, важным является состав и давление паров в самогенерирующейся атмосфере. Кроме того, на температуру деструкции оказывают влияние форма держателя образца, масса образца, скорость нагрева, условия отвода выделяющегося газа.

Как видно из представленных в табл. 3 данных, на всех этапах процесса термоокислительной деструкции обоих исследуемых образцов лимитирующей стадией реакции является свободное зародышеобразование. Принимая во внимание указанное выше допущение о корректности сравнения кинетических характеристик только для однотипных процессов, можно говорить о том, что кинетическая устойчивость пенообразователя на основе триэтаноламиновых солей алкилсульфатов выше аналогичной характеристики для натриевых солей алкилсульфатов.

Продукты термоокислительной деструкции исследуемых пенообразователей на каждом этапе процесса были исследованы методом ИК-спектрального анализа.

Отнесение частот колебаний в ИК-спектрах многих органических соединений, в том числе ПАВ, представляет собой довольно сложную задачу. Традиционно для решения этой задачи используются три приема [13, 14]:

1) интерпретируют отдельные полосы поглощения в ИК-спектрах, сравнивая их колебательные частоты с характеристическими частотами отдельных связей в других молекулах по базам данных;

2) проводится теоретико-групповой анализ, позволяющий предсказать число активных колебаний в ИК-спектрах;

3) наиболее корректный прием связан с анализом нормальных колебаний большого числа изотопозамещенных аналогов, но этот способ использу-

ют довольно редко в связи со сложностью получения многих изотопозамещенных органических соединений.

Для интерпретации полученных ИК-спектров исследуемых соединений был использован первый подход с применением баз данных характеристических полос, указанных в экспериментальной части и в [14].

ИК-спектры образцов триэтаноламиновых и натриевых солей алкилсульфатов в исходном состоянии и прогретых до температуры окончания первого этапа (240 и 280 °C соответственно) качественно схожи. Количественный анализ спектров показал, что при нагреве до указанных температур существенно уменьшается интенсивность полос поглощения в области 2962 и 2850 cm^{-1} , отвечающих валентным колебаниям C–H. Кроме того, зафиксировано уменьшение интенсивности полос в областях 1600 cm^{-1} (валентные C–C-колебания), 1462, 1390–1350 cm^{-1} (симметричные деформационные колебания C–H для изопропиловых и третбутильных групп) и 1250 cm^{-1} (маятниковые колебания CH₃).

Учитывая полученные спектральные и термогравиметрические данные, можно сделать вывод о том, что на данном этапе происходит термоокислительная деструкция, связанная с удалением преимущественно углеводородных радикалов алкилсульфатов.

Различия между процессами термоокислительной деструкции анализируемых образцов солей наиболее явно проявляются на втором этапе процесса термоокислительной деструкции. В случае триэтаноламиновых солей на данном этапе в продуктах термоокисления не фиксируются полосы поглощения в области 1020–1220 и 1560–1640 cm^{-1} , отвечающие валентным и деформационным колебаниям N–C и N–H, что позволяет говорить о полной деструкции азотсодержащих органических веществ на данном этапе.

По окончании второго этапа для триэтаноламиновых и натриевых солей алкилсульфатов подавляющее большинство полос поглощения в ИК-спектре относятся к колебаниям, характерным для алифатических гидрокарбонатов. А в случае натриевых солей алкилсульфатов на данном этапе термодеструкции детектируются также неорганические сульфаты (рис. 2).

Анализ ИК-спектров продуктов термоокисления исследуемых пенообразователей показал, что на последнем этапе процесса термодеструкции (при достижении температуры 800 °C) регистрируются только неорганические сульфаты (рис. 3).

Следует отметить, что метод ИК-спектроскопии позволяет проводить не только качественный, но и количественный анализ при условии соблюдения

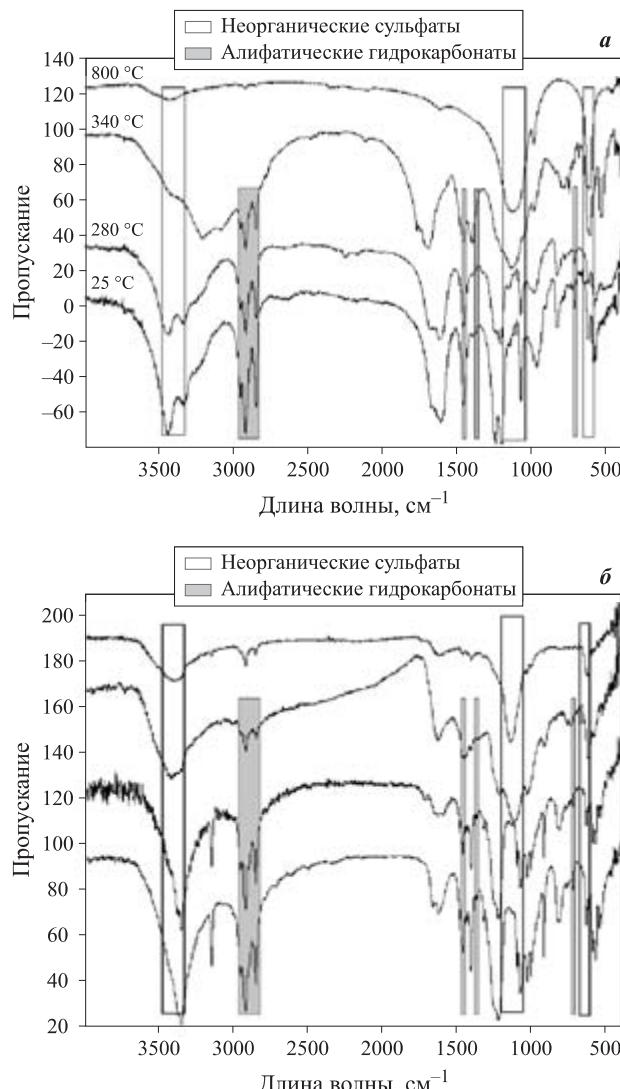


Рис. 2. ИК-спектры пенообразователей на основе натриевых (а) и триэтаноламиновых (б) солей алкилсульфатов, прогретых до указанных температур (сняты в КBr)

равенства навесок сравниваемых образцов. Поскольку данное условие было выполнено, сравнение ИК-спектров исследуемых образцов показало, что интенсивность полос в областях 1120–1240 и 630 cm^{-1} , отвечающих согласно базам данных неорганическим

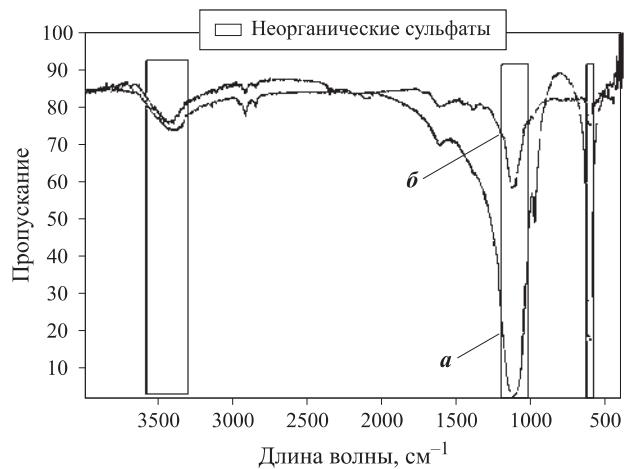


Рис. 3. ИК-спектры пенообразователей на основе натриевых (а) и триэтаноламиновых (б) солей алкилсульфатов, прогретых до температуры 800 °C (сняты в КBr)

сульфатам, в спектрах образца на основе натриевых солей алкилсульфатов в 7 раз больше по сравнению интенсивностью аналогичной полосы для триэтаноламиновой соли.

Таким образом, результаты исследования позволяют заключить, что горение органической части пенообразователей как на основе натриевых, так и на основе триэтаноламиновых солей алкилсульфатов до температуры 300 °C протекает схоже с образованием высших оксидов (CO_2 , H_2O , NO_2). Причем кинетическая устойчивость пенообразователя на основе триэтаноламиновых солей выше аналогичной характеристики для натриевых солей алкилсульфатов. При более высоких температурах процесс горения приводит к образованию неорганических сульфатов, количество которых в случае натриевых солей алкилсульфатов в 7 раз превышает аналогичную характеристику для триэтаноламиновой соли алкилсульфатов. Согласно [15], судя по характеру нелетучих продуктов горения пенообразователей, наибольшую экологическую опасность представляют пенообразователи на основе натриевых солей алкилсульфатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Назаров А. М., Останин Ю. А., Кильдияров А. Р., Базунова М. В. Влияние соотношения компонентов в исходном сырье на показатели качества пенообразователя на основе солей высших алкилсульфатов // Вестник Башкирского университета. — 2009. — Т. 14, № 3.
2. Шароварников А. Ф., Молчанов В. П. Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов. — М. : Калан, 2002. — 340 с.
3. 6-я Международная специализированная выставка "Пожарная безопасность XXI века" : сб. работ. — С. 105.
4. Лебедева Н. Ш., Якубов С. П., Кинчин А. Н., Выогин А. И. Программно-аппаратный комплекс для измерения сигналов дериватографа 1000D и компьютерная обработка данных термогравиметрического анализа // ЖФХ. — 2005. — Т. 79, № 5. — С. 958–963.

5. Лебедева Н. Ш., Павлычева Н. А., Вьюгин А. И. Термодинамические характеристики взаимодействия цинк(II)трафенилпорфирина с линейными и циклическими эфирами, альдегидами, кетонами // ЖФХ. — 2007. — Т. 77, вып. 4. — С. 674–686.
6. Coats A. W., Redfern J. P. Kinetic Parameters from Thermogravimetric Data // Nature. — 1964. — Vol. 201. — P. 68.
7. Sestak J., Berggren G. Study of the kinetics of the mechanism of solid-state reactions at increasing temperatures // Thermochim. Acta. — 1971. — Vol. 3. — P. 498.
8. Rosca I., Foca N. et al. Synthesis and Study of Some New Co(II) Polyphosphinates Determination of the Kinetic Parameters for the Thermal Decomposition Reactions // J. Thermal Analysis and Calorimetry. — 1999. — Vol. 56. — P. 401.
9. Третьяков Ю. Д., Лепис Х. Химия и технология твердофазных материалов: учебное пособие. — М. : Изд-во Моск. ун-та, 1985. — 256 с.
10. Paulic F., Paulic J. Investigations under quasi-isothermal and quasi-isobaric conditions by means of the Derivatograph // J. Term. Anal. — 1973. — Vol. 5. — P. 253.
11. Логвиненко В. А., Паулик Ф., Паулик И. Квазиравновесная термогравиметрия в современной неорганической химии. — Новосибирск : Наука, Сиб. отд-ние, 1989. — 111 с.
12. Продан В. Ф. Неорганическая топохимия. — Минск : Наука и техника, 1986. — 240 с.
13. Bellamy L. J. Infrared Spectra of Complex Molecules. — New York : Wiley, 1957. — 120 с.
14. Смит А. Прикладная ИК-спектроскопия. — М. : Мир, 1982. — 320 с.
15. Вредные химические вещества. Неорганические соединения элементов V–VIII групп : справочник / Под ред. проф. В. А. Филова. — Л. : Химия, 1988.

Материал поступил в редакцию 28 января 2011 г.

Электронные адреса авторов: molodkina@mail.ru; nsl@isc-ras.ru.



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет новую 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



ООО “Издательство “Пожнаука”
121352, г. Москва, а/я 43
тел./факс: (495) 228-09-03, 737-65-74
e-mail: mail@firepress.ru, izdat_pozhnauka@mail.ru
<http://www.firepress.ru>

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

ООО “Издательство “Пожнаука” более 15 лет успешно работает в области информационного обеспечения. На страницах выпускаемой нами учебной, справочной, нормативной и научно-практической литературы публикуется информация для высококвалифицированных специалистов и руководителей. В наших изданиях Вы можете разместить сведения о продукции и услугах, предоставляемых Вашим предприятием.

Научно-техническая литература и периодика, выпускаемые ООО “Издательство “Пожнаука”, распространяются по всей территории Российской Федерации, в странах СНГ, Балтии и в ряде зарубежных стран.

Специализированный журнал “Пожаровзрывобезопасность”

Издается с 1992 г. Периодичность — 12 номеров в год. С октября 2001 г. журнал включен в Перечень периодических научных и научно-технических изданий РФ, рекомендуемых для публикации основных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора наук. В статьях журнала рассматриваются теоретические вопросы и способы практического обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений, технологических процессов и оборудования.

Журнал “Пожарная безопасность в строительстве”

Издается с декабря 2004 г. Полноцветное рекламное научно-практическое издание. Публикует статьи рекламного и аналитического характера, модельный ряд, справочник по фирмам-производителям и услугам. Тематика Приложения посвящена проблемам комплексной безопасности строительных объектов, включая огнестойкость материалов и конструкций, пожаро- и взрывоустойчивость зданий и сооружений, новым технологическим решениям в области пожарной автоматики и сигнализации, а также проблемам сертификации и стандартизации.

Виды рекламы в журнале “Пожаровзрывобезопасность” и расценки на ее размещение

1. Реклама на обложке (полноцветная):

2-я полоса — 28 000 руб. + 1 черно-белая полоса бесплатно;
3-я полоса — 25 000 руб. + 1 черно-белая полоса бесплатно;
4-я полоса — 35 000 руб. + 2 черно-белых полосы бесплатно.

2. Рекламная статья: 1/1 черно-белой полосы — 15 000 руб.

3. Статья обзорно-аналитического, проблемного, научно-технического характера — бесплатно.

4. Рекламные вклейки:

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

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

Тираж: 5000 экз.

Спецпредложение!

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

**ПРЕДЛАГАЕМ ВАМ СЛЕДУЮЩИЕ ИЗДАНИЯ
В СФЕРЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

Апрель 2011 г.

Авторы	Наименование	ISBN	Цена, руб./экз.
НОВИНКИ			
Книги написаны с учетом требований Федерального закона № 123-ФЗ “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности”!			
	Своды правил. Системы противопожарной защиты. — 2009. — 618 с.	Электронная версия	500
	Федеральный закон “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности”. — 2010. — 150 с.		220
Антоненко А. А., Буцынская Т. А., Членов А. Н.	Основы эксплуатации систем комплексного обеспечения безопасности объектов: учебно-справочное пособие. — 2010. — 220 с.	978-5-91444-017-3	380
Бабуров В.П., Бабурин В.В., Фомин В.И.	Автоматические установки пожаротушения: учебно-справочное пособие. — 2010.		Готовится к выпуску
Корольченко А. Я.	Пожарная опасность материалов для строительства: учебное пособие. — 2009. — 217 с.	978-5-91444-013-5	350
Корольченко А. Я., Загорский Д. О.	Категорирование помещений и зданий по взрыво-пожарной и пожарной опасности. — 2010. — 118 с.	978-5-91444-015-9	250
Корольченко А. Я., Корольченко Д. А.	Основы пожарной безопасности предприятия. Полный курс пожарно-технического минимума: учебное пособие. — 2011. — 320 с.	978-5-91444-021-X	350
Корольченко А. Я., Корольченко О. Н.	Средства огне- и биозащиты. — Изд. 3-е, перераб. и доп. — 2010. — 250 с.		БЕСПЛАТНО
Корольченко Д. А., Громовой В. Ю.	Огнетушители. Устройство. Выбор. Применение. — 2010. — 94 с.	978-5-91444-014-02	140
Пилигин Л. П.	Прогнозирование последствий внутренних аварийных взрывов. — 2010. — 380 с.	978-5-91444-016-6	450
Смелков Г. И.	Пожарная безопасность электропроводок. — 2009. — 328 с.	978-5-9901554-2-8	540
Черкасов В. Н., Зыков В. И.	Обеспечение пожарной безопасности электроустановок: ученое пособие. — 2010. — 430 с.	978-5-91444-020-3	470
Членов А. Н., Буцынская Т. А., Дровникова И. Г., Бабуров В. П., Бабурин В. В., Фомин В. И.	Технические средства систем охранной и пожарной сигнализации: учебно-справочное пособие: в 2 ч. — 2009. — Ч. 1. — 316 с.; Ч. 2. — 300 с.	978-5-91444-008-1	950
СУПЕРСКИДКИ			
Собурь С. В.	Заполнение проемов в противопожарных преградах: пособие. — Изд. 2-е, с изм. и доп. — 2006. — 168 с.	5-98629-005-4	90
Собурь С. В.	Пожарная безопасность: справочник. — Изд. 2-е, с изм. — 2005. — 292 с.	5-98629-001-1	50
Собурь С. В.	Пожарная безопасность сельскохозяйственных предприятий: справочник. — 2005. — 88 с.	5-98629-004-6	36
Собурь С. В.	Установки пожарной сигнализации: учебно-справочное пособие. — Изд. 5-е, с изм. и доп. — 2006. — 280 с.	5-98629-003-8	150
Собурь С. В.	Установки пожаротушения автоматические: справочник. — Изд. 4-е, с изм. — 2004. — 408 с.: ил.	5-98629-008-9	50

Авторы	Наименование	ISBN	Цена, руб./экз.
Теребнев В. В., Артемьев Н. С., Грачев В. А.	Транспорт: наземный, морской, речной, воздушный, метро: учебное пособие. — 2007. — 383 с.	5-903049-09-5	220
Теребнев В. В., Артемьев Н. С., Подгрушиный А. В.	Леса, торфяники, лесосклады. — 2007. — 358 с.	5-903049-12-5	220
Теребнев В. В., Артемьев Н. С., Подгрушиный А. В.	Объекты добычи, переработки и хранения горючих жидкостей и газов: учебное пособие. — 2007. — 325 с.	5-903049-11-7	220
Шароварников А. Ф., Шароварников С. А.	Пенообразователи и пены для тушения пожаров. Состав. Свойства. Применение. — 2005. — 335 с.	5-903049-02-X	120
Бондарь В. А.	Электрооборудование для взрывоопасных и пожароопасных зон производств различных отраслей промышленности. — 2009. — 126 с.	978-5-91444-004-3	220
Брушлинский Н. Н., Корольченко А. Я.	Моделирование пожаров и взрывов. — 2000. — 492 с.		540
Грачев В. А., Поповский Д. В., Теребнев В. В.	Газодымозащитная служба: учебно-методическое пособие. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — 2009. — 328 с.	978-5-91444-007-4	350
Грачев В. А., Собурь С. В.	Средства индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД): пособие. — Изд. 2-е, с изм. и доп. — 2007. — 224 с.: ил.	5-98629-006-2	345
Корольченко А. Я.	Процессы горения и взрыва: учебник. — 2007. — 266 с.: ил.	978-5-91444-001-2	450
Корольченко А. Я., Корольченко Д. А.	Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справочник; в 2 ч. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — 2004. — Ч. I. — 713 с.; Ч. II. — 774 с.	5-901283-02-3	2500
Корольченко А. Я., Корольченко О. Н.	Средства огнезащиты. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — 2009. — 560 с.: ил.	978-5-91444-010-4	540
Корольченко А. Я., Трушкин Д. В.	Пожарная опасность строительных материалов: учебное пособие. — 2006. — 232 с.	978-5-91444-006-7	250
Пилигин Л. П.	Обеспечение взрывоустойчивости зданий с помощью предохранительных конструкций. — 2000. — 224 с.: ил.	5-901283-03-1	240
Теребнев В. В., Артемьев Н. С., Грачев В. А.	Справочник спасателя-пожарного: справочник. — 2006. — 528 с.	5-91017-019-8	385
Теребнев В. В., Артемьев Н. С., Шадрин К. В.	Основы пожарного дела: учебное пособие. — 2006. — 328 с.	5-91017-016-3	390
Теребнев В. В., Грачев В. А., Теребнев А. В.	Организация службы начальника караула пожарной части: пособие. — 2007. — 216 с.: ил.	5-901520-06-8-006-2	340
Теребнев В. В., Грачев В. А., Шехов Д. А.	Подготовка спасателей-пожарных. Пожарно-строительная подготовка: учебно-методическое пособие. — 2008. — 350 с.	5-91017-019-9	460
Теребнев В. В., Подгрушиный А. В.	Пожарная тактика. Основы тушения пожаров. — 2008. — 512 с.	5-91017-019-8	595
Теребнев В. В., Теребнев А. В., Грачев В. А., Шехов Д. А.	Организация службы пожарной части: учебное пособие. — 2008. — 344 с.	5-98629-305-8	460

Авторы	Наименование	ISBN	Цена, руб./экз.
Теребнев В. В., Теребнев А. В., Подгрушиный А. В., Грачев В. А.	Тактическая подготовка должностных лиц органов управления силами и средствами на пожаре: учебное пособие. — 2006. — 304 с.	5-98135-004-0	330
Теребнев В. В., Шадрин К. В.	Подготовка спасателей-пожарных. Пожарно-профилактическая подготовка: учебное пособие. — 2007. — 270 с.	5-91017-019-8	420
	Электронная версия комплекта типовых инструкций по пожарной безопасности для руководителя предприятия		980

ВНИМАНИЮ ПОДПИСЧИКОВ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДАНИЙ!

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

	Стоймость, руб.
ПОЛУГОДИЕ	
Комплект журналов “Пожаровзрывобезопасность” (6 номеров) и “Пожарная безопасность в строительстве” (3 номера)	3790
Журнал “Пожарная безопасность в строительстве” (3 номера)	1140
ГОД	
Комплект журналов “Пожаровзрывобезопасность” (12 номеров) и “Пожарная безопасность в строительстве” (6 номеров)	7580
Журнал “Пожарная безопасность в строительстве” (6 номеров)	2280

Подписка осуществляется через следующие агентства:

Название организации	Телефон/факс	Адрес	Индекс в каталоге
Агентство подписки и розницы “АПР”	(495) 974-11-11	123995, г. Москва, просп. Маршала Жукова, д. 4	83647
Агентство “РОСПЕЧАТЬ”	(495) 921-25-50	123995, г. Москва, просп. Маршала Жукова, д. 4	83340
Агентство “ИНТЕР-ПОЧТА”	(495) 500-00-60, 684-55-34	129090, г. Москва, пер. Васнецова, д. 4, стр. 2	—
Агентство “УРАЛ-ПРЕСС ХХI”	(495) 789-86-37, 789-86-36	125040, г. Москва, ул. Нижняя Масловка, д. 11-13	—
Агентство “Артос-ГАЛ”	(495) 981-03-24	г. Москва, ул. 3-я Гражданская, д. 3, стр. 2	107564
ООО “Информнаука”	(495) 787-38-73, 152-54-81	125190, г. Москва, ул. Усиевича, д. 20	—
ЗАО “МК-ПЕРИОДИКА”	(495) 672-70-12, 672-72-34	111524, г. Москва, ул. Электродная, д. 10	—

Образец заявки для оформления заказа на литературу

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

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

1. Заполните все поля анкеты:

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

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

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

- по почте: 121352, г. Москва, а/я 43;
- по тел./факсу: (495) 228-09-03, (495) 737-65-74, 8-909-940-63-94;
- по e-mail: mail@firepress.ru, izdat_pozhnauka@mail.ru



К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

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

Редакция просит авторов при подготовке рукописи руководствоваться изложенными ниже правилами.

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

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

3. Материал статьи излагается в такой последовательности:

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

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

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

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

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

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

9. Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Приглашаем Вас к сотрудничеству на страницах нашего журнала.

To Definition of Toxic Potency of Combustion Products of Combustible Materials in Compartment

Puzach S. V., Dr. of Technics, Honoured Science Worker of RF, Professor, Head of Department of Academy of State Fire Fighting Service of Emercome RF, Moscow, Russia

Puzach V. G., Dr. of Technics, Head of Laboratory of Scientific Association for High Temperatures, Moscow, Russia

Doan V. M., Postgraduate Student of Academy of State Fire Fighting Service of Emercome RF, Moscow, Russia

An analysis of thermal and gas dynamic conditions of fire in a compartment is made in case of toxic potency definition of gaseous combustion products. Mathematical models of simulation of heat and mass transfer parameters in characteristic small and large scale rooms are considered under different boundary conditions. Numerical experiments results obtained by analytical decisions, one-zoned and field models in case of definition of carbon monoxide densities are presented. Theoretical results are compared with experimental data available in a literature. It is found that heat losses coefficient is the necessary condition of an equality of toxic potencies in both small and large scale rooms.

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

Affect of Textile Materials on Fireproof of Materials with Siloxan Covering

Timofeyeva S. V., Cand. of Chemistry, Head of Department of Ivanovo State Institute of Fire-Prevention Service of Emercome RF, Ivanovo, Russia

Khelevina O. G., Dr. of Chemistry, Professor of Ivanovo State University of Chemistry and Technology and of Ivanovo State Institute of Fire-Prevention Service of Emercome RF, Ivanovo, Russia

The affect of textile materials on fireproof of materials with siloxan covering is studied. It is shown that use of textile materials on base of mixed fibres increases fireproof of materials with siloxan covering in compare to materials on base of kapron and polyester materials. The use of textile materials on base of mixed fibres is more effective for protective materials than on base of kapron and polyester materials.

Keywords: siloxan covering; mixed fibres; kapron and polyester materials; fireproof of materials.

About One Problem Mergers of Random Streams of Signals

Tarantsev A. A., Dr. of Technics, Professor, Honored Worker of the Higher School of the Russian Federation, Professor of Saint-Petersburg University of State Fire

Fighting Service of Emercome RF, Saint-Petersburg, Russia

Kholostov A. L., Doctoral Candidate, Cand. of Technics, Associated Professor of Academy of State Fire Fighting Service of Emercome RF, Moscow, Russia

Based on computer modeling of process mergers of poisson (exponential) streams of signals with an interval and a regular streams obtained and summarized the main characteristics of total stream.

Keywords: modeling; streams of signals.

Modern Approaches to the Assessment of Fire Hazard Multifunctional Public Buildings with Atriums

Kosterin I. V., Lecturer of Sub-Faculty of Civil Defense of Ivanovo State Fire Service Institute of Emercome RF, Ivanovo, Postgraduate Student of FSE All-Russian SRFS Emercome RF, Balashikha, Russia

The article is devoted to analysis of Russia and foreign normative acts regarding the assessment of fire hazard multifunctional public buildings with the presence of the atrium. Pointed out the lack of development of Russian normative base for multi-fire valuation of multifunctional public buildings with atriums. Conclusions are made.

Keywords: multipurpose public buildings; fire hazard; normative requirements; atrium.

Supporting Safety of People under Fires in Buildings by the Use of the Respiratory Protective Devices. Part 3. Results of Tests and Their Arguing

Zaikin S. V., Chief of Engineering and Design Department of CJSC "Teploognezashchita", Sergiev Posad, Russia

Bushmanov S. A., Postgraduate Student of the Department Fire Safety at Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

Parfenenko A. P., Postgraduate Student of Academy of State Fire Fighting Service of Emercome RF, Moscow, Russia

Belosokhov I. R., Postgraduate Student of Academy of State Fire Fighting Service of Emercome RF, Moscow, Russia

Given the description and method of the experiment on the use of respiratory protective devices (RPD) for people who self-evacuated from the building during the fire, which, under the Federal Law "Technical Regulation on Requirements Fire Safety" No. 123-FL, should equipped buildings and facilities of the functional classes of fire hazard F1.1, F1.2, F2.1, F2.2, F3.1, F3.2, F3.4, F4.1, F4.2, F4.3, F5.1.

Keywords: RPD; evacuation; rescue; the actual time and required time evacuation of the people during a fire.

ABSTRACTS

The Paradoxes of Safe Buildings Evacuation Regulations and Their Resolution

Kholshchevnikov V. V., Dr. of Technics, Professor of Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

Samoshin D. A., Cand. of Technics, Academy of State Fire Fighting Service of Emercome RF, Moscow, Russia

Belosovkhov I. R., Postgraduate Student of Academy of State Fire Fighting Service of Emercome RF, Moscow, Russia

Istratov R. N., Postgraduate Student of Academy of State Fire Fighting Service of Emercome RF, Moscow, Russia

Kudrin I. S., Postgraduate Student of Academy of State Fire Fighting Service of Emercome RF, Moscow, Russia

Parfenenko A. P., Postgraduate Student of Academy of State Fire Fighting Service of Emercome RF, Moscow, Russia

Occupant fire evacuation is a natural protection process caused by dangerous fire factors which spread intensively along escape route. Undertaken analysis of dangerous fire factors dynamic revealed that main directions of safe evacuation in various buildings are: application of high-efficient and reliable active fire protection systems; appropriate organization of evacuation for every particular case considering human flow movement laws and psychophysical potential of human behavior who is main functional contingent in the building. The demerits of code's provisions for fire protection of escape routes by active fire protection systems and knowledge about behavior law during evacuation of psychophysiological weak contingent of people are shown. Data about beginning of observations of behavior this contingent in practical evacuation conditions is presented. Lack of set of rules 1.13130.2009: "Routes of escape and exits" is noted in the article. Shortages for guarantee human safety during evacuation in comparison with position of "Methods of determination of calculated value of fire risk in the buildings and constructions of different classes functional fire hazard" are presented.

Keywords: evacuation; dangerous fire factors; active fire protection systems; system reliability; fire risk; human safety.

About Fire Statistics and Fire Risks

Brushlinskiy N. N., Dr. of Technics, Professor, Chief of SIC of Complex Systems Safety Control of Academy of State Fire Fighting Service of Emercome RF, Moscow, Russia

Sokolov S. V., Dr. of Technics, Professor, Professor of Academy of State Fire Fighting Service of Emercome RF, Moscow, Russia

Necessity of using fire statistics to determine fire risks values and fallibility of individual fire risk permissible value in Russian are shown.

Keywords: fire statistics; fire risk; permissible value.

Extinction of Fires of Motor Fuel European Standard by Law Expansion Foam

Voevoda S. S., Dr. of Technics, Head of Department of Academy of State Fire Fighting Service of Emercome RF, Moscow, Russia

Makarov C. A., Cand. of Technics, Senior Research Assistant of Academy of State Fire Fighting Service of Emercome RF, Moscow, Russia

Molchanov V. P., Dr. of Technics, Professor of Academy of State Fire Fighting Service of Emercome RF, Moscow, Russia

Bastrikov D. L., Postgraduate Student of Academy of State Fire Fighting Service of Emercome RF, Moscow, Russia

Krutov M. A., Postgraduate Student of Academy of State Fire Fighting Service of Emercome RF, Moscow, Russia

In article research mechanism of extinction mixed fuels foam concentrate, containing a polymer stabilizer. The process of flowing of foam with the polymeric component that is the part of foaming agent at application on a fuel layer is considered. Influence of concentration of a polymeric component on thermal stability of foam and on thickness of foamy layer is investigated.

Keywords: foam concentration; film foam; fuel.

Thermooxidizing Destruction of Foamers Based on Salts of Alkylsulfates

Lebedeva N. Sh., Dr. of Chemistry, Associated Professor, Leading Research Assistant of Institution of Russian Academy of Sciences Institute of Solution Chemistry of the RAS, Lecturer of Ivanovo Institute of SFS of Emercome RF, Ivanovo, Russia

Mal'kova E. A., Cand. of Chemistry, Low Research Assistant of Institution of Russian Academy of Sciences Institute of Solution Chemistry of the RAS, Ivanovo, Russia

Potemkina O. V., Cand. of Chemistry, Deputy Head of Ivanovo Institute of SFS of Emercome RF, Ivanovo, Russia

Malyi I. A., Cand. of Technics, Head of Ivanovo Institute of SFS of Emercome RF, Ivanovo, Russia

This work is devoted to research of thermooxidizing destruction of two types foamers which are based on triethanolamine salts of alkylsulfates, and sodium salts of alkylsulfates. Kinetic stability of investigated foamers and combustion products at the every steps of thermodestruction were defined. It is established that the most ecological risk cause foamers based on sodium salts of alkylsulfates.

Keywords: foamers; thermooxidized destruction; thermogravimetry; kinetic stability; IR-spectroscopy.

Председатель Редакционного совета:

д.т.н., профессор, академик МАНЭБ
А. Я. Корольченко

Зам. председателя Редакционного совета:

д.т.н., профессор, член-корреспондент НАНПБ
Ю. М. Глуховенко

д.т.н., профессор, академик Нью-Йоркской академии наук
В. В. Мольков

д.т.н., профессор В. П. Назаров

Редакционный совет:

д.т.н., профессор, действительный член НАНПБ,
заслуженный деятель науки РФ А. Н. Баратов

д.т.н., профессор Н. М. Барбин

д.т.н., профессор, академик РАЕН,
заслуженный деятель науки РФ Н. Н. Брушинский

к.т.н., профессор Е. Е. Кирюхантцев

к.т.н. Д. А. Корольченко

к.т.н. В. А. Меркулов

д.т.н., профессор, академик РАЕН
А. В. Мишуев

д.т.н., профессор, действительный член НАНПБ
В. М. Ройтман

д.т.н., профессор,
действительный член НАНПБ Б. Б. Серков

д.т.н., профессор, член-корреспондент НАНПБ
С. В. Пузач

д.т.н., профессор, академик РАЕН, НАНПБ
Н. Г. Топольский

д.т.н., член-корреспондент МАНЭБ
Н. А. Тычино

д.т.н., профессор, действительный член НАНПБ
Ю. Н. Шебеко

профессор Т. Дж. Шилдс

д.т.н., профессор, академик и почетный член РАЕН
В. В. Холщевников

Редакция:

Главный редактор журнала

д.т.н., профессор, академик МАНЭБ
А. Я. Корольченко

Шеф-редактор
Н. Н. Соколова

Редактор
Л. В. Крылова

Отдел рекламы и распространения:
Е. В. Майорова

Chairman of Editorial Council:

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Academician of International Academy of Ecology and Life Safety A. Ya. Korolchenko

Deputy of Chairman of Editorial Council:

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Corresponding Member of the National Academy of Fire Science Yu. M. Gluhovenko

Dr.Sc.(Eng.), Professor, an Active Member of the New-York Academy of Sciences V. V. Molkov

Dr.Sc.(Eng.), Professor V. P. Nazarov

Editorial Council:

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Full Member of National Academy of Fire Science, the Honoured Scientist of the Russian Federation A. N. Baratov

Dr.Sc.(Eng.), Professor N. M. Barbin

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, the Honoured Scientist of the Russian Federation N. N. Brushlinsky

Cand.Sc.(Eng.), Professor E. E. Kiryuhantsev

Cand.Sc.(Eng.) D. A. Korolchenko

Cand.Sc.(Eng.) V. A. Merkulov

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences A. V. Mishuev

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Full Member of National Academy V. M. Roitman

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Full Member of National Academy of Fire Science B. B. Serkov

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Corresponding Member of the National Academy of Fire Science S. V. Puzach

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, National Academy of Fire Science N. G. Topolskiy

Dr.Sc.(Eng.), Corresponding Member of International Academy of Ecology and Life Safety N. A. Tyichino

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Full Member of National Academy of Fire Science Yu. N. Shebeko

Professor Thomas Jim Shields

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Academician and the Honoured Member of the Russian Academy of Natural Sciences V. V. Kholshchevnikov

Editorial Office:

Deputy Editor-in-Chief

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Academician of International Academy of Ecology and Life Safety A. Ya. Korolchenko

Editor-in-Chief
N. N. Sokolova

Editor
L. V. Krylova

PR and Subscription Section:
E. V. Maiorova

Учредитель – ООО “Издательство “Пожнauка”

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

121352, г. Москва, а/я 43

E-mail: mail@firepress.ru, izdat_pozhnauka@mail.ru

http://www.firepress.ru

ISSN 0869-7493



9 770869 749006

Подписано в печать 11.04.11.

Формат 60×84 1/8. Тираж 5000 экз.

Бумага офсетная №1. Печать офсетная.

Отпечатано в типографии “ГранПри”, г. Рыбинск

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Здравствуйте, наши дорогие читатели!

Издательство “Пожнauка” предлагает Вам оформить годовую или полугодовую подписку на журналы “Пожаровзрывобезопасность” и “Пожарная безопасность в строительстве” на 2011 г.

Подписка на полугодие включает в себя шесть номеров журнала “Пожаровзрывобезопасность” и три номера журнала “Пожарная безопасность в строительстве”. Стоимость полугодовой подписки на комплект составляет 3790 руб.

Годовая подписка включает в себя двенадцать номеров журнала “Пожаровзрывобезопасность” и шесть номеров журнала “Пожарная безопасность в строительстве”. Стоимость годовой подписки на комплект составляет 7580 руб.



ПЕРСОНАЛЬНАЯ ПОДПИСКА на журнал пожаровзрыво- БЕЗОПАСНОСТЬ КУПОН '2011

Издание	Цена подписки, руб.	Количество экземпляров	Стоимость подписки, руб.
Комплект журналов “Пожаровзрывобезопасность” и “Пожарная безопасность в строительстве”: полугодие год	3790 7580		
Журнал “Пожарная безопасность в строительстве”: полугодие год	1140 2280		

- Укажите в таблице количество экземпляров, которое Вам необходимо. В связи с введением обязательного составления счетов-фактур при совершении операций по реализации просим заполнить карточку на обороте купона. Эти сведения необходимы для подготовки и высылки Вам счета-фактуры.
- Заполненный купон и копию платежного поручения вышлите по тел./факсу (495) 737 65 74 или по e-mail: mail@firepress.ru в отдел распространения. Проследите, пожалуйста, чтобы были высланы **обе стороны** купона.
- Оплату за подписку Вы можете произвести по следующим реквизитам:
ООО “Издательство “ПОЖНАУКА”
Почтовый адрес: 121357, г. Москва, а/я 43
ИНН / КПП 7731652572 / 773101001
Р/с 40702810930130056301 в ОАО “Промсвязьбанк” г. Москва
К/с 30101810600000000119
БИК 044583119
Главный редактор — Корольченко Александр Яковлевич

**По вопросам подписки прошу обращаться по телефонам
(495) 228-09-03, 737-65-74**

ПОДПИСКА:

через ООО “Издательство “Пожнauка”;

через агентство “РОСПЕЧАТЬ”, индекс 83340;

через агентство “АПР”, индекс 83647

(в любом почтовом отделении в каталоге “Газеты и журналы”);

через подписные агентства:

ООО “Интер-почтa”, ООО “Урал-Пресс XXI”,

ООО “Артос-ГАЛ”, ООО “Информнаука”, ЗАО “МК-ПЕРИОДИКА”

Вы можете также отдельно подписатьсь на журнал "Пожарная безопасность в строительстве".

Стоимость полугодовой подписки (три номера) составляет 1140 руб. Стоимость годовой подписки (шесть номеров) составляет 2280 руб.

Расширяя тематику журнала, в 2011 г. редакция планирует увеличить количество обзоров, посвященных состоянию отечественного рынка средств обеспечения пожарной безопасности. В журнале также будут опубликованы тексты основных нормативных документов в сфере пожарной безопасности и комментарии ведущих специалистов к ним, даны необходимые пояснения.

**Редакция с благодарностью примет все замечания и пожелания
по тематике журнала и содержанию публикуемого материала.
Надеемся на длительное и плодотворное сотрудничество!**



Карточка учета сведений о подписчике

Полное наименование фирмы (в соответствии с учредительными документами)	
Идентификационный номер (ИНН)	
Код отрасли по ОКОНХ	
Код отрасли по ОКПО	
Полное наименование банка	
Местонахождение банка	
БИК	
Расчетный счет	
Корсчет	
Юридический адрес (в соответствии с учредительными документами)	
Фактический адрес	
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС	
Индекс	
Область, край	
Город	
Улица	
Дом	
Телефон	
Факс	
Контактное лицо	
Телефон контактного лица	



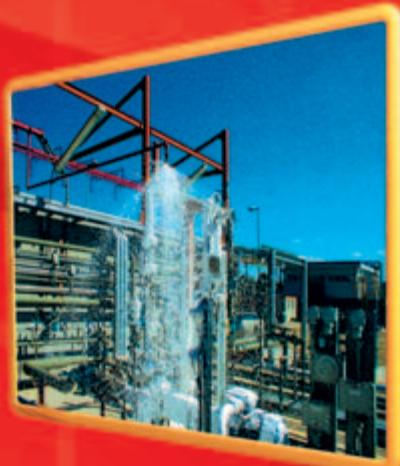
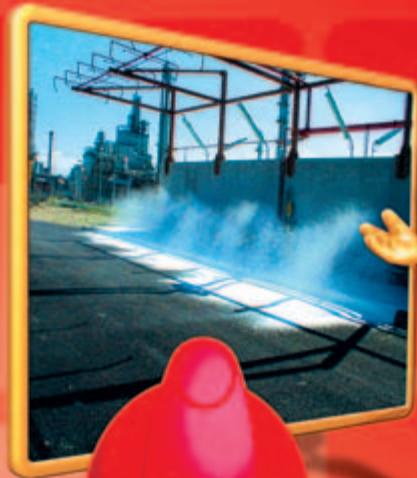
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ КОМПАНИЯ

121352, г. Москва,
ул. Давыдковская, д. 12, стр. 3
Тел./факс: (495) 735-28-13
E-mail: gefest-fire@mail.ru
www.gefestnpk.ru

ПЕНООБРАЗОВАТЕЛИ ДЛЯ ПОЖАРОТУШЕНИЯ

Шторм-М 3/6

**высокоэффективный
пленкообразующий
синтетический
фторсодержащий
пенообразователь
типа АFFF специального назначения
для получения пены низкой, средней
и высокой кратности.**



Низкая кратность способствует быстрому образованию водяной пленки, которая самопроизвольно растекается по поверхности. Пенообразователь может подаваться на большие расстояния и использоваться со стандартной российской техникой для получения пены средней кратности. С помощью пенообразователя можно получать пену высокой кратности на генераторах без принудительного наддува, это придает ему универсальность использования.

ISSN 0869-7493



9 770869 749006

РЕКЛАМА