

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

9'2011

Нормирование времени прибытия пожарных подразделений к месту пожара

Применение тонкораспыленной воды для тушения пожаров в высотных зданиях

Разработка метода оценки пожарных рисков твердых горючих веществ и материалов на производственных и складских объектах



Идеальное моделирование — основа совершенствования системы противопожарной защиты предприятий

Рекурсивное прогнозирование сплайнами в среднесрочном прогнозе

Огнезащитные составы для древесины на основе продуктов аминолиза полиэтилентерефталатаmonoэтаноламином



Пожнаука

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ

Том 20 • № 9 • 2011 FIRE & EXPLOSION SAFETY

Научно-технический журнал
ООО "Издательство "Пожнаука"

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

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

ПРОЦЕССЫ ГОРЕНИЯ

Глушков Д. О., Стрижак П. А. Зажигание полимерного материала одиночной, нагретой до высоких температур частицей

3

COMBUSTION PROCESSES

Glushkov D. O., Strizhak P. A. Ignition of a Polymer Material by a Single Particle Heated Till High Temperature

ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТЬ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

**Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Алексеев К. С.,
Орлов С. А.** Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. IV. Простые эфиры

9

FIRE-AND-EXPLOSION HAZARD OF SUBSTANCES AND MATERIALS

**Alexeev S. G., Barbin N. M., Alexeev K. S.,
Orlov S. A.** Correlation of Fire Hazard Indexes with Chemical Structure. IV. Ethers

Барботко С. Л., Изотова Т. Ф. Влияние структуры стеклопластика на тепловыделение при горении

17

Barbotko S. L., Izotova T. F. The Influence of Fiberglass Structure on Heat Release Rate

ОГНЕЗАЩИТА

Тимофеева С. В., Малысова А. С., Хелевина О. Г. Материалы пониженной пожарной опасности с покрытием на основе жидких силоксановых каучуков, отверженным методом полиприсоединения

22

FIRE RETARDANCE

Timofeyeva S. V., Malyasova A. S., Khelevina O. G. Materials with Lowering of Fire Danger on the Base Liquid Siloxan Rubbers with Covering Vulcanizing by Method of Polyaddition

Балакин В. М., Стародубцев А. В., Красильникова М. А., Киселева А. П. Огнезащитные составы для древесины на основе продуктов аминолиза полиэтилентерефталатаmonoэтаноламином

26

Balakin V. M., Starodubtsev A. V., Krasilnikova M. A., Kiseleva A. P. Retardants for Wood-Based Products Aminolysis of Pet by Monoethanolamine

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЖАРОВ

Некрасов А. В., Калач А. В., Исаев А. А. Идеальное моделирование — основа совершенствования системы противопожарной защиты предприятий

31

FIRE MODELING

Nekrasov A. V., Kalach A. V., Isaev A. A. Ideal Modeling — the Basis of Improvement of Systems of Fire-Prevention Protection of Enterprises

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ, ОБЪЕКТОВ

Бакиров И. К. Разработка метода оценки пожарных рисков твердых горючих веществ и материалов на производственных и складских объектах

35

FIRE SAFETY OF BUILDINGS, STRUCTURES, OBJECTS

Bakirov I. K. Working of the Evaluation Method of Fire Risks of Solid Combustible Substances and Materials of Manufacturing and Storage Facilities

СТАТИСТИКА И АНАЛИЗ ПОЖАРОВ

Брушинский Н. Н., Соколов С. В. О нормировании времени прибытия пожарных подразделений к месту пожара

42

STATISTIC AND ANALYZE OF FIRE

Brushlinskiy N. N., Sokolov S. V. About Regulations of Response Time of Fire Services

Кайбичев И. А. Рекурсивное прогнозирование сплайнами в среднесрочном прогнозе

49

Kaibitchev I. A. Recursive Splain Forecasting in Middle Period Forecast

ТУШЕНИЕ ПОЖАРОВ

Корольченко Д. А., Громовой В. Ю., Ворогушин О. О. Применение тонкораспыленной воды для тушения пожаров в высотных зданиях

54

FIRE EXTINGUISHING

Korolchenko D. A., Gromovoy V. Yu., Vorogushin O. O. Fire Extinguishing in Tall Buildings by Using Water Mist Systems

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ. СПРАВОЧНИК

58

FIRE-AND-EXPLOSION SAFETY. REFERENCE BOOK

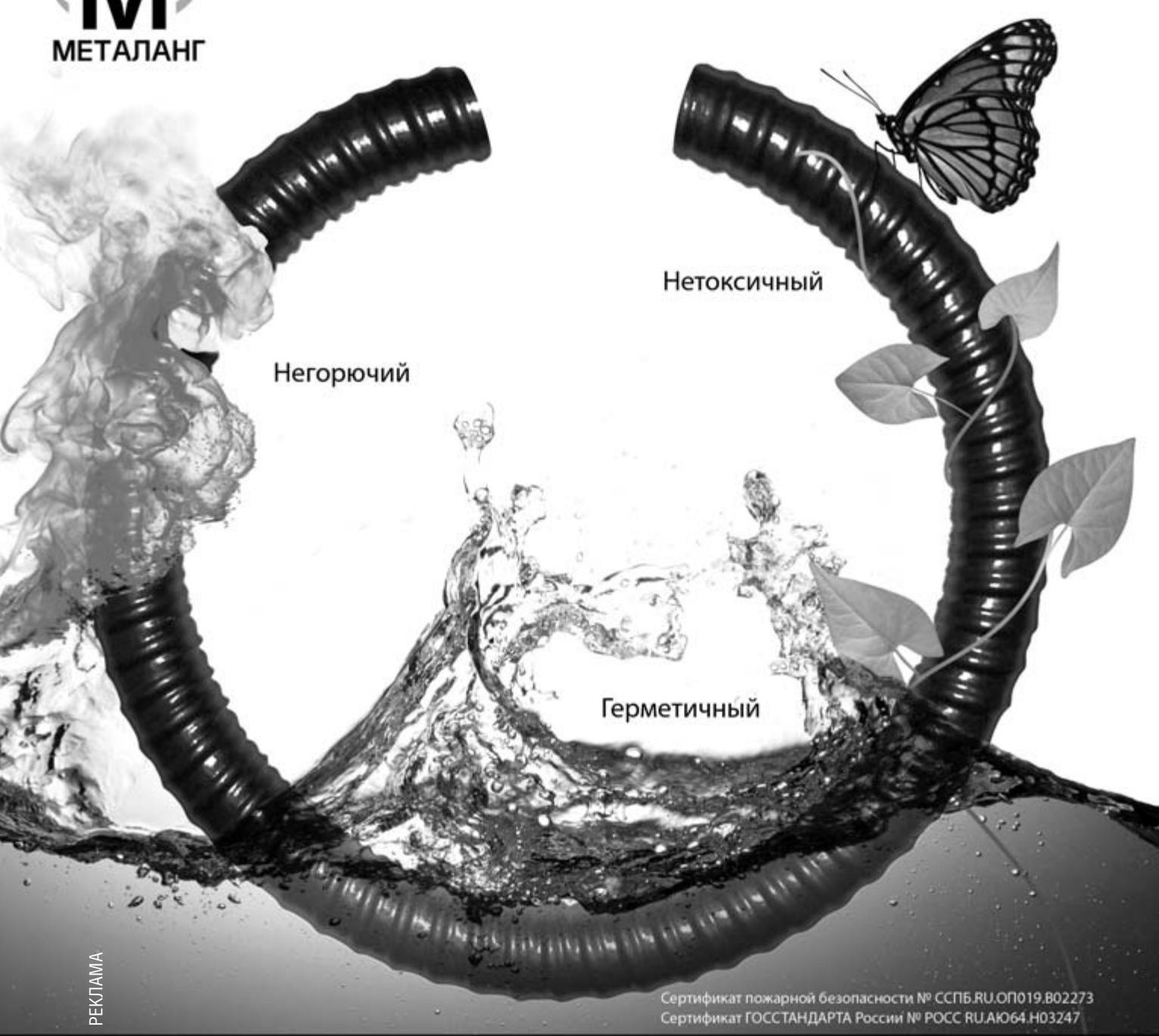
Журнал включен в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК России для публикации трудов соискателей ученых степеней, в Реферативный журнал и Базы данных ВИНИТИ РАН.

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

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



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

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

**Д. О. Глушкин**

аспирант Национального исследовательского
Томского политехнического университета,
г. Томск, Россия

**П. А. Стрижак**

канд. физ.-мат. наук, доцент Национального
исследовательского Томского политехни-
ческого университета, г. Томск, Россия

УДК 536.468

ЗАЖИГАНИЕ ПОЛИМЕРНОГО МАТЕРИАЛА ОДИНОЧНОЙ, НАГРЕТОЙ ДО ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР ЧАСТИЦЕЙ

Выполнено численное исследование закономерностей зажигания полимерного материала одиночной "горячей" частицей металла в рамках газофазной модели зажигания, учитывающей процессы теплопроводности, пиролиза вещества и диффузии продуктов газификации в среде окислителя. Установлены зависимости времени задержки зажигания полимерного материала от начальной температуры и размеров локального источника энергии. Определены минимальные значения начальной температуры и размеров частицы, при которых реализуются условия зажигания.

Ключевые слова: зажигание; полимерный материал; частица; пожарная опасность.

Введение

Зажигание конденсированных веществ одиночными, нагретыми до высоких температур частицами рассматривалось еще в середине прошлого столетия [1] как один из возможных на практике механизмов зажигания. Но только в последние шесть лет опубликованы результаты экспериментальных и теоретических исследований [2–11], подтверждающие возможность и условия реализации такого механизма инициирования процесса горения для большой группы материалов и веществ. Так, например, экспериментально установлены условия зажигания смесевых твердых топливных композиций [2] и жидкых топлив [3, 4] одиночными "горячими" частицами. Разработаны математические модели зажигания одиночными частицами твердых топлив [5–7], лесных горючих материалов [8], жидкых топлив [9–11] и исследованы основные закономерности этих процессов в достаточно широком диапазоне изменения параметров, характеризующих условия протекания процессов тепломассопереноса, предшествующих зажиганию конденсированных веществ.

Однако математические модели инициирования горения одиночной частицей сформулированы только для условий твердофазных [5–7] и газофазных [8] реакций зажигания древесины, а также жидкых топлив [9–11]. Модели [5–11] описывают процессы, приводящие к горению материалов и веществ с высокой теплотворной способностью.

В то же время, несомненно, большую пожарную опасность представляют многие полимерные материалы (ПМ), отличающиеся по своим характеристикам от объектов исследований [2–11]. ПМ широко используются в разных сферах и во многих случаях не способны гореть без дополнительного подвода энергии или высокой концентрации окислителя [12, 13]. Условия зажигания таких материалов одиночными частицами до настоящего времени не исследованы.

Целью настоящей работы является математическое моделирование процесса газофазного зажигания типичного полимерного материала с относительно низкой теплотворной способностью, который может гореть совместно с высококалорийными горючими веществами и материалами в условиях дополнительного подвода энергии.

Постановка задачи

Выполнены численные исследования для системы *одиночная нагретая металлическая частица – полимерный материал – окислитель*, представленной на рис. 1. Предполагалось, что локальный источник энергии — разогретая до высоких температур стальная частица в форме параллелепипеда малых размеров выпадает на поверхность типично-го полимерного материала — полистирола, припoverхностный слой которого прогревается. При достижении условий пиролиза ПМ вблизи нижней грани источника энергии начинается процесс гази-

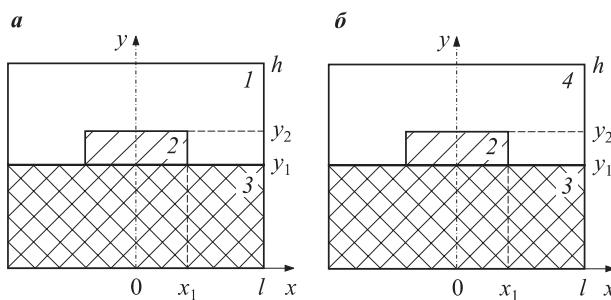


Рис. 1. Схема областей решения задачи в начальный ($t = 0$) момент времени (a) и при $0 < t < t_d$ (б): 1 — воздух; 2 — стальная частица; 3 — ПМ; 4 — смесь продуктов газификации с окислителем

фикации вещества. За счет диффузионного массопереноса компоненты термического разложения перемешиваются с окислителем и нагреваются. Формируется газовая смесь, состоящая из окислителя (воздуха) и продуктов газификации ПМ. При достижении предельных значений концентрации компонентов и температуры газовой смеси реакция окисления ускоряется, и в результате происходит газофазное зажигание.

При численном анализе исследуемого процесса приняты допущения, не накладывающие существенных ограничений на общность постановки задачи.

1. Перенос продуктов газификации ПМ в среде окислителя происходит за счет диффузии. Не учитывается конвекция газообразных продуктов разложения ПМ в воздухе.

2. Газоприход с участка поверхности, закрытого частицей ($y = y_1$, $0 < x < x_1$), распределяется в непосредственной близости от источника тепла.

3. В результате газификации ПМ образуется одно вещество с известными характеристиками.

4. Теплофизические характеристики материала частицы и полимера не зависят от температуры.

5. Контакт между частицей и веществом идеален. Не учитывается возможное образование газового зазора между ПМ и частицей.

6. Не учитываются возможные процессы выгорания ПМ и кристаллизации источника зажигания.

В качестве условий зажигания для рассматриваемой газофазной модели принятые следующие [14]:

- тепло, выделяемое в результате химической реакции окисления компонентов термического разложения ПМ, больше тепла, передаваемого от источника энергии веществу и газовой смеси;
- температура смеси продуктов газификации ПМ с окислителем превышает начальную температуру “горячей” частицы.

Математическая модель и метод решения

Задача решена в декартовой системе координат в осесимметричной постановке (см. рис. 1). Комп-

лекс процессов тепломассопереноса с фазовыми переходами и химическим реагированием при зажигании ПМ “горячей” стальной частицей при $0 \leq t \leq t_d$ описывается следующей системой нелинейных нестационарных дифференциальных уравнений:

- уравнение энергии для смеси окислителя с компонентами термического разложения ПМ ($x_1 < x < l$, $y_1 < y < y_2$; $0 < x < l$, $y_2 < y < h$):

$$\rho_4 C_4 \frac{\partial T_4}{\partial t} = \lambda_4 \left(\frac{\partial^2 T_4}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_4}{\partial y^2} \right) + Q_o W_o; \quad (1)$$

$$W_o = \rho_4 C_o C_r k_4^0 \exp \left(-\frac{E_4}{RT_4} \right);$$

- уравнение теплопроводности для стальной частицы ($0 < x < x_1$, $y_1 < y < y_2$):

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

- уравнение энергии для ПМ ($0 < x < l$, $0 < y < y_1$):

$$\rho_3 C_3 \frac{\partial T_3}{\partial t} = \lambda_3 \left(\frac{\partial^2 T_3}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_3}{\partial y^2} \right) + Q_3 W_3; \quad (3)$$

$$W_3 = \varphi_3 \rho_3 k_3^0 \exp \left(-\frac{E_3}{RT_3} \right);$$

- уравнение диффузии компонентов термического разложения в среде окислителя ($x_1 < x < l$, $y_1 < y < y_2$; $0 < x < l$, $y_2 < y < h$):

$$\rho_4 \frac{\partial C_r}{\partial t} = \rho_4 D_4 \left(\frac{\partial^2 C_r}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C_r}{\partial y^2} \right) - W_o; \quad (4)$$

- уравнение баланса смеси окислителя с компонентами термического разложения ($x_1 < x < l$, $y_1 < y < y_2$; $0 < x < l$, $y_2 < y < h$):

$$C_r + C_o = 1. \quad (5)$$

В системе уравнений (1)–(5) приняты следующие обозначения: ρ_i — плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$; C_i — удельная теплоемкость, $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$; T_i — текущее значение температуры i -го компонента системы, К ; λ_i — коэффициент теплопроводности, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$; Q_o — тепловой эффект химической реакции окисления, $\text{МДж}/\text{кг}$; W_o — массовая скорость химической реакции окисления, $\text{кг}/(\text{м}^3\cdot\text{с})$; C_o — массовая концентрация окислителя; C_r — массовая концентрация компонентов термического разложения ($0 < C_r < 1$); k_3^0 , k_4^0 — предэкспоненциальные множители, с^{-1} ; E_4 — энергия активации химической реакции окисления, $\text{кДж}/\text{моль}$; R — универсальная газовая постоянная, $\text{Дж}/(\text{моль}\cdot\text{К})$; Q_3 — теплота газификации, $\text{МДж}/\text{кг}$; W_3 — массовая скорость реакции термического разложения, $\text{кг}/(\text{м}^3\cdot\text{с})$; φ_3 — текущее значение объемной доли вещества, способной к химическому реа-

гированию; E_3 — энергия активации химической реакции газификации, кДж/моль; D_4 — коэффициент диффузии компонентов термического разложения вещества в воздухе, м²/с; индексы “1”, “2”, “3”, “4” соответствуют воздуху, стальной частице, ПМ, смеси воздуха с продуктами термического разложения вещества.

Начальные условия (см. рис. 1, а) при $t = 0$:
 $0 < x < l$, $0 < y < y_1$:

$$T_3 = T_0, \varphi = \varphi_0;$$

$0 < x < x_1$, $y_1 < y < y_2$:

$$T_2 = T_p;$$

$x_1 < x < l$, $y_1 < y < y_2$; $0 < x < l$, $y_2 < y < h$:

$$T_1 = T_0, C_r = 0.$$

Здесь φ_0 — объемная доля компонента, способная термически разлагаться; T_0 — начальная температура в системе, К; T_p — начальная температура “горячей” стальной частицы, К.

Границные условия (см. рис. 1, б) при $0 \leq t \leq t_d$:
 $x = 0$, $x = l$, $0 < y < y_1$:

$$\partial T_3 / \partial x = 0;$$

$x = 0$, $y_2 < y < h$; $x = l$, $y_1 < y < h$:

$$\begin{cases} \partial T_4 / \partial x = 0, \\ \partial C_r / \partial x = 0; \end{cases}$$

$y = 0$, $0 < x < l$:

$$\partial T_3 / \partial y = 0;$$

$y = h$, $0 < x < l$:

$$\begin{cases} \partial T_4 / \partial y = 0, \\ \partial C_r / \partial y = 0; \end{cases}$$

$x = x_1$, $y_1 < y < y_2$:

$$\begin{cases} -\lambda_2 (\partial T_2 / \partial x) = -\lambda_4 (\partial T_4 / \partial x), \\ T_2 = T_4, \\ \partial C_r / \partial x = 0; \end{cases}$$

$y = y_1$, $0 < x < x_1$:

$$\begin{cases} -\lambda_3 (\partial T_3 / \partial y) = -\lambda_2 (\partial T_2 / \partial y), \\ T_3 = T_2, \\ \partial C_r / \partial y = 0; \end{cases}$$

$y = y_2$, $0 < x < x_1$:

$$\begin{cases} -\lambda_2 (\partial T_2 / \partial y) = -\lambda_4 (\partial T_4 / \partial y), \\ T_2 = T_4, \\ \partial C_r / \partial y = 0; \end{cases}$$

$y = y_1$, $x_1 < x < l$:

$$\begin{cases} -\lambda_3 (\partial T_3 / \partial y) = -\lambda_4 (\partial T_4 / \partial y), \\ T_3 = T_4, \\ -\rho_4 D_4 (\partial C_r / \partial y) = W_r, \end{cases}$$

$$\text{где } W_r = \int_{y=0}^{y=y_1} \Phi_3 \rho_3 k_3^0 \exp\left(-\frac{E_3}{RT_3}\right) dy.$$

Скорость газификации ПМ на участке поверхности, закрытом частицей, определяется соотношением [10]:

$y = y_1$, $0 < x < x_1$:

$$W_r^\Sigma = \int_{x=0}^{x=x_1} W_r(x) dx. \quad (6)$$

Суммарный газоприход W_r^Σ распределяется в непосредственной близости от источника тепла согласно выражению [10]:

$y = y_1$, $x_1 < x < x_1 + 10h_x$:

$$W_r^S(x)_k = W_r(x)_k + \frac{1,1 - 0,1k}{10} W_r^\Sigma, \quad k = 1, 2, \dots, 10. \quad (7)$$

где $W_r^S(x)_k$ — суммарная скорость газификации полимера на k -м шаге вдоль оси x в окрестности частицы;

$W_r(x)_k$ — массовая скорость газификации ПМ на k -м шаге вдоль оси x без учета дополнительного газоприхода с участка поверхности, закрытого частицей.

Система дифференциальных уравнений (1)–(5), описывающих процессы тепломассопереноса при зажигании ПМ, с соответствующими начальными и граничными условиями решалась методом конечных разностей [15]. Для решения разностных аналогов дифференциальных уравнений использовался локально-одномерный метод [15]. Система одномерных разностных уравнений решалась методами итераций [16] и прогонки [15] с использованием неявной четырехточечной разностной схемы. Принимались следующие параметры разностной и временной сеток: шаг по пространственным координатам $\Delta x = \Delta y = 10^{-5}$ м, шаг по времени $\Delta t = 0,001$ с.

Результаты и обсуждение

Численные исследования выполнены при следующих значениях параметров [12, 13, 17]: начальная температура ПМ и воздуха $T_0 = 300$ К, стальной частицы $T_p = 1100 \div 2000$ К; температура начала пиролиза вещества $T_c = 600$ К; тепловой эффект реакции окисления компонентов термического разложения в воздухе $Q_o = 121$ МДж/кг; тепловой эффект реакции термического разложения вещества $Q_3 = 40$ МДж/кг; энергия активации реакции окисления $E_4 = 150$ кДж/моль; энергия активации реакции термического разложения $E_3 = 190$ кДж/моль; предэкспоненциальные множители $k_3^0 = 6,7 \cdot 10^8$ с⁻¹, $k_4^0 = 1 \cdot 10^9$ с⁻¹; объемная доля вещества, способная к химическому реагированию, $\varphi_3 = 1$; коэффициент диффузии компонентов термического разложения

Таблица 1. Времена задержки зажигания в системе *стальная частица – ПМ – воздух* в зависимости от начальной температуры частицы при $h_p = l_p = 2$ мм

T_p , К	2000	1900	1800	1700	1600	1500	1400	1300	1200	1100
t_d , с	0,106	0,116	0,129	0,154	0,194	0,249	0,345	0,549	1,181	Нет зажигания

Таблица 2. Времена задержки зажигания в системе *стальная частица – ПМ – воздух* в зависимости от размеров частицы при $T_p = 1300$ К

$h_p = l_p$, мм	3,2	2,8	2,4	2,0	1,6	1,2	0,8
t_d , с	0,485	0,496	0,515	0,549	0,623	0,845	Нет зажигания

в воздухе $D_4 = 7,83 \cdot 10^{-6}$ м²/с; размеры частицы $h_p = l_p = 2$ мм; размеры области решения $l = 10$ мм, $h = 20$ мм.

Теплофизические характеристики взаимодействующих веществ следующие:

$$\lambda_1 = 0,026 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К}); \rho_1 = 1,161 \text{ кг}/\text{м}^3;$$

$$C_1 = 1190 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К});$$

$$\lambda_2 = 50 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К}); \rho_2 = 7832 \text{ кг}/\text{м}^3;$$

$$C_2 = 471 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К});$$

$$\lambda_3 = 0,16 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К}); \rho_3 = 1080 \text{ кг}/\text{м}^3;$$

$$C_3 = 1380 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К});$$

$$\lambda_4 = 0,072 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К}); \rho_4 = 2,378 \text{ кг}/\text{м}^3;$$

$$C_4 = 3876 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К}).$$

В результате численного анализа установлена зависимость времени задержки зажигания полистирола t_d от начальной температуры T_p (табл. 1) и размеров “горячей” стальной частицы $h_p = l_p$ (табл. 2).

На основании результатов численного моделирования (см. табл. 1 и 2) можно сделать вывод о том, что при снижении начальной температуры частицы и уменьшении ее размеров время задержки зажигания возрастает, а при температурах ниже 1100 К при $h_p = l_p = 2$ мм и размере менее 0,8 мм при $T_p = 1300$ К в рассматриваемой системе (см. рис. 1) зажигания не происходит. Полученный результат можно объяснить тем, что при уменьшении начальной температуры и размеров стальной частицы снижается ее теплосодержание. При уменьшении размеров сокращается также площадь контакта локального источника энергии с веществом. Меньшее количество тепла передается ПМ, уменьшается зона его прогрева, менее интенсивно происходит газификация. Вследствие этого процессы тепломассопереноса в газовой и твердой фазах вблизи поверхности стальной частицы протекают менее интенсивно. В таких условиях увеличивается время задержки зажигания.

На рис. 2–5 представлены распределения температур и концентраций в выделенной расчетной области ($0 < x < l$, $0 < y < h$) в момент зажигания полистирола при попадании на его поверхность оди-

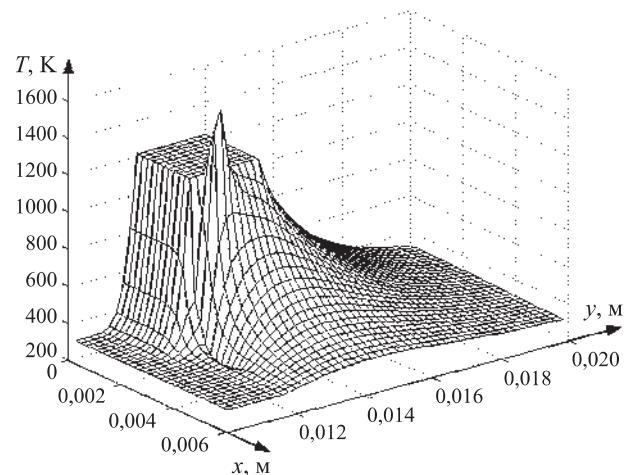


Рис. 2. Температурное поле системы *стальная частица – ПМ – воздух* в момент зажигания ($t_d = 0,549$ с) при $T_p = 1300$ К, $h_p = l_p = 2$ мм

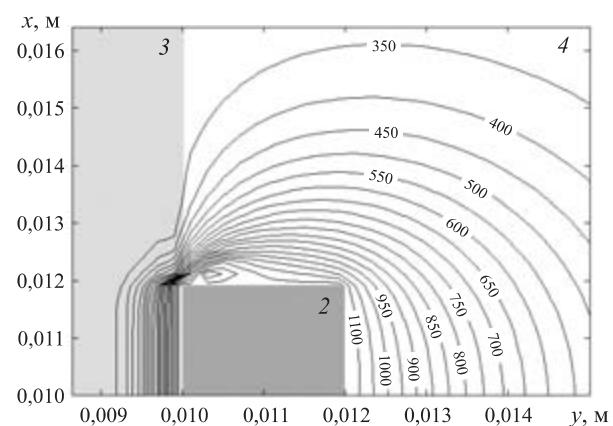


Рис. 3. Изотермы системы *стальная частица – ПМ – воздух* в момент зажигания ($t_d = 0,549$ с) при $T_p = 1300$ К, $h_p = l_p = 2$ мм: 2 — стальная частица; 3 — ПМ; 4 — смесь продуктов газификации с окислителем

ночной стальной частицы, нагретой до температуры $T_p = 1300$ К, размерами $h_p = l_p = 2$ мм.

Полученные распределения (см. рис. 2–5) показывают достаточно существенные отличия в условиях зажигания ПМ и жидкых топлив [9–11] при

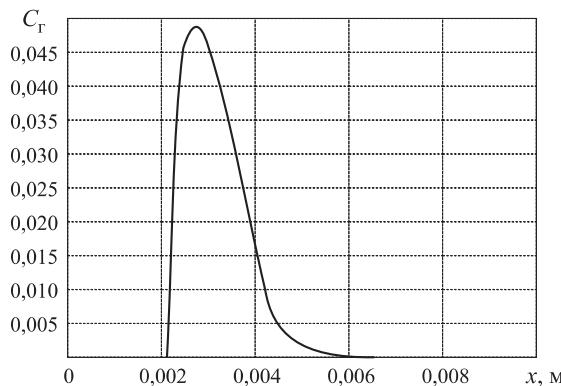


Рис. 4. Распределение концентрации горючего по x в момент зажигания ($t_d = 0,549$ с) при $y = 0,011$ м

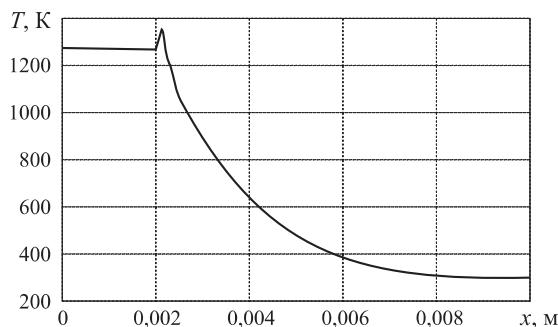


Рис. 5. Распределение температуры по x в момент зажигания ($t_d = 0,549$ с) при $y = 0,011$ м

близости газофазного механизма химического взаимодействия горючего и окислителя. Поэтому можно

сделать вывод о целесообразности более детального изучения условий зажигания ПМ при локальном нагреве с учетом специфики их газификации. При термическом разложении ПМ поглощается существенно меньшее количество теплоты по сравнению с жидкими топливами. При этом в процессе реакции взаимодействия газообразных продуктов пиролиза ПМ с воздухом выделяется намного меньше энергии, чем при горении паров жидких топлив.

Выводы

В результате численных исследований показана возможность зажигания ПМ типичным локальным источником энергии — одиночной, нагретой до высоких температур частицей малых размеров. Математическая модель, представленная в данной работе, может использоваться для изучения исследуемого процесса с целью прогнозирования последствий взаимодействия типичных и широко распространенных локальных источников ограниченного теплосодержания различной физической природы с полимерными материалами. Полученные результаты также могут служить основой для дальнейшего развития моделей зажигания твердых конденсированных веществ с относительно низкой теплотворной способностью.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации (МК-330.2010.8).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мак-Алеви Р. Ф., Кауан П. Л., Саммерфилд М. Механизм воспламенения смесевых твердых топлив горячими газами // Исследование ракетных двигателей на твердом топливе : сб. статей. — М. : Изд-во иностр. лит., 1963. — С. 397–415.
2. Захаревич А. В., Кузнецов В. Т., Кузнецов Г. В., Максимов В. И. Зажигание модельных смесевых топливных композиций одиночной нагретой до высоких температур частицей // Физика горения и взрыва. — 2008. — Т. 44, № 5. — С. 54–57.
3. Захаревич А. В., Кузнецов Г. В., Максимов В. И. Зажигание дизельного топлива одиночной “горячей” металлической частицей // Пожаровзрывобезопасность. — 2008. — Т. 17, № 4. — С. 28–30.
4. Захаревич А. В., Кузнецов Г. В., Максимов В. И. Механизм зажигания бензина одиночной нагретой до высоких температур частицей // Пожаровзрывобезопасность. — 2008. — Т. 17, № 5. — С. 39–42.
5. Кузнецов Г. В., Мамонтов Г. Я., Таратушкина Г. В. Зажигание конденсированного вещества частицей // Химическая физика. — 2004. — Т. 23, № 3. — С. 67–72.
6. Кузнецов Г. В., Мамонтов Г. Я., Таратушкина Г. В. Численное моделирование зажигания конденсированного вещества нагретой до высоких температур частицей // Физика горения и взрыва. — 2004. — Т. 40, № 1. — С. 78–85.
7. Буркина Р. С., Микова Е. А. Высокотемпературное зажигание реакционно-способного вещества горячей инертной частицей с конечным запасом тепла // Физика горения и взрыва. — 2009. — Т. 45, № 2. — С. 40–47.
8. Кузнецов Г. В., Барановский Н. В. Математическое моделирование зажигания слоя лесных горючих материалов нагретой до высоких температур частицей // Пожаровзрывобезопасность. — 2006. — Т. 15, № 4. — С. 42–46.

9. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Heat and mass transfer at the ignition of a liquid substance by a single "hot" particle // Journal of Engineering Thermophysics. — 2008. — Vol. 17, No. 3. — P. 244–252.
10. Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Зажигание накаленной одиночной частицей жидкых углеводородных топлив // Известия Томского политехнического университета. — 2008. — Т. 312, № 4. — С. 5–9.
11. Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Нагретые до высоких температур частицы металла как источники локальных возгораний жидких веществ // Пожарная безопасность. — 2008. — № 4. — С. 72–76.
12. Щеглов П. П., Иванников В. Л. Пожароопасность полимерных материалов. — М. : Стройиздат, 1992. — 110 с.
13. Асеева Р. М., Зайков Г. Е. Горение полимерных материалов. — М. : Наука, 1981. — 280 с.
14. Vilyunov V. N., Zarko V. E. Ignition of Solids. — Amsterdam : Elsevier Science Publishers, 1989. — 442 p.
15. Самарский А. А. Теория разностных схем. — М. : Наука, 1983. — 616 с.
16. Коздoba Л. А. Методы решения нелинейных задач теплопроводности. — М. : Наука, 1975. — 227 с.
17. Теплотехнический справочник / Под ред. В. Н. Юрненева, П. Д. Лебедева. — М. : Энергия, 1975. — Т. 1. — 743 с.

Материал поступил в редакцию 15 июня 2011 г.

Электронные адреса авторов: dmitriy-glushkov@yandex.ru; pavelspa@tpu.ru.



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу

А. Я. Корольченко, Д. О. Загорский

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



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

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

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



С. Г. Алексеев
канд. хим. наук, доцент,
начальник отдела Уральского
института ГПС МЧС РФ,
г. Екатеринбург, Россия



Н. М. Барбин
д-р техн. наук, канд. хим. наук,
заведующий кафедрой Ураль-
ского института ГПС МЧС РФ,
г. Екатеринбург, Россия



К. С. Алексеев
студент Уральского федераль-
ного университета им. Первого
Президента России Б. Н. Ельцина,
г. Екатеринбург, Россия



С. А. Орлов
канд. техн. наук, доцент, замести-
тель начальника Уральского инсти-
тута ГПС МЧС РФ по научной
работе, г. Екатеринбург, Россия

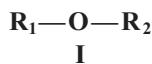
УДК 614.84:543.632.523

СВЯЗЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ С ХИМИЧЕСКИМ СТРОЕНИЕМ. IV. ПРОСТЫЕ ЭФИРЫ*¹

Найдены эмпирические формулы для определения физико-химических и пожароопасных свойств алифатических простых эфиров. Показано применение правила “углеродной цепи” и эффекта “функциональной группы” для прогнозирования физико-химических и пожароопасных свойств на примере простых эфиров.

Ключевые слова: простой эфир; правило; свойство; пожарная опасность; показатель.

Ранее нами было продемонстрировано действие правила “углеродной цепи” для прогноза пожароопасных свойств на примере алифатических спиртов и кетонов [1, 2]. В настоящей работе продолжено изучение области действия этого правила в ряду алифатических простых эфиров, которые описываются общей формулой (I):



Данные по физико-химическим свойствам и пожарной опасности для исследования взяты из электронных баз данных и справочной литературы [3–7] и сведены в табл. 1. Из табл. 1 видно, что замена атомов водорода в этиловом эфире^{*2} на атомы дейтерия практически не оказывается на изменении значений плотности, температур кипения и вспышки. Так, D₆-диметиловый эфир имеет температуру кипения, близкую к его водородному аналогу. Небольшие отличия в концентрационных пределах воспламенения (КПВ) этих соединений, очевидно, связаны с экспериментальными трудностями в их определении для горючих газов. Таким образом, можно предположить, что и другие физико-химические и пожароопасные свойства для D₆-диметилового и

D₁₀-этилового эфиров могут быть спрогнозированы на основании данных для их недействированных аналогов, приведенных в табл. 1.

Эффект “функциональной группы”, обнаруженный в гомологических рядах алифатических кетонов и спиртов [8, 9], проявляется и у простых эфиров. Как видно из табл. 1, перемещение оксигруппы по углеродной цепи молекулы несильно влияет на изменение показателей физико-химических и пожароопасных свойств простых эфиров.

Обработка данных табл. 1 с помощью программного пакета “TableCurve 2D” (версия 5.01) позволяет вывести эмпирические уравнения (1)–(25) (табл. 2), которые удовлетворительно описывают зависимости температур кипения $T_{\text{кип}}$ и вспышки $T_{\text{всп}}$, плотности D , критических температур $T_{\text{кр}}$ и давления $p_{\text{кр}}$, показателя преломления n_D , теплоты парообразования $H_{\text{пар}}$ и нижнего концентрационного предела $C_{\text{н}}$ от числа атомов углерода N_C (уравнения (1)–(25)), коэффициента β ^{*3} (уравнения (10)–(18)) и стехиометрической концентрации $C_{\text{стх}}$ ^{*4} (уравнения (19)–(25)) алифатических простых эфиров. Авторами также предложено уравнение (26), связывающее

*¹ Продолжение. Начало см. в № 5 за 2010 г., № 6 и 7 за 2011 г.

*² Синонимы: диэтиловый, медицинский, серный эфир, этоксиэтан.

*³ β — коэффициент перед кислородом в реакции горения: $\beta = N_C + N_H/4 - N_O/2$ [7, кн. 1, с. 28], где N_i — число атомов i -го элемента в молекуле простого эфира.

*⁴ Стехиометрическая концентрация кетона в сухом воздухе: $C_{\text{стх}} = 100/(1 + 4,76\beta)$.

Таблица 1. Справочные [3–7] и расчетные физико-химические и пожароопасные свойства линейных простых эфиров

Простой эфир	Номер эфира (ОУЦ)	Брутто-формула	Плотность, кг/м ³	Показатель преломления	Температура, К				Теплота, кДж/моль	Критическое давление, атм	КПВ, % (об.)		
					кипения	критическая	вспышки (з. т.)	самовоспламенения			нижний	верхний	
CH ₃	CH ₃	II (2)	C ₂ H ₆ O	668,4	1,3288; 1,3286; 1,3248; 1,3255	251; 248; 249; 250;	400; 400; 401	203; 232	240; 350	21,5; 21,9; 20,5	1463	52,6; 52,7; 52,9	3,4 18; 26,7; 27
CD ₃	CD ₃	III (2)	C ₂ D ₆ O	—	—	248,4	—	—	—	—	—	—	3,0 18,6
CH ₃	C ₂ H ₅	IV (3)	C ₃ H ₈ O	725,2	1,342; 1,3416; 1,3456; 1,3457; 1,3422	280; 284; 280; 281;	437,9; 437; 441; 436	215	190	24,5 23,8; 24,9; 24,4	2105	43,4; 43,3; 42,7; 44,3	2 10,1
C ₂ H ₅	C ₂ H ₅	IV (4)	C ₄ H ₁₀ O	713,5; 710	1,3556 1,3567; 736; 735; 734	307,8; 308; 310; 313; 309;	465,9; 472; 475; 473	228; 232; 233; 233;	160; 180	27,8; 27,5; 28,5; 28,4	2729	35,6; 35,8; 34,2 1,8;	1,9; 1,7; 48; 49
C ₂ D ₅	C ₂ D ₅	V (4)	C ₄ D ₁₀ O	714;	—	307,8;	—	233	—	—	—	—	1,7 36
CH ₃	C ₃ H ₇	VI (4)	C ₄ H ₁₀ O	735,6; 736; 735; 734	1,3584; 1,3567; 1,3604; 1,3603;	312,1; 312,2; 310; 313;	476,2; 472; 475; 473	<253;	—	26,8; 27,5; 28,5; 28,4	—	35,8; 34,2 1,8;	1,83; 1,9; 11,8
CH ₃	C ₄ H ₉	VII (5)	C ₅ H ₁₂ O	744,3; 741; 744	1,3736; 1,3704; 1,3719;	343; 344; 338;	513; 505; 503	263; 253; 255;	—	32,42; 32,2; 31,1;	—	33,6; 31,3; 31,6;	1,4 —
C ₂ H ₅	C ₃ H ₇	VIII (5)	C ₅ H ₁₂ O	738,6; 741; 742; 744	1,3695; 1,3704; 1,3719; 1,3717;	336,8; 336,7; 338; 338;	500; 505; 503	248; 254; 253;	—	32,1; 32,2; 31,1;	—	32,1; 31,3; 31,6;	1,4; 9;
C ₂ H ₅	C ₄ H ₉	IX (6)	C ₆ H ₁₄ O	752,2; 749; 750; 749	1,3818; 1,3817; 1,3812; 1,3813	363; 365; 365; 369;	540; 535; 532; 535	260; 272; 271; 273;	184	36,3; 35,7; 33,0; 35,0	—	29,3; 29,6; 30,8 1,2;	0,8; 1,2; 1,2;
C ₃ H ₇	C ₃ H ₇	X (6)	C ₆ H ₁₄ O	736; 749; 750; 749	1,3807; 1,3817; 1,3812; 1,3810;	362; 363,3; 365; 369;	528; 535; 532; 535	245; 271; 271; 273;	189	35,7; 35,7; 33,0;	—	29,3; 29,3; 29,6; 30,8	1,22; 1,2; 1,2; —

Продолжение табл. 1

Простой эфир		Номер эфира (ОУЦ)	Брутто-формула	Плотность, кг/м ³	Показатель преломления	Температура, К				Критическое давление, атм	КПВ, % (об.)	
R ₁	R ₂					кипения	критическая	вспышки (з. т.)	самовоспламенения		нижний	верхний
XI	(7)	C₇H₁₆O	757;	1,3911;	391;	563;	287;	—	37,7;	—	29,1;	1,0;
			758;	1,3892;	393;	557;	289;		34,2;		29,5	1,1
			759	1,3890;	392;	558	286;		37,4			
				1,3902	389		287;					285
C₄H₉	C₄H₉	XII	C₈H₁₈O	767;	1,3992;	414;	588;	298;	185;	44,99 ;	5293	29,71;
				764;	1,3988;	415;	588;	302;	160	38,8;		0,9;
				765;	1,3960;	415,7;	580;	304;		35,0;		0,9;
				767;	1,3959;	415;	587	300;		38,7		0,9
				766	1,3982	416;		301;				30,1
						414		299;				302
XIII	(9)	C₉H₂₀O	774;	1,4053;	438;	611;	316;	—	39,6;	—	30,9;	0,8;
			773;	1,4021;	437;	603;	317;		35,6;		29,9;	0,8
			775;	1,4020;	439;	610	313;		39,6		30,6	
			775	1,4054	438		314;					314
C₅H₁₁	C₅H₁₁	XIV	C₁₀H₂₂O	798,81;	1,41167;	461;	632;	330;	171	40,3;	—	31,4;
				782;	1,4107;	460,0;	623;	330		40,6;		0,7;
				781;	1,4075;	459;	631	(о.т.);		36,2;		30,1;
				783;	1,4104	460;		329;		40,6		0,8
				783		457;		325;				
						460		327;				
								326;				
								328				
XV	(11)	C₁₁H₂₄O	790;	1,4154;	479;	651;	340;	—	41,6;	—	30,7;	0,7;
			788;	1,4124;	481;	643;	341;		37,1;		29,2;	0,7
			791	1,4150	477;	650	337;		41,6		30,6	
					480;		338;					
					481		340					
C₆H₁₃	C₆H₁₃	XVI	C₁₂H₂₆O	803,5;	1,4183;	496;	667;	350;	185	42,9;	—	28,2;
				793;	1,4195;	506;	662;	351;		38,6;		0,6;
				797;	1,4169;	502;	666	350		43,0		26,7;
				795;	1,4170;	498;		(о.т.);				0,6
				798	1,4192	499;		351;				27,0
						495;		352;				0,7
						499		349;				
								348;				
								351;				
								354;				
XVII	(13)	C₁₃H₂₈O	805;	1,4230;	516;	681;	360;	—	44,4;	—	23,2;	0,6;
			802;	1,4210;	517;	680;	362;		40,8;		21,9;	0,6
			804;	1,4211;	513;	680	362		45,2		21,5	
			804	1,4229	515;							
					516							
C₇H₁₅	C₇H₁₅	XVIII	C₁₄H₃₀O	810;	1,4275;	531,7;	692;	369;	190	47,59;	—	14,8;
				810;	1,4261;	531;	692;	378;		46,2;		0,52;
				807;	1,4248;	532;	698	390		44,3;		15,2;
				811	1,4250;	530;		(о.т.);		46,3		0,5
						531		370;				14,2
								371;				0,6
								369;				
								369				

Окончание табл. 1

Простой эфир <i>R</i> ₁	Номер эфира (ОУЦ) <i>R</i> ₂	Брутто- формула	Плот- ность, кг/м ³	Показатель прелом- ления	Температура, К				Теплота, кДж/моль	Крити- ческое давле- ние, атм	КПВ, % (об.)	
					кипе- ния	крити- ческая	вспыш- ки (з. т.)	самовос- пламенения				
XIX (15)	<chem>C15H32O</chem>		815; 811; 815	1,4288; 1,4283; 1,4286; 1,4290	545; 546; 546	—	378; 380; 379; 379	—	48,1; 49,3; 49,0	—	—	0,5; 0,5
<chem>C8H17</chem>	<chem>C8H17</chem>	XX (16)	C ₁₆ H ₃₄ O	820,4; 806; 819; 814; 821	559; 559,7; 558; 562; 560	—	383; 384; 385; 385; 386; 390; 388	202; 205	50,5; 50,4; 56,4	—	—	0,5; 0,5
XXI (17)	<chem>C17H36O</chem>		—	1,4334; 1,4348; 1,4351; 1,4330	—	—	—	—	—	—	—	—
XXII (18)	<chem>C18H38O</chem>		—	1,4354; 1,4377; 1,4381; 1,4353	—	—	—	—	—	—	—	—
XXIII (19)	<chem>C19H40O</chem>		—	1,4372; 1,4405; 1,4410; 1,4377	—	—	—	—	—	—	—	—
<chem>C10H21</chem>	<chem>C10H21</chem>	XXIV (20)	<chem>C20H42O</chem>	816,7	1,44; 1,4388; 1,4431; 1,4436	—	—	—	—	—	—	—

П р и м е ч а н и я :

1. ОУЦ — основная углеродная цепь. Для линейных простых эфиров длина ОУЦ равна числу атомов углерода в молекуле.
2. Для интервалов температур приведены их среднеарифметические значения.
3. Выделенные полужирным значения показателей физико-химических и пожароопасных свойств соединений II–IV, VI, VIII–X, XII, XIV, XX и XXIV не учитывались при выводе уравнений (1)–(26).
4. Курсивом приведен прогноз по уравнениям (1)–(26), курсивом с подчеркиванием — по правилу “углеродной цепи”.

температуры вспышки и кипения (см. табл. 2). При выводе уравнений (1)–(26) не учитывались экспериментальные условия для определения физико-химических и пожароопасных свойств (атмосферное давление, температура окружающей среды и степень чистоты образцов для испытаний) из-за их полного или частичного отсутствия в справочных источниках [3–7]. Очевидно, этим и объясняется разброс в справочных данных по физико-химическим характеристикам и показателям пожарной опасности ряда соединений, который мы видим в табл. 1.

Интересно также отметить, что отечественные и зарубежные авторы [3–7] при описании пожаро-взрывоопасных свойств простых эфиров совсем не уделяют внимания их способности к образованию взрывчатых перекисных соединений при хранении и под воздействием солнечного света. Присутствие перекисных соединений в простых эфирах, безуслов-

но, повышает их взрыво- и пожароопасные свойства. Тем не менее нахождение эмпирических уравнений (1)–(26) говорит о существовании связи строение — свойство в ряду простых эфиров.

Ранее на примерах гексана, гептана и октана было отмечено, что замена метиленового фрагмента $-\text{CH}_2-$ на оксигруппу $-\text{O}-$ во 2-м положении молекулы практически не оказывается на изменении температуры кипения [10]. Принимая во внимание данный факт и найденные зависимости (1)–(26), а также учитывая существование эффекта “функциональной группы” в ряду простых эфиров, можно предположить, что их физико-химические и пожароопасные свойства могут быть предсказаны по соответствующим характеристикам алканов. Для проверки данной гипотезы нами была составлена табл. 3. Из сопоставления данных табл. 1 и 3 следует, что показатель преломления, температуры кипения и вспышки,

Таблица 2. Уравнения для прогнозирования физико-химических и пожароопасных свойств простых эфиров в зависимости от числа атомов углерода N_C , коэффициента перед кислородом в реакции горения β и стехиометрической концентрации C_{ctx}

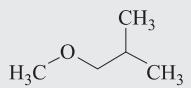
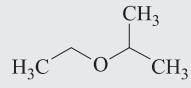
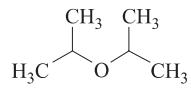
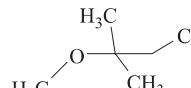
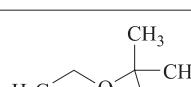
Показатель, ед. изм.	Уравнение	Номер уравнения	r^2	Область применения
Температура кипения, К	$T_{кип} = 34,72N_C - 0,70N_C^2 + 182$	(1)	0,9999	$2 \leq N_C \leq 16$
Критическая температура, К	$T_{kp} = 318,6 + 43,06N_C - 1,17N_C^2$	(2)	0,9964	$2 \leq N_C \leq 14$
Критическое давление, атм	$P_{kp} = -93,9 - 289,69N_C + 91,40N_C^{1,5} - 10,03N_C^2 + 358,89N_C^{0,5}$	(3)	0,9999	$4 \leq N_C \leq 16$
Плотность, кг/м ³	$D = 895,2 + 84,17N_C - 8,95N_C^{1,5} - 212,30N_C^{0,5}$	(4)	0,9909	$4 \leq N_C \leq 16$
Показатель преломления	$n_D = 1,473 - 0,749/N_C + 1,351/N_C^2 - 0,861/N_C^3$	(5)	0,9988	$2 \leq N_C \leq 20$
Теплота парообразования, кДж/моль	$H_{пар} = \frac{20,61 - 6,7876N_C + 0,8661N_C^2}{1 - 0,3450N_C + 0,0445N_C^2 - 0,00103N_C^3}$	(6)	0,9965	$2 \leq N_C \leq 16$
Температура вспышки, К	$T_{всп} = 10^4 N_C^{0,5} / (8,93N_C^{0,5} + 67,82)$	(7)	0,9941	$4 \leq N_C \leq 16$
	$T_{всп} = -0,5466N_C^2 + 23,447N_C + 149,68$	(8)	0,9952	$4 \leq N_C \leq 16$
Нижний концентрационный предел, % (об.)	$C_h = 0,03 + 6,975/N_C$	(9)	0,9951	$4 \leq N_C \leq 16$
Температура кипения, К	$T_{кип} = 186,7 + 21,76\beta - 0,19\beta^2 - 0,003\beta^3$	(10)	0,9993	$3 \leq \beta \leq 21$ $2 \leq N_C \leq 16$
Критическая температура, К	$T_{kp} = 104,44\beta^{0,5} + 218,9$	(11)	0,9944	$3 \leq \beta \leq 21$ $2 \leq N_C \leq 14$
Критическое давление, атм	$p_{kp} = 86,1 - 0,031\beta^3 + 1,168\beta^2 - 14,279\beta$	(12)	0,9990	$3 \leq \beta \leq 21$ $2 \leq N_C \leq 14$
Плотность, кг/м ³	$D = 719,3 + 0,739\beta + 0,374\beta^2 - 0,01\beta^3$	(13)	0,9908	$6 \leq \beta \leq 24$ $4 \leq N_C \leq 16$
Показатель преломления	$n_D = 0,0514 \ln \beta + 1,2683$	(14)	0,9933	$3 \leq \beta \leq 30$ $2 \leq N_C \leq 20$
Теплота парообразования, кДж/моль	$H_{пар} = (3,169 + 0,565\beta - 0,04\beta^2 + 0,001\beta^3)^2$	(15)	0,9909	$3 \leq \beta \leq 24$ $2 \leq N_C \leq 16$
Температура вспышки, К	$T_{всп} = 149,6 + 15,652\beta - 0,244\beta^2$	(16)	0,9946	$6 \leq \beta \leq 24$ $4 \leq N_C \leq 16$
	$T_{всп} = 81,6 + 62,943\beta^{0,5}$	(17)	0,9927	$6 \leq \beta \leq 24$ $4 \leq N_C \leq 16$
Нижний концентрационный предел, % (об.)	$C_h = 0,03 + 10,463/\beta$	(18)	0,9951	$6 \leq \beta \leq 24$ $4 \leq N_C \leq 16$
Температура кипения, К	$T_{кип} = 57,1 + 470,41 / \sqrt{C_{ctx}}$	(19)	0,9972	$0,87 \leq C_{ctx} \leq 6,54$ $2 \leq N_C \leq 16$
	$T_{кип} = 1285,6 + 439,47C_{ctx} - 60,05C_{ctx}^{1,5} - 1135,96C_{ctx}^{0,5}$	(20)	0,9999	$0,87 \leq C_{ctx} \leq 6,54$ $2 \leq N_C \leq 16$
Критическая температура, К	$T_{kp} = 211,1 + 484,53 / \sqrt{C_{ctx}}$	(21)	0,9942	$0,99 \leq C_{ctx} \leq 6,54$ $3 \leq N_C \leq 16$
Плотность, кг/м ³	$D = 726,8 + 223,698e^{-C_{ctx}}$	(22)	0,9901	$0,87 \leq C_{ctx} \leq 3,38$ $4 \leq N_C \leq 16$
Показатель преломления	$n_D = 1,4245 - 0,0527 \ln C_{ctx}$	(23)	0,9934	$0,70 \leq C_{ctx} \leq 6,54$ $2 \leq N_C \leq 20$
Температура вспышки, К	$T_{всп} = 368,24C_{ctx}^{-0,3704}$	(24)	0,9934	$0,87 \leq C_{ctx} \leq 3,38$ $4 \leq N_C \leq 16$
Нижний концентрационный предел, % (об.)	$C_h = 0,52C_{ctx}$	(25)	0,9950	$0,87 \leq C_{ctx} \leq 3,38$ $4 \leq N_C \leq 16$
Температура вспышки, К	$T_{всп} = 0,595T_{кип} + 52,6$	(26)	0,9954	$307 < T_{кип} < 560$ $4 \leq N_C \leq 24$

Таблица 3. Физико-химические и пожароопасные свойства нормальных алканов [4]

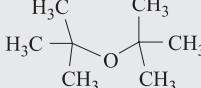
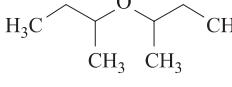
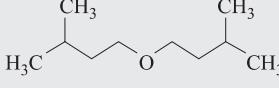
Брутто-формула	Плотность, кг/м ³	Показатель преломления	Температура, К				Теплота, кДж/моль		Критическое давление, атм	КПВ, % (об.)	
			кипения	критическая	вспышки (з. т.)	самовоспламенения	парообразования	сгорания		нижний	верхний
C ₂ H ₆	—	1,0008	185	305	138	788	70,4	1561	48,2	3	12,5
C ₃ H ₈	—	1,3407	231	370	169	705	19,7	2206	42,0	2,1	9,5
C ₄ H ₁₀	600	1,3326	273	426	202	678	22,4	2634	37,4	1,8	8,5
C ₅ H ₁₂	626	1,3577	309	470	224	558	28,4	3539	33,3	1,4	87,8*
C ₆ H ₁₄	655	1,375	342	507	250	497	32,6	4198	29,7	1,2	7,7
C ₇ H ₁₆	684	1,3855	372	540	269	477	36,0	4820	27,7	1,05	6,7
C ₈ H ₁₈	703	1,3976	399	569	286	483	41,48	5474	24,8	0,8	6,5
C ₉ H ₂₀	718	1,4039	424	594	304	478	46,5	6131	22,5	0,7	5,6
C ₁₀ H ₂₂	730	1,4090	447	617	319	478	52,4	6756	20,72	0,7	5,4
C ₁₁ H ₂₄	742	1,4164	469	—	333	513	41,5	7437	—	0,6	6,5
C ₁₂ H ₂₆	749	1,4210	489	659	344	473	34,4	—	18,11	0,6	4,7
C ₁₃ H ₂₈	756	1,4256	509	677	352	475	66,3	8746	17,0	0,6	4,7
C ₁₄ H ₃₀	763	1,4290	527	693	372	493	48,75	—	16	0,5	6,5
C ₁₅ H ₃₂	768	1,4315	544	710	405	475	48,8	10054	15	0,5	4,7
C ₁₆ H ₃₄	773	1,4329	560	717	408	475	81,38	10699	14	0,5	4,7
C ₁₇ H ₃₆	778	1,4369	575	731	421	475	52,0	11363	13,03	0,4	2,8
C ₁₈ H ₃₈	777	1,4390	589	749	438	508	90,6	11954	12,7	0,4	2,7
C ₁₉ H ₄₀	785	1,4409	603	—	> 373	478	56,5	12671	—	0,6	6,5
C ₂₀ H ₄₂	932	1,4425	616	767	460	475	93,9	12401	10,6	0,4	2,4

* Вероятно, в первоисточнике [4] опечатка. По отечественным данным ВКПВ пентана равен 7,7 % (об.) [5, ч. 2, с. 257].

Таблица 4. Справочные [3–7] и расчетные физико-химические и пожароопасные свойства простых эфиров изомерного строения

Формула	Брутто-формула	Номер эфира (УУЦ)	Плотность, кг/м ³	Показатель преломления	Температура, К				Теплота, кДж/моль		Критическое давление, атм	НКПВ, % (об.)
					кипения	критическая	вспышки (з. т.)	самовоспламенения	парообразования	горения		
	C ₅ H ₁₂ O	XXV (4,5)	751; 738	1,377; 1,364	331; 324	489	244; <u>250</u>	—	30	—	33	1,6
	C ₅ H ₁₂ O	XXVI (4,5)	745; 738	1,3642; 1,364	325; 337; 324	489	244; 244; <u>246</u> ; <u>253</u>	—	28,2; 30	—	33	1,5; 1,6
	C ₆ H ₁₄ O	XXVII (5)	726; 741	1,3689; 1,370	342; 338	500;	245; 255; <u>256</u>	—	32,0; 32	3972	28,4; 31	1,4; 1,3; 1,4
	C ₆ H ₁₄ O	XXVIII (5)	771; 741	1,3855; 1,370	358; 338	531;	262; 255; <u>266</u>	688	33,4; 32	4026	30,3; 31	1,0; 1,4
	C ₆ H ₁₄ O	XXIX (5)	752; 741	1,3756; 1,370	344; 338	509;	254; 255; <u>257</u>	—	31,8; 32	—	29,0; 31	1,4

Окончание табл. 4

Формула	Брутто-формула	Номер эфира (УУЦ)	Плотность, кг/м ³	Показатель преломления	Температура, К				Теплота, кДж/моль		Критическое давление, атм	НКПВ, % (об.)
					кипения	критическая	вспышки (з. т.)	самовоспламенения	парообразования	горения		
	C ₈ H ₁₈ O	XXX <i>(6)</i>	766; 749	1,4331; 1,382	374; 365	555; 535	270; 273; <u>275</u>	—	31,7; 36	5322	23,9; 29	0,9; 1,2
	C ₈ H ₁₈ O	XXXI <i>(7)</i>	756; 757	1,391	393; 391	563	288; 287; <u>286</u>	—	38	—	29	0,9; 1,0
	C ₁₀ H ₂₂ O	XXXII <i>(9)</i>	799; 774	1,408; 1,405	446; 438	611	316; 327; 317; <u>318</u>	553	39,3; 40	—	31	0,73; 0,8

Примечания:

1. УУЦ — условная углеродная цепь. Метод определения УУЦ приведен в работах [1, 2].
2. Курсивом приведены расчетные данные, полученные по уравнениям (1)–(9), курсивом с подчеркиванием — по (26).

а также критические температура и давление для простых алифатических эфиров, действительно, могут быть предсказаны исходя из данных по алканам, начиная с пентана. Однако линейной зависимости по другим физико-химическим и пожароопасным показателям между простыми эфирами и алканами не наблюдается.

Анализ данных по физико-химическим и пожароопасным свойствам эфиров II–XXIV показывает, что правило “углеродной цепи” действует и в этом случае. В целом прогноз удовлетворительно согласуется с литературными данными (см. табл. 1). Скудная информация по физико-химическим и пожароопасным свойствам простых эфиров нелинейного строения сведена в табл. 4. Результаты прогноза физико-химических характеристик и показателей

пожаровзрывоопасности в этом случае имеют большую погрешность по сравнению с эфирами линейного строения. Особенно сильно это проявляется при расчете плотности химических соединений XXV–XXVI, XXVII–XXX и XXXII, но в целом, можно сказать, действие правила “углеродной цепи” проявляется и в ряду простых эфиров нелинейного строения.

В заключение отметим, что найденные эмпирические уравнения (1)–(26) с учетом правила “углеродной цепи” и эффекта “функциональной группы” могут быть использованы для прогнозирования неизвестных показателей физико-химических и пожароопасных свойств в ряду алифатических простых эфиров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Алексеев К. С., Орлов С. А. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. III. Кетоны (ч. 2) // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 7. — С. 8–13.
2. Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Алексеев К. С., Орлов С. А. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. I. Алканолы // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 5. — С. 23–30.
3. Сайт компании Sigma-Aldrich. URL : <http://www.sigmaaldrich.com/catalog> (дата обращения 15.04–10.05.2011).
4. База данных университета Akron. URL : <http://ull.chemistry.uakron.edu/erd> (дата обращения 15.04–10.05.2011).
5. Корольченко А. Я., Корольченко Д. А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справочник : в 2 ч. — М. : Пожнадзор, 2004. — Ч. 1. — 713 с.; Ч. 2. — 774 с.
6. Земский Г. Т. Физико-химические и огнеопасные свойства химических органических соединений : справочник : в 2 кн. — М. : ВНИИПО, 2009. — Кн. 1. — 502 с.

7. Баратов А. Н., Корольченко А. Я., Кравчук Г. Н. и др. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справоч. изд. : в 2 кн. / Под ред. А. Н. Баратова и А. Я. Корольченко. — М. : Химия, 1990. — Кн. 1. — 496 с; Кн. 2. — 384 с.
8. Алексеев К. С., Барбин Н. М., Алексеев С. Г. Показатели пожарной опасности и эффект положения функциональной группы // Безопасность критичных инфраструктур и территорий : материалы IV Всероссийской конференции и XIV школы молодых ученых. — Екатеринбург : УрО РАН, 2011. — С. 80–81.
9. Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Алексеев К. С., Орлов С. А. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. II. Кетоны (ч. 1) // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 6. — С. 8–15.
10. Reinhard M., Drefahl A. Handbook for Estimating Physical Properties of Organic Compounds. — N. Y. : J. Wiley, 1999. — P. 17–18.

Материал поступил в редакцию 25 июля 2011 г.
Электронные адреса авторов: Alexshome@mail.ru;
NMBarbin@yandex.ru; Orlov.sergei@mail.ru.



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу

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



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

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

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

**С. Л. Барботко**

канд. техн. наук, начальник лаборатории
“Исследования на пожарную безопасность,
климатическую и микробиологическую
стойкость” ФГУП “ВИАМ”, г. Москва, Россия

**Т. Ф. Изотова**

ведущий инженер лаборатории “Декоративные, акустические, технические текстильные и термопластичные конструкционные материалы” ФГУП “ВИАМ”, г. Москва, Россия

УДК 614.841.41:629.7.042.2

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ СТЕКЛОПЛАСТИКА НА ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЕ ПРИ ГОРЕНИИ

Показано существенное влияние типа стеклоткани (поверхностная плотность, толщина, тип волокон) на пожаробезопасность полимерных композиционных материалов, а именно на характеристики тепловыделения при горении (максимальную интенсивность и общее количество выделившегося тепла).

Ключевые слова: тепловыделение при горении; полимерный композиционный материал; стеклопластик.

Введение

Обычно при сопоставлении характеристик пожарной опасности различных полимерных композиционных материалов (ПКМ) наибольшее внимание уделяют виду полимерной матрицы и процентному содержанию связующего. Часто считается, что на характеристики пожарной опасности (горючесть, воспламеняемость, дымообразование и др.) инертный наполнитель (не воспламеняющийся и не деструктирующий в пламени) оказывает влияние только с точки зрения снижения горючей составляющей в материале, а влияние структуры ПКМ на процессы горения практически отсутствует. Другими словами, полагают, что при одном и том же содержании одного и того же связующего, при одинаковой толщине (или поверхностной массе) стеклопластика независимо от вида стеклоткани (марка волокна, поверхностная плотность стеклоткани, тип переплетения) либо при использовании ровинга или рубленого стекловолокна результаты определения характеристик пожарной опасности практически не меняются. Считается, что на изменение показателей пожарной опасности, в крайнем случае, могут оказывать влияние такие характеристики, как теплоемкость и теплопроводность наполнителя. Это мнение обосновывается тем фактором, что масса и состав горючей составляющей постоянны, масса инертного наполнителя всегда одна и та же, следовательно, количество выделяемого тепла и тепловые потери на прогрев наполнителя постоянны.

Однако в ряде случаев изменения структуры полимерного композиционного материала при сохранении процентного содержания его составных час-

тей могут оказывать существенное влияние на регистрируемые показатели пожарной опасности. Так, в работе [1] было показано, что структура наполнителя в ПКМ может влиять на такую характеристику горючести, как продолжительность остаточного горения (испытания проводили по методу, используемому для материалов авиационного назначения [2, Прил. F, Ч. I]).

Теоретическое обоснование работы

В условиях пожара под действием пламени и теплового потока происходит термодеструкция и постепенное выгорание полимерного связующего, в результате чего обнажаются слои инертного наполнителя. Оказавшись на поверхности, они под действием парогазовых продуктов термодеструкции раздвигаются, и площадь их взаимного контакта существенно сокращается. В условиях передачи тепла преимущественно лучистым потоком слои стеклоткани работают как тепловые экраны, в результате чего падающий на полимер тепловой поток многократно уменьшается, что приводит к снижению интенсивности термодеструкции и массовой скорости выгорания. Количество передаваемого тепла в зависимости от количества тепловых экранов меняется по закону [3]:

$$q_{\text{вых}} = q_{\text{пад}} / (1 + n),$$

где $q_{\text{пад}}$ и $q_{\text{вых}}$ — падающий и выходящий тепловые потоки, Вт/м²;

n — количество тепловых экранов.

Для снижения интенсивности выделения тепла при горении сотовых панелей интерьера имеется техническое решение, предусматривающее приме-

Таблица 1. Марки стеклотканей, наиболее широко используемые при изготовлении конструкционных стеклопластиков авиационного назначения

Марка стеклоткани	НТД	Толщина, мм	Поверхностная плотность, г/м ²	Плотность нитей на 1 см		Разрывная нагрузка, кН		Тип переплетения
				по основе	по утку	по основе	по утку	
T-10(ВМП)-4с	ТУ 5952-183-05786904-2004	0,25 ± 0,02	310 ⁺¹⁵ ₋₁₀	36 ⁺¹	20 ± 1	≥ 3,2	≥ 1,8	Сатин 8/3
T-10-80	ГОСТ 19170-2001*	0,25 ± 0,02	290 ± 7	36 ⁺¹	20 ± 1	≥ 2,8	≥ 1,4	То же
T-64(ВМП)-270	ТУ 5952-009-16319666-98	0,09 ± 0,01	100 ± 5	25 ₋₁	24 ± 1	≥ 0,9	≥ 0,5	Сатин 4-ремизный
T-60(ВМП)	ТУ 6-48-05786904-111-92	≤ 0,22	215 ± 15	24 ⁺¹	6 ± 1	≥ 2,5	≥ 0,3	Полотно
T-15(П)-76	ТУ 6-48-107-94	0,19 ± 0,03	160 ± 16	24 ⁺¹	18 ± 1	≥ 0,8	≥ 0,7	Сатин 5/3

нение промежуточных огнеблокирующих слоев из металлической фольги или другого негорючего материала [4]. Однако использование дополнительных слоев приводит к утяжелению материала. Кроме того, зачастую для их монтажа необходимо использовать клей, что приводит к дополнительному выделению тепла при горении защищаемого элемента конструкции.

Снижение тепловыделения путем использования тепловых экранов при изготовлении композиционных материалов может быть достигнуто другим способом.

В зависимости от поставленных задач при изготовлении ПКМ могут применяться различные стеклоткани. Наиболее часто используемые для изготовления ПКМ авиационного назначения марки конструкционных стеклотканей представлены в табл. 1. Поверхностная плотность (масса 1 м²) и толщина одного слоя в зависимости от марки стеклоткани могут различаться в несколько раз. Следовательно, при использовании более тонкой (легкой) стеклоткани количество слоев для стеклопластиков с одной и той же поверхностной плотностью во столько же раз будет больше.

Увеличение количества слоев стеклоткани при одной и той же массе выгоревшего связующего обеспечивает более эффективное снижение проникающего лучистого теплового потока, а следовательно, и уменьшение скорости деструкции полимера и количества выделяющихся горючих парогазовых продуктов термодеструкции. Другими словами, использование более тонкой (легкой) стеклоткани при изготовлении стеклопластика той же заданной толщине (поверхностной плотности) должно приводить к снижению интенсивности выделения тепла.

Это предположение было проверено расчетами с использованием математической модели прогрева – термодеструкции – тепловыделения материалов [5–7].

Полученные расчетные кинетические кривые процесса тепловыделения при горении данных мо-

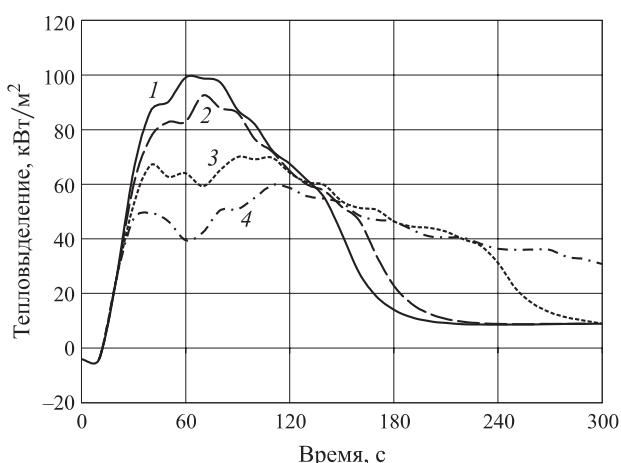


Рис. 1. Расчетные данные по влиянию поверхностной плотности стеклоткани на кинетику тепловыделения модельного стеклопластика толщиной 1 мм: 1 — 400 г/м²; 2 — 200 г/м²; 3 — 100 г/м²; 4 — 50 г/м²

дельных стеклопластиков приведены на рис. 1. При выполнении расчетов для приведенных графиков были приняты следующие основные исходные данные:

Расчетная толщина стеклопластика, мм (г/м ²)	1 (1667)
Расчетное количество элементарных слоев	10
Содержание связующего (одинаковое во всех элементарных слоях)	40
Теплота сгорания, кДж/г	30
Полнота сгорания	0,8
Коксовое число	0,25
Теплота пиролиза, кДж/г	2
Температура термодеструкции, °С	400
Теплоемкость пластика, Дж/(г·К)	1,25
Теплопроводность, Вт/(м·К)	0,2

Количество слоев стеклоткани заданной поверхностной плотности для стеклопластика толщиной 1 мм:

50 г/м ²	20
100 г/м ²	10
200 г/м ²	5
400 г/м ²	2,5

По расчетным графикам кинетики тепловыделения видно, что в зависимости от количества теплоотражающих слоев, образующихся в процессе горения материала с различной поверхностной плотностью как стеклопластика, так и использованной стеклоткани, максимальная скорость тепловыделения и общее количество выделившегося тепла (площадь под кривой) за 1 и 2 мин меняются в 1,2...1,7 раза.

На самом деле, при использовании тонких и плотных стеклотканей эффект снижения тепловыделения может быть выше за счет повышения гидравлического сопротивления выходу на поверхность образующихся горючих продуктов термодеструкции, в результате чего на слоях стеклоткани образуется дополнительный слой кокса — припек, т. е. повышается коксовое число и снижается полнота сгорания полимерной составляющей.

Полученные расчетные данные необходимо было проверить экспериментально.

Оборудование, методика проведения испытаний и образцы

Испытания образцов композиционных материалов на тепловыделение при горении* проводили на модифицированном проточном калориметре типа OSU марки HRR-3, изготовленном Atlas Electric Devices (США) и эксплуатируемом в ФГУП “ВИАМ” с 1998 г. Подробное описание аппаратуры и методики проведения испытаний приведено в Авиационных правилах [2, Прил. F, Ч. IV]. В соответствии с отечественными авиационными нормами испытания образцов проводятся в течение 5 мин при вертикальном положении образца. Для испытаний используют квадратные образцы размером 150×150 мм и толщиной до 40 мм. Перед испытанием образец заворачивают в алюминиевую фольгу и помещают в держатель таким образом, чтобы оставалась открытой только экспонируемая поверхность размером 140×140 мм. Во время испытания на открытую поверхность образца воздействует постоянный во времени и равномерный по поверхности тепловой поток мощностью 35 кВт/м². Воспламенение образца инициируется пламенем пилотной горелки. Согласно требованиям [2] при проведении испытаний определяют: максимальную скорость выделения тепла (пик) в кВт/м² и общее количество выделившегося тепла за первые 2 мин испытания в кВт·мин/м² (1 кВт·мин/м² = 0,06 МДж/м²).

В качестве образцов для испытаний были выбраны стеклопластики на различных связующих: модельный термопластичный некоксующийся материал — полиэтилен высокого давления ПЭВД 1000×70

Таблица 2. Экспериментальные данные по тепловыделению стеклопластиков на основе различных типов стеклоткани и полимерных матриц

Марка стеклоткани	Количество слоев стеклоткани	Содержание связующего, %	Поверхностная плотность, г/м ²	Толщина, мм	Максимальная скорость тепловыделения (пик), кВт/м ²	Общее количество выделившегося тепла за первые 2 мин, кВт·мин/м ²
<i>Матрица — полиэтилен ПЭВД</i>						
T-10(ВМП)-4с	1	41,5	540	0,37	290	159
	2	37,4	1010	0,65	362	245
	3	39,2	1560	1,03	306	289
	6	35,7	2950	2	268	272
T-64(ВМП)-270	2	41,4	340	0,23	219	85
	4	40,5	670	0,45	284	160
	9	41,7	1540	1,04	272	273
	20	39,6	3300	2,23	252	254
T-15(П)-76	2	38,5	540	0,4	170	109
	3	38,5	810	0,6	222	177
	5	37,1	1320	0,96	196	222
	11	38,1	2950	2,25	231	208
<i>Матрица — полисульфон ПСФ-150</i>						
T-10(ВМП)-4с	1	41,5	540	0,3	46	32
	2	37,4	1010	0,52	57	47
	3	36,8	1500	0,85	65	58
	6	36,6	2990	1,7	67	48
T-64(ВМП)-270	2	41,4	340	0,2	15	15
	4	41,4	680	0,39	26	19
	9	39,4	1480	0,84	47	20
	20	39,0	3270	1,83	61	5
T-15(П)-76	2	38,7	542	0,35	21	19
	3	35,3	770	0,48	25	21
	5	51,5	1710	1,19	45	24
	11	43,8	3250	2,1	54	13
<i>Матрица — фенольное связующее ФП-520</i>						
T-10-80	2	34,2	875	0,4	62	31
	4	33,4	1730	1	70	53
	6	20,0	2160	1,5	97	93
	8	18,6	2830	2	131	106
T-15(П)-76	2	39,6	550	0,3	32	27
	3	37,8	800	0,4	34	29
	4	45,1	1210	0,8	42	36
	6	33,1	1490	1	57	41
	10	18,2	2030	1,5	76	53
	12	21,6	2540	2	94	91

* Испытания по определению характеристик тепловыделения выполнены сотрудником ФГУП “ВИАМ” О. С. Вольным.

(по ГОСТ 10354–82), термопластичный коксующийся материал — полисульфон ПСФ-150 (по ТУ 6-06-6-88) и термореактивный материал — фенольное связующее ФП-520 (по ТУ 1-595-25-276-95). Для изготовления стеклопластиков использовали стеклоткани Т-10, Т-15(П) и Т-64 (см. табл. 1 и 2). Количество слоев стеклоткани в образцах варьировали от 1 до 20 в зависимости от марки стеклоткани и необходимой толщины образца. Поскольку тепловыделение материала существенным образом зависит от толщины образца, то для проведения исследований были изготовлены образцы разной толщины — от 0,2 до 2 мм. Среднее содержание термопластичного полимерного связующего в образцах составляло 40 %, термореактивного — 30 %.

Режимы формования образцов стеклопластиков:

- на полиэтилене — давление 10 кгс/см², температура 160 °C, выдержка 10...20 мин (в зависимости от толщины образца);
- на полисульфоне — давление 15 кгс/см², температура 290 °C, выдержка 15...30 мин (в зависимости от толщины образца);
- на фенольном связующем — давление 15 кгс/см², температура 210 °C, выдержка 1 ч.

Результаты

Экспериментальные данные по характеристикам тепловыделения для различных стеклопластиков приведены в табл. 2. На рис. 2 представлены графики, подтверждающие существенное влияние поверхностной массы стеклоткани из сплошного стекловолокна как на максимальную интенсивность выделения тепла, так и на общее количество выделившегося тепла за первые 2 мин испытания. Видно, что при использовании более тонкой стеклоткани максимальная интенсивность тепловыделения и общее количество выделившегося тепла за первые 2 мин испытания снижаются на 20...80 % в зависимости от толщины образца и вида полимерной матрицы.

Наибольшее изменение максимальной интенсивности тепловыделения наблюдается при испытаниях сравнительно тонких образцов (до 1 мм). Для образцов большей толщины (свыше 2 мм) влияние поверхностной плотности стеклоткани на максимальную интенсивность тепловыделения снижается до 10...20 %, что может быть объяснено увеличением доли затрат тепла на прогрев образца в первонаучальный период времени.

При изготовлении стеклопластиков может использоваться и стеклоткань на основе полых волокон, например Т-15(П)-76 (см. табл. 1). При заданной толщине стеклопластика такая ткань обеспечивает снижение поверхностной плотности материала на 20...30 %. Полая стеклоткань обладает меньшей теплопроводностью по сравнению со стеклотканью

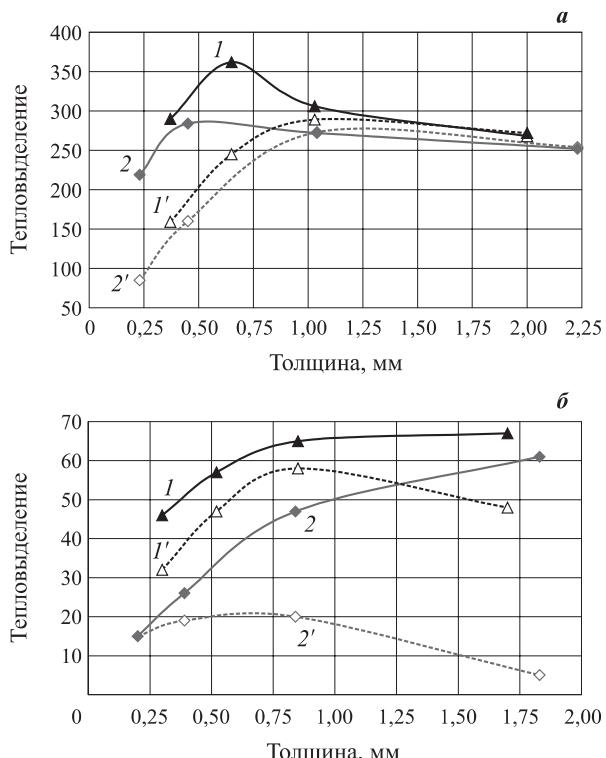


Рис. 2. Влияние массы стеклоткани Т-10(ВМП)-4с (310 г/м²) (1, 1') и Т-64(ВМП)-270 (97 г/м²) (2, 2') на тепловыделение для стеклопластиков на полиэтилене ПЭВД (а) и полисульфоне ПСФ-150 (б): 1, 2 — пик, кВт/м²; 1', 2' — общее тепловыделение за первые 2 мин, кВт·мин/м²

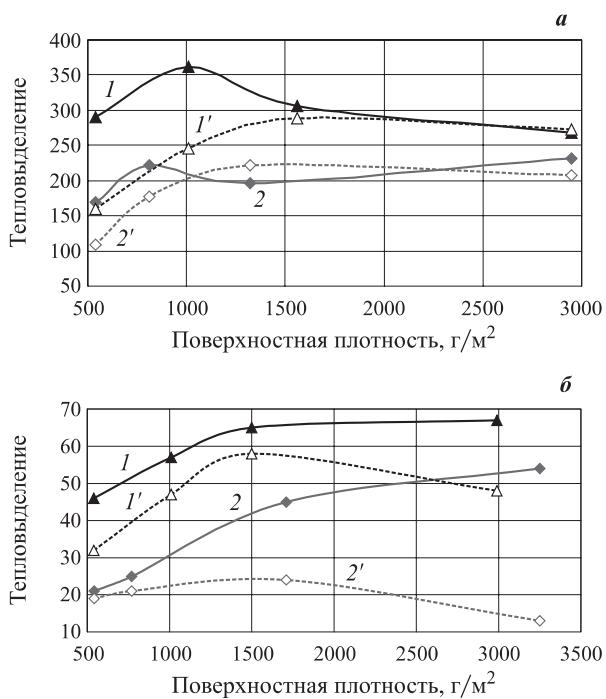


Рис. 3. Влияние типа стеклоткани Т-10(ВМП)-4с (1, 1') и Т-15(П)-76 (2, 2') на тепловыделение для стеклопластиков на полиэтилене ПЭВД (а), полисульфоне ПСФ-150 (б): 1, 2 — пик, кВт/м²; 1', 2' — общее тепловыделение за первые 2 мин, кВт·мин/м²

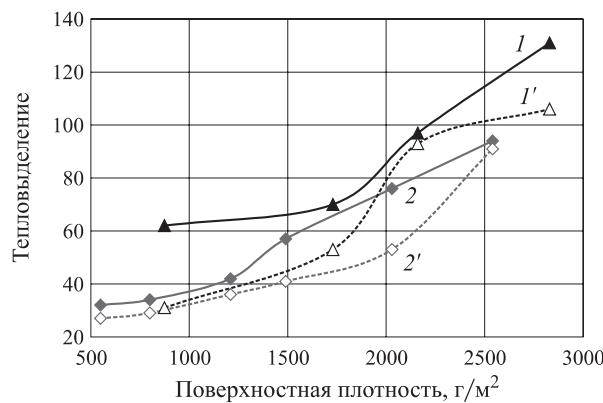


Рис. 4. Влияние типа стеклоткани Т-10-80 (1, 1') и Т-15(П)-76 (2, 2') на тепловыделение для стеклопластиков на фенольном связующем ФП-520: 1, 2 — пик, кВт/м²; 1', 2' — общее тепловыделение за первые 2 мин, кВт·мин/м²

ми на сплошном стекловолокне (Т-10, Т-64), в соответствии с этим изменяется и динамика прогрева материала. Влияние замены сплошной стеклоткани на полуую на характеристики тепловыделения приведено в табл. 2 и на рис. 3 и 4. Для объективного сравнения стеклопластиков с одинаковым содержанием полимерной составляющей на рис. 3 и 4 приве-

дены графики зависимости тепловыделения от поверхностной плотности материала. Видно, что при использовании полуой стеклоткани вместо ткани из сплошного стекловолокна в отдельных случаях может быть достигнуто двукратное снижение тепловыделения при горении.

Выводы

Показано, что в зависимости от вида стеклоткани (толщина, поверхностная плотность, тип волокон) при одной и той же толщине стеклопластика и содержании связующего существенным образом изменяются характеристики тепловыделения при горении стеклопластиков.

Варьируя тип стеклоткани, в зависимости от вида связующего и толщины ПКМ можно добиться существенного снижения тепловыделения материалов как по максимальной интенсивности, так и по общему количеству выделяемого тепла за первые 2 мин.

Наибольшая эффективность снижения тепловыделения при горении за счет использования тонких стеклотканей наблюдается у стеклопластиков толщиной до 1 мм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барботко С. Л., Дементьева Л. А., Сереженков А. А. Горючесть стекло- и углепластиков на основе kleевых препретов // Клей. Герметики. Технологии. — 2008. — № 7. — С. 29–31.
2. Авиационные правила. Гл. 25: Нормы летной годности самолетов транспортной категории // Межгосударственный авиационный комитет. — Изд. 3-е с поправками 1–6. — М. : ОАО “Авиаздат”, 2009. — 274 с.
3. Лыков А. В. Теория теплопроводности. — М. : Высшая школа, 1967. — 600 с.
4. Pat. 5 527 598 US. Composite sandwich element / Campbell F. S., Brownell P., Jordan R. E. — Jun. 18, 1996. URL : <http://scholar.google.com>.
5. Барботко С. Л. Моделирование процесса горения материалов при испытаниях по оценке тепловыделения // Пожаровзрывобезопасность. — 2007. — Т. 16, № 3. — С. 10–24.
6. Барботко С. Л., Вольный О. С., Изотова Т. Ф. Математическое моделирование тепловыделения при горении для полимерных композиционных материалов различной толщины // Пожаровзрывобезопасность. — 2007. — Т. 16, № 4. — С. 16–20.
7. Барботко С. Л. Оценка погрешностей сделанных допущений в математической модели тепловыделения при горении полимерных материалов // Пожаровзрывобезопасность. — 2007. — Т. 16, № 5. — С. 19–22.

Материал поступил в редакцию 25 июля 2011 г.
Электронный адрес авторов: s1barbotko@yandex.ru.



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



А. С. Малясова
канд. хим. наук, научный сотрудник
Ивановского государственного
химико-технологического универ-
ситета, г. Иваново, Россия



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

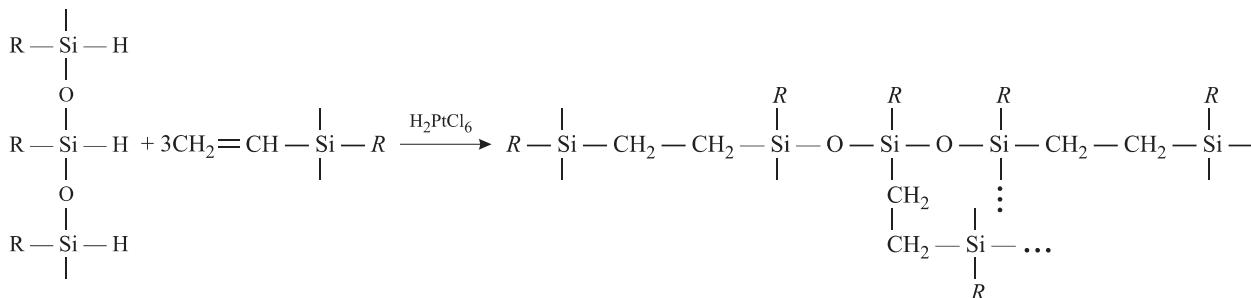
УДК 678.84:614.841.41:66.097

МАТЕРИАЛЫ ПОНИЖЕННОЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ С ПОКРЫТИЕМ НА ОСНОВЕ ЖИДКИХ СИЛОКСАННЫХ КАУЧУКОВ, ОТВЕРЖДЕННЫМ МЕТОДОМ ПОЛИПРИСОЕДИНЕНИЯ

Изучены свойства защитных материалов с покрытием на основе жидких силоксановых каучуков, отверженным методом полиприсоединения. По пожарной безопасности и физико-механическим свойствам такие материалы существенно превосходят материалы с силоксановым покрытием на основе жидких низкомолекулярных силоксановых каучуков СКТН, отверженным методом поликонденсации. Это обусловлено отсутствием в покрытиях, полученных методом полиприсоединения, побочных соединений и более полным протеканием процесса структурирования жидких силоксановых эластомеров.

Ключевые слова: материалы пониженной пожарной опасности; жидкие силоксановые каучуки; метод полиприсоединения.

Защитные материалы с отверженным силоксановым покрытием на основе жидких низкомолекулярных силоксановых каучуков СКТН обладают пониженной воспламеняемостью, высокими термо-защитными свойствами и водонепроницаемостью при небольшой массе (порядка 250 г/м²) [1]. Отвержение низкомолекулярных жидких силоксановых каучуков СКТН проводится методом поликонденсации. Отвержение может происходить также в результате реакции полиприсоединения с использованием низкомолекулярных силоксановых каучуков, содержащих винильные группы и связи Si—H [2] по схеме:



Для реакции полиприсоединения характерна повышенная температура отверждения (70–150 °C). В качестве катализаторов обычно используются соединения платины, например гексахлорплатиново-дородная кислота (H_2PtCl_6) – катализатор Спейера. Катализаторами могут служить также соли платины в сочетании с солями двухвалентного олова, ртути, висмута, меди, а также комплексные соединения металлов VIII группы. На одну группу $\text{Si}-\text{CH}=\text{CH}_2$ приходится 0,75–1,25 связей $\text{Si}-\text{H}$, причем одна винильная группа приходится не менее чем на 100 атомов кремния.

Существенным достоинством метода полиприсоединения является отсутствие при отверждении побочных соединений [3], тогда как при поликонденсации, например, полисилоксандиолов выделяются или спирты, или уксусная кислота. При отверждении эти побочные соединения частично капсулируются в вулканизованных силоксановых покрытиях и отрицательно влияют на свойства получаемых материалов, повышая их пожарную опасность и ухудшая физико-механические свойства.

При взаимодействии полиорганосилоксанов, содержащих винильные группы у атома кремния, с полиорганосилоксанами, содержащими гидридные группировки Si—H, в присутствии гексахлорплатиноводородной кислоты (H_2PtCl_6) при температурах 100–150 °C происходит образование углеродных мостиков между атомами кремния, в результате чего получаются сшитые полимеры, содержащие чередующиеся связи [4]:



Такое чередование связей придает полимерам ряд ценных и специфических свойств, которые в значительной степени определяются числом и характером поперечных сшивок между полимерными цепями.

В связи с вышесказанным США, Германия, Япония и другие страны используют в своей промышленной практике в основном жидкие силоксановые каучуки, отверждаемые методом полиприсоединения, что позволяет получать более качественные материалы с высокими физико-механическими и защитными свойствами.

В настоящей работе изучены свойства защитных материалов с покрытием на основе жидких силоксановых каучуков американской фирмы “Dow Corning” марок 3605, 9252-250, 9151-200, отверждаемых методом полиприсоединения. Композиции на основе этих каучуков состоят из двух компонентов — А и В. Компонент А — это жидкий силоксановый каучук, содержащий винильные группы $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{Si}-\text{R}$ и катализатор — гексахлорплатиноводородную кислоту H_2PtCl_6 [3]. Компонент В — это жидкий силоксановый каучук, содержащий связи Si—H.

Перед употреблением компоненты А и В смешивают в массовом соотношении 10:1. В композицию можно вводить пигменты, лучше минеральные, например оксиды металлов Fe_2O_3 , Al_2O_3 , Cr_2O_3 , Zn , TiO_2 и др., что позволит повысить пожарную безопасность и термостойкость материалов с вулканизованным силоксановым покрытием. После смешения композиция годна для использования в течение 12 ч при 25 °C. Композицию наносят ножевой раклей на тканевую основу и полученный полуфабри-

Таблица 1. Свойства материалов с отвержденным покрытием на основе жидких силоксановых каучуков фирмы “Dow Corning” и жидкого каучука СКТН-Г

Показатель	Значение показателя для каучука			
	3605	9252-250	9151-200	СКТН-Г
Воспламеняемость, с	60	65	68	40
Кислородный индекс, %	33	32	33	30
Истираемость, г/(см ² ·ч)	231	235	240	400
Водонепроницаемость, ч	48	48	48	24
Водоупорность, мм вод. ст.	760	750	720	550
Прочность связи покрытия с основой, Н/см	7,8	8,0	8,2	2,1
Жесткость, сН	37	35	34	82
Масса 1 м ² , г	233	235	238	240

кат подвергают термообработке при 150–180 °C в течение 1–2 мин.

В табл. 1 приведены свойства защитных материалов с отвержденным методом полиприсоединения силоксановым покрытием на основе жидких силоксановых каучуков фирмы “Dow Corning” и жидкого каучука СКТН-Г (Россия). Композиция на основе жидкого силоксанового каучука СКТН-Г имела следующий состав (масс. ч.): СКТН — 100, этилсиликат-40 — 12, октоат олова — 2. Композиция наносилась на тканевую основу двумя штрихами с последующим отверждением. Данные, приведенные в табл. 1, позволяют прийти к заключению, что защитные материалы с покрытием на основе жидких силоксановых каучуков фирмы “Dow Corning”, отвержденным методом полиприсоединения, по пожарной безопасности, водостойкости и физико-механическим свойствам превосходят материалы с покрытием на основе жидкого каучука СКТН-Г, отверженным методом поликонденсации.

Полученные защитные материалы испытывали: на устойчивость к воспламенению — по ГОСТ Р 50810–95, истираемость — по ГОСТ 8975–75, водонепроницаемость — по ГОСТ 22944–78, водоупорность — по ГОСТ 3816–81 (изм. 2 и 3), жесткость — по ГОСТ 8977–74. Кислородный индекс материалов определяли по ГОСТ 12.1.044–84, прочность связи покрытия с основой — по ГОСТ 17317–71, массу 1 м² — по ГОСТ 17073–71.

Методом инфракрасной спектроскопии проведено исследование тонкой капроновой ткани арт. 56011, отверженных силоксановых пленок на основе жидких силоксановых каучуков фирмы “Dow Corning”

марок 3605, 9252-250, 9151-200, жидкого каучука СКТН-А и капроновой ткани арт. 56011 с отвержденным силоксановым покрытием на основе вышеуказанных жидких силоксановых каучуков. Инфракрасные спектры поглощения регистрировали на спектрофотометре AVATAR™ 360-FT-IR-E.S.P. Образцы готовили по стандартной методике таблетирования в бромиде калия.

Анализ инфракрасных спектров позволил установить, что спектр капрона является типичным для полиамида-6 в α -кристаллической форме (молекулы вытянуты и соединены водородными связями) [5].

Изучение инфракрасных спектров отверженных силоксановых пленок на основе жидких силоксановых каучуков фирмы "Dow Corning" и жидкого силоксанового каучука СКТН-А показало, что это спектры силоксановых эластомеров, характеризующиеся полосами поглощения метильных групп, в частности связей C–H (2980–2830 cm^{-1}), Si–CH₃ (1261 и 801 cm^{-1}). В этих спектрах имеются также характерные для силоксанов полосы при 1096 и 1022 cm^{-1} , обусловленные наличием в молекулах силоксанов валентных колебаний связей –Si–O– и –Si–O–Si– [6, 7]. В спектре отверженной методом поликонденсации пленки на основе жидкого каучука СКТН-А имеется полоса поглощения в области 3640 cm^{-1} , соответствующая валентным колебаниям OH-группы первичных спиртов [8], что указывает на наличие в отверженных пленках закапсулированного спирта. Полоса поглощения в области 3300 cm^{-1} соответствует валентным колебаниям OH-группы в силанольной группе –Si–O–H [6]. Наличие в отверженных пленках групп –Si–O–H указывает на неполное протекание реакции поликонденсации при отверждении жидких низкомолекулярных силоксановых каучуков СКТН. Это подтверждает то обстоятельство, что содержание гель-фракции в отверженных силоксановых пленках на основе жидких силоксановых каучуков никогда не превышает 98 %.

В противоположность этому в спектрах отверженных методом полиприсоединения пленок на основе жидких силоксановых каучуков фирмы "Dow Corning" не обнаруживается полос поглощения в области 1667–1640 cm^{-1} , соответствующих валентным колебаниям группы –HC=CH–, и полос поглощения в области 2250–2100 cm^{-1} , соответствующих валентным колебаниям связи Si–H [9]. Отсутствие связей Si–H и –HC=CH– в отверженных силоксановых пленках свидетельствует о полноте протекания процесса структурирования методом полиприсоединения. Содержание гель-фракции в таких отверженных пленках составляет почти 100 %.

Значения волновых чисел полос поглощения инфракрасных спектров капроновой ткани арт. 56011,

Таблица 2. Значения волновых чисел в ИК-спектрах капроновой ткани арт. 56011, отверженных пленок на основе жидких силоксановых каучуков и капроновой ткани с отверженным силоксановым покрытием

Материал	Волновое число, cm^{-1}
Ткань арт. 56011	3300, 3091, 2934, 2868, 1641, 1560, 1464, 1374, 1293, 1202, 1124, 1029, 731, 579
Пленка на основе СКТН-А	3640, 3420, 3300, 2980, 1650, 1460, 1380, 1261, 1096, 1022, 864, 801
Пленка на основе каучука 3605	3420, 2980, 2830, 1460, 1380, 1260, 1097, 1021, 800, 730, 650
Пленка на основе каучука 9252-250	3421, 2979, 2831, 1459, 1381, 1261, 1096, 1022, 801, 729, 651
Пленка на основе каучука 9151-200	3419, 2980, 2830, 1460, 1380, 1260, 1097, 1022, 800, 730, 650
Ткань с покрытием на основе СКТН-А	3640, 3420, 3295, 3090, 2980, 2934, 2867, 1645, 1541, 1464, 1375, 1261, 1202, 1123, 864, 801, 730
Ткань с покрытием на основе каучука 3605	3420, 3295, 3091, 2980, 2934, 2868, 1541, 1465, 1374, 1260, 1201, 1124, 801, 730
Ткань с покрытием на основе каучука 9252-250	3421, 3295, 3090, 2981, 2934, 2867, 1541, 1464, 1373, 1261, 1201, 1123, 800, 731
Ткань с покрытием на основе каучука 9151-200	3421, 3295, 3091, 2980, 2934, 2867, 1541, 1464, 1373, 1261, 1201, 1123, 800, 731

вулканизованных силоксановых пленок и капроновой ткани с отверженным силоксановым покрытием приведены в табл. 2. Из данных табл. 2 видно, что инфракрасные спектры капроновой ткани с нанесенным на нее отверженным силоксановым покрытием, за небольшим исключением, являются наложением спектров капрона и отверженного силоксанового покрытия. При этом сильного изменения уже имеющихся полос не наблюдается. Не обнаружено также и новых полос, что позволяет сделать вывод об отсутствии ковалентных связей между аминной группировкой капрона и кислородом силоксанового покрытия. Подтверждением этому являются литературные данные о степени ионизации связей Si–O и C=O [10]. Вследствие того, что электротрищательность атома кремния меньше по сравнению с атомом углерода, избыточный отрицательный заряд на атоме кислорода оказывается больше, чем на атоме кислорода в капроне. Благодаря этому водородная связь между группами NH капрона и кислородом силоксана оказывается энергетически более выгодной, чем связь между группами NH и C=O двух соседних молекул капрона. Образование водородных связей приводит к смещению полос поглощения в инфракрасных спектрах капроновой ткани с вулканизованным покрытием на основе жидких

силоксановых каучуков. Так, полоса поглощения капрона при 3300 см^{-1} смещается в область более низких волновых чисел (3295 см^{-1}) для капроновой ткани с вулканизированным покрытием на основе жидких силоксановых каучуков. Усиливается и смещается в сторону низких волновых чисел и полоса поглощения капрона Амид II (с 1560 до 1541 см^{-1}) при нанесении жидких силоксановых каучуков и последующей вулканизации.

Образование водородных связей между амидными NH-группами капрона и кислородом отверженного силоксана приводит к усилению валентных колебаний NH-групп в капроне (1464 см^{-1}). При отверждении жидких силоксановых каучуков, нанесенных на капрон, исчезает полоса поглощения в области 1029 см^{-1} , что соответствует плоскостным деформационным колебаниям фрагмента $-\text{CO}-\text{NH}-$ в капроне.

Образование водородных связей между протонами NH-группы и кислородом отверженного силоксана не оказывает существенного влияния на степень упорядоченности и ориентацию полиамида-6 (капрона), о чем свидетельствует сохранение

полос поглощения в инфракрасных спектрах капрона с отвержденным силоксановым покрытием в области 800 – 1050 см^{-1} .

Таким образом, при отверждении покрытий на основе жидких силоксановых каучуков методом полиприсоединения реакция протекает без выделения побочных соединений со 100 %-ным выходом структурированного эластомера. Это позволяет повысить пожарную безопасность материалов с вулканизированным силоксановым покрытием и их физико-механические свойства.

Вулканизированные покрытия на основе жидких силоксановых каучуков полностью устраниют плавкость капрона из-за образования водородных связей между NH-группами капрона и кислородом отверженного силоксана и благодаря коксообразованию повышают пожарную безопасность получаемых материалов с силоксановым покрытием.

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

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. Долгов О. Н., Воронков М. Г., Гринблат М. П. Кремнийорганические жидкие каучуки и материалы на их основе. — Л. : Химия, 1975. — С. 24–31.
3. Ruan J. W., Speier J. L. The Addition of Silicon Hydrides to Olefinic Double Bonds. VIII. The Addition of Trichlorosilane // J. Amer. Chem. Soc. — 1964. — Vol. 86, No. 5. — P. 895–898.
4. Жданов А. А., Гутцайт Э. Ю., Северный В. В., Андрианов К. А. Реакция полиприсоединения как метод отверждения кремнийорганических полимеров / В кн.: Кремнийорганические соединения. — М. : НИИТЭХИМ, 1967. — С. 147–152.
5. Дехант И., Данц Р., Киммер В., Шмольке Р. Инфракрасная спектроскопия полимеров. — М. : Химия, 1976. — С. 315–338.
6. Андрианов К. А. Методы элементоорганической химии. Кремний. — М. : Наука, 1968. — С. 645–655.
7. Капустина А. А., Шапкин Н. П., Баданова Н. А. Изучение взаимодействия хлорида кобальта с полифенилсилоксаном // Изв. вузов: Химия и хим. технология. — 2011. — Т. 54, вып. 1. — С. 61–65.
8. Наканиси К. Инфракрасные спектры и строение органических соединений. — М. : Мир, 1965. — С. 36–41.
9. Сильверстейн Р., Басслер Г., Моррил Т. Спектрофотометрическая идентификация органических соединений. — М. : Мир, 1977. — С. 125–276.
10. Шетц М. Силиконовый каучук. — М. : Химия, 1975. — 192 с.

*Материал поступил в редакцию 3 марта 2011 г.
Электронный адрес авторов: Timofeeva63@bk.ru.*



В. М. Балакин
канд. хим. наук, профессор
Уральского государственного
лесотехнического университета
(УГЛТУ), г. Екатеринбург, Россия



А. В. Стародубцев
аспирант Уральского
государственного лесотех-
нического университета,
г. Екатеринбург, Россия



М. А. Красильникова
аспирант УГЛТУ, заведующая
лабораторией Уральского
института ГПС МЧС России,
г. Екатеринбург, Россия



А. П. Киселева
студент Уральского государ-
ственного лесотехнического
университета, г. Екатерин-
бург, Россия

УДК 620.197.6;678.049.91:532.72

ОГНЕЗАЩИТНЫЕ СОСТАВЫ ДЛЯ ДРЕВЕСИНЫ НА ОСНОВЕ ПРОДУКТОВ АМИНОЛИЗА ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА МОНОЭТАНОЛАМИНОМ

Изучена реакция аминолиза полиэтилентерефталатаmonoэтаноламином. Методами ИК-спектроскопии и элементного анализа установлена структура продуктов аминолиза полиэтилентерефталата monoэтаноламином. Из продуктов аминолиза получены фосфорсодержащие замедлители горения; изучена их огнезащитная эффективность для древесины.

Ключевые слова: огнезащитный состав для древесины; полиэтилентерефталат; monoэтаноламин; аминолиз.

Древесина является одним из важнейших материалов, используемых в строительстве, изготовлении мебели, бумаги и в других целях. В настоящее время, несмотря на появление новых синтетических материалов, способных заменить древесину, ее значение для строительства и промышленности не снижается. Это объясняется тем, что этот материал не только легко поддается механической обработке, но и обладает рядом других ценных свойств, таких как относительно высокая прочность, небольшая плотность, малая теплопроводность. Однако серьезным недостатком древесины, ограничивающим ее использование, является повышенная горючесть, обусловленная органической природой материала [1, 2].

Ранее на кафедре технологии переработки пластических масс Уральского государственного лесотехнического университета (УГЛТУ) были разработаны рецептуры огнезащитных составов для древесины на основе фосфорсодержащих олигомеров и изучено влияние этих соединений на горючесть древесных плит [3–8].

Целью данной работы является получение и изучение свойств и огнезащитной эффективности антипиренов для древесины на основе продуктов аминолиза полиэтилентерефталата (ПЭТФ) monoэтаноламином (МЭА).

Для исследований использовался monoэтаноламин марки ЧДА, образцы полиэтилентерефталата (технологические отходы) с предприятия ЗАО “АДА Уралпласт” (г. Екатеринбург).

Процесс получения огнезащитного состава из отходов полиэтилентерефталата включал три стадии. На первой стадии реакция аминолиза ПЭТФ проводилась в трехгорлой колбе, снабженной механической мешалкой, обратным холодильником и термометром, при различном соотношении ПЭТФ и МЭА в течение 1,5–2 ч при температуре 150–160 °C. В процессе аминолиза происходило образование однородной массы светло-коричневого цвета, затвердевавшей при охлаждении. Нами предполагалось, что в процессе аминолиза ПЭТФ – МЭА могут образовываться три типа продуктов терефталевой кислоты: амиды (I), эфиры (II) и амидоэфиры (III) (рис. 1).

Путем подкисления реакционной массы соляной кислотой был выделен твердый порошкообразный продукт белого цвета, который методом фильтрации был отделен от жидкой фазы с последующей промывкой дистиллированной водой до нейтральной реакции. Высушенный при температуре 90 °C порошок был исследован методом элементного анализа и ИК-спектроскопии.

Из данных элементного анализа (табл. 1) следует, что в продукте аминолиза содержание элементов,

© Балакин В. М., Стародубцев А. В., Красильникова М. А., Киселева А. П., 2011

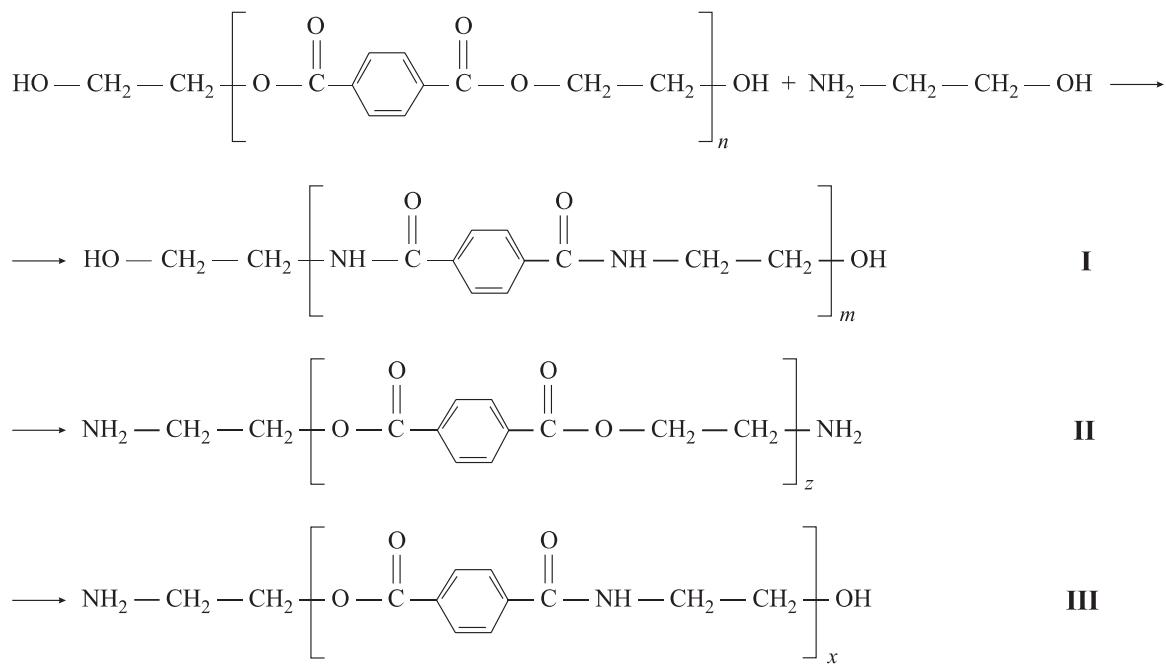


Рис. 1. Типы продуктов терефталевой кислоты: I — амиды; II — эфиры; III — амидоэфиры

Таблица 1. Данные элементного анализа продукта аминолиза ПЭТФ – МЭА

Элемент	Содержание, %, определенное	
	экспериментально	расчетом
C	56,94; 57,07	57,14
H	6,58; 6,73	6,35
N	11,19; 11,21	11,11

вычисленное и определенное практически, совпадает и соответствует химическому строению соединений I–III. Сравнивая ИК-спектры (рис. 2) полученного в результате реакции аминолиза порошка и исходного ПЭТФ, можно наблюдать, что полоса поглощения в области $1708,2 \text{ см}^{-1}$, характерная для валентных колебаний сложноэфирной группы исходного ПЭТФ, в продукте аминолиза отсутствует. В то же время в нем обнаружена полоса в области $1621,7 \text{ см}^{-1}$, что соответствует валентным колебаниям амидной группы ароматических амидов, а также полоса $1074,9 \text{ см}^{-1}$, характерная для первичных спиртовых групп [9]. На этом основании был сделан вывод, что полученный при аминолизе твердый продукт является диамидом терефталевой кислоты (I).

Для получения огнезащитных составов из продуктов аминолиза ПЭТФ – МЭА (полученных при различных соотношениях ПЭТФ и МЭА по массе) применялись два метода. По первому методу реакционная масса, полученная в результате реакции аминолиза, подвергалась реакции фосфорилирования по методу Кабачника – Филдса [10] с последующей нейтрализацией амиаком смеси альфамети-

Таблица 2. Физико-химические свойства огнезащитных составов на основе продуктов аминолиза ПЭТФ – МЭА при их различных соотношениях

Характеристика ОЗС	Значение показателя при ПЭТФ:МЭА					
	с выделением осадка		без выделения осадка			
	1:1	1:1,5	1:2	1:1	1:1,5	1:2
Внешний вид	Жидкость коричневого цвета					
Массовая доля сухого остатка, %	42,22	44,87	43,7	45,13	41,27	42,10
Плотность, $\text{г}/\text{м}^3$	1,16	1,18	1,18	1,15	1,17	1,26
Условная вязкость, с	11	10	12	11	10	12
pH	7	7	7	7	7	7

ленфосфоновых кислот. По второму методу фосфорилированию подвергался маточник, полученный после отделения осадка, образующегося при подкислении соляной кислотой продукта реакции аминолиза. Краткая характеристика огнезащитных составов приведена в табл. 2.

Реакция фосфорилирования проводилась при температуре 90–100 °C в течение 2–3 ч при двукратном мольном избытке формальдегида, фосфористой кислоты к моноэтаноламину (рис. 3).

Для первичной сравнительной оценки эффективности огнезащитных составов (ОЗС) использовался метод “огневой трубы” по ГОСТ 17088–71 [11]. Определялась потеря массы образцов сосны размерами 100×35×5 мм в зависимости от расхода огнеза-

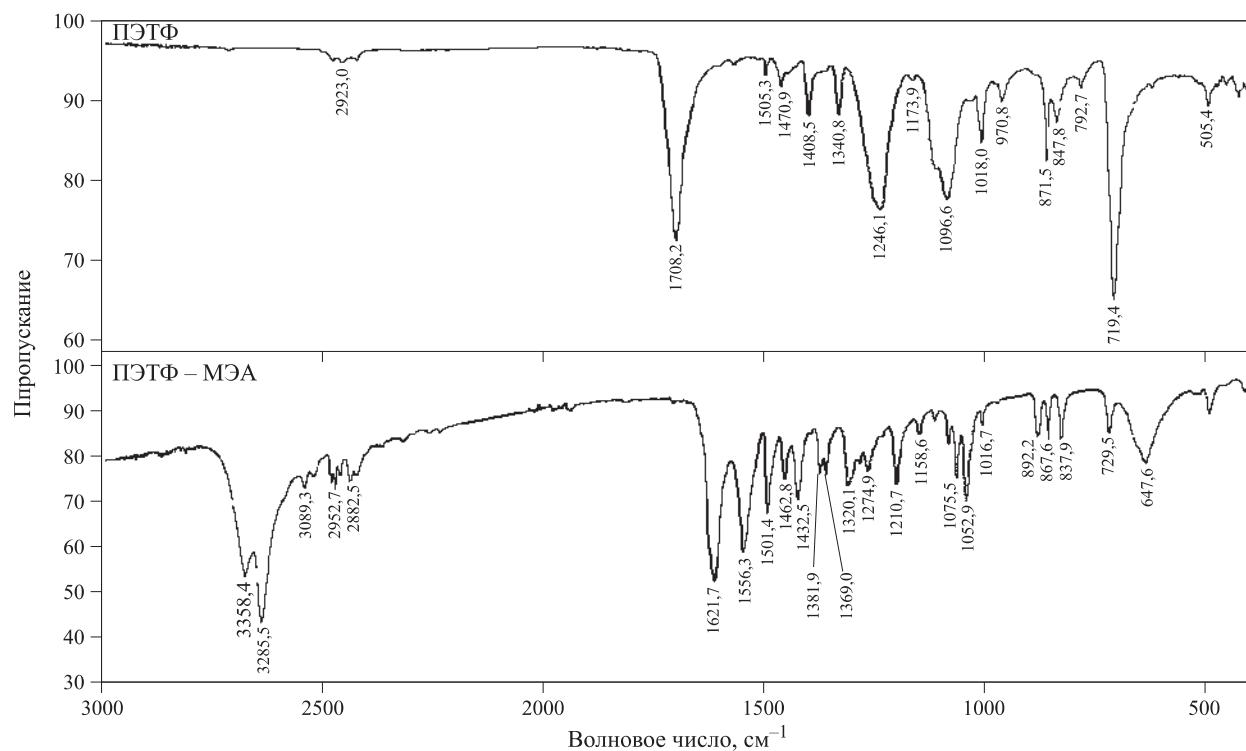


Рис. 2. ИК-спектр полиэтилентерефталата и продукта аминолиза ПЭТФ – МЭА при их соотношении 1:2

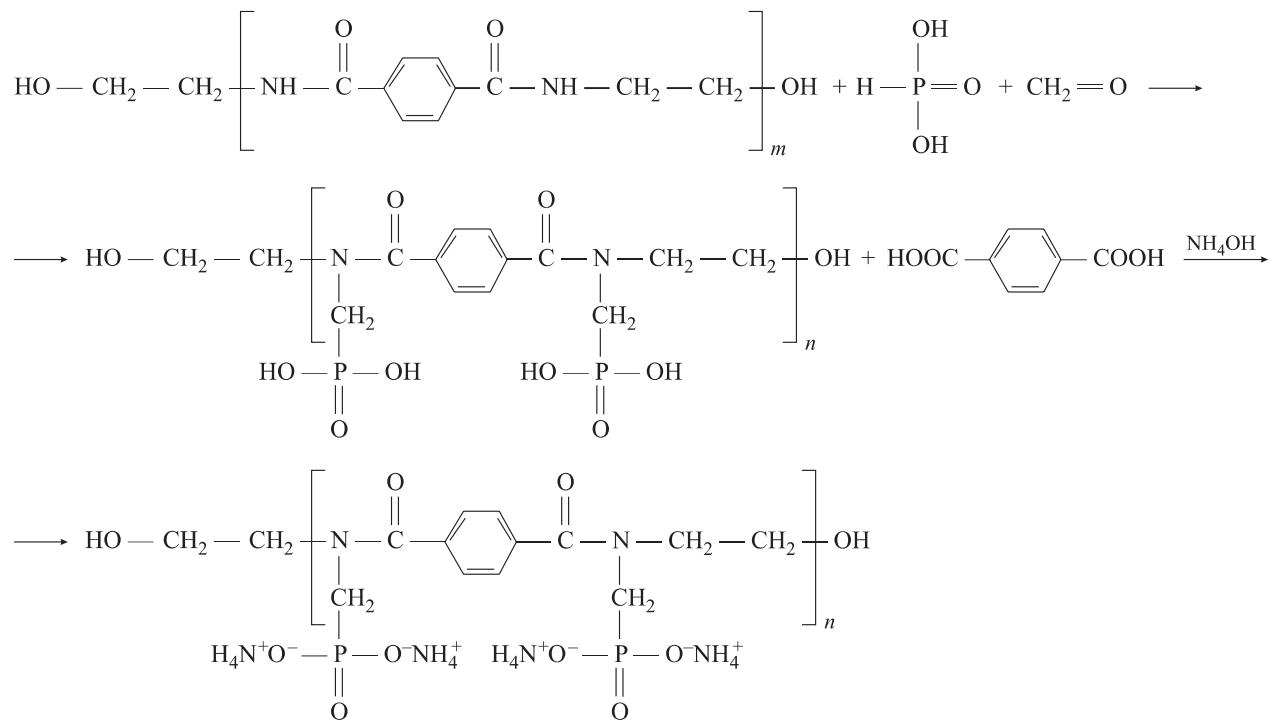


Рис. 3. Реакция фосфорилирования

щитного покрытия. Результаты испытаний приведены на рис. 4.

Как видно из рис. 4, наилучшими огнезащитными свойствами обладает состав, полученный из ма-точника после отделения осадка из реакционной массы в результате аминолиза ПЭТФ – МЭА при их

соотношении 1:2. При расходе состава 160 г/м² потеря массы древесины составляет менее 20 %, что позволяет отнести ее к трудногорючим материалам.

Для предварительной оценки огнезащитной эффективности в процессе разработки составов применялся метод, описанный в ГОСТ 16363–98 [12],

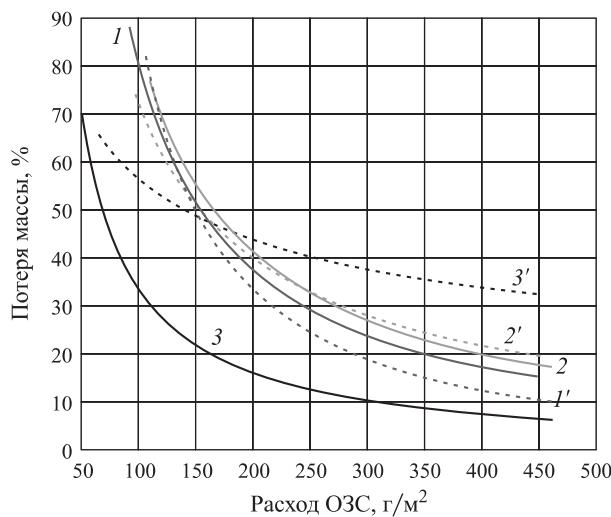


Рис. 4. Зависимость потери массы образца от расхода ОЗС на основе продуктов аминолиза ПЭТФ – МЭА при их соотношении 1:1 (I, I'), 1:1,5 (2, 2'), 1:2 (3, 3') на установке "огневая труба" с выделением осадка (I–3) и без него (I'–3')

с использованием установки типа ОТМ на образцах древесины сосны размерами 150×60×30 мм. Результаты испытаний приведены на рис. 5.

Данный состав обладает хорошими огнезащитными свойствами. При его расходе 50 г/м² потеря

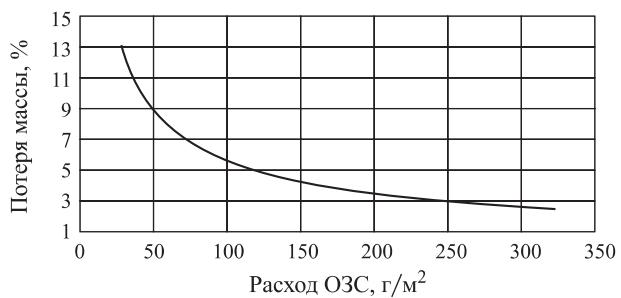


Рис. 5. Зависимость потери массы образцов от расхода антипирена, полученного на основе продуктов аминолиза ПЭТФ – МЭА при их соотношении 1:2 на установке типа ОТМ

массы древесины составляет менее 10 %, что делает ее трудногорючим материалом 1-го класса.

Таким образом, в результате реакции фосфорилирования продуктов аминолиза ПЭТФ моноэтаноламином с последующей нейтрализацией аммиаком были получены огнезащитные составы, содержащие аммонийные соли альфаметиленфосфоновых кислот, которые по предварительной первичной оценке обладают высокой огнезащитной эффективностью к древесине. В дальнейшем планируется провести испытания полученных огнезащитных составов согласно СП 2.13130.2009 [13].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Асеева Р. М., Заиков Г. Е. Горение полимерных материалов. — М. : Наука, 1981. — 280 с.
2. Асеева Р. М., Серков Б. Б., Севенков А. Б. Горение древесины и ее пожароопасные свойства : монография. — М. : Академия ГСП МЧС России, 2010. — 262 с.
3. Балакин В. М., Литвинец Ю. И., Полищук Е. Ю., Рукавишников А. В. Изучение огнезащитной эффективности азотфосфорсодержащих составов для древесины // Пожаровзрывобезопасность. — 2007. — Т. 16, № 5. — С. 39–41.
4. Балакин В. М., Литвинец Ю. И., Тюкина М. А. и др. Исследование огнезащитных составов на основе полизопропиламинопропаноламинометиленфосфатов // Технология древесных плит и пластиков : межвуз. сб. науч. тр. — Свердловск, 1989. — С. 76–81.
5. Балакин В. М., Литвинец Ю. И., Тюкина М. А. и др. Исследование влияния огнезащитных составов из отходов химических производств на свойства древесно-волокнистых плит // Технология древесных плит и пластиков : межвуз. сб. науч. тр. — Свердловск, 1987. — С. 88–94.
6. Балакин В. М., Литвинец Ю. И., Таланкин В. С. и др. Исследование влияния полиаминометиленфосфоната на свойства древесно-стружечных плит // Технология древесных плит и пластиков : межвуз. сб. науч. тр. — Свердловск, 1984. — С. 76–79.
7. Балакин В. М., Таланкин В. С., Литвинец Ю. И. и др. Исследование аминометиленфосфатов в качестве антипиренов для древесных плит // Технология древесных плит и пластиков : межвуз. сб. науч. тр. — Свердловск, 1983. — С. 76–79.
8. Балакин В. М., Красильникова М. А., Стародубцев А. В., Киселева А. П. Получение и свойства огнезащитных составов на основе продуктов аминолиза полиэтилентерефтала // Полимерные материалы пониженной горючести : тр. 6-й Международной конференции. — Вологда, 14–18 марта 2011 г. — С. 125–126.
9. Купцов А. Х., Жижин Г. Н. Фурье-КР и Фурье-ИК спектры полимеров. — М. : Физматлит, 2001. — 581 с.
10. Черкасов Р. А., Галкин В. И. Реакция Кабачника–Филдса: синтетический потенциал и проблема механизма // Успехи химии. — 1998. — Т. 67(10). — С. 940–967.

11. ГОСТ 17088–71. Пластмассы, метод определения горючести : введ. 05.08.71. — М. : Госстандарт, 1971.
12. ГОСТ 16363–98. Средства огнезащитные для древесины. Метод определения огнезащитных свойств : введ. 01.07.99. — М. : ИПК Изд-во стандартов, 1998; 2002.
13. СП 2.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты : введ. 01.05.2009 : утв. 25.03.2009 приказом МЧС России № 172. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.

Материал поступил в редакцию 25 мая 2011 г.
Электронные адреса авторов: *Balakin_v.m@mail.ru, Emopuragok@mail.ru*.

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

Учебное пособие

В. Н. Черкасов, В. И. Зыков

**Обеспечение
пожарной безопасности
электроустановок**



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

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



Web-сайт: firepress.ru

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

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



А. В. Некрасов
канд. техн. наук, доцент, доцент
Воронежского института ГПС
МЧС РФ, г. Воронеж, Россия



А. В. Калач
канд. хим. наук, доцент, заместитель начальника по научной работе Воронежского института ГПС МЧС РФ, г. Воронеж, Россия



А. А. Исаев
начальник учебного отдела
Воронежского института ГПС
МЧС РФ, г. Воронеж, Россия

УДК 614.84

ИДЕАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ – ОСНОВА СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ ПРЕДПРИЯТИЙ

Рассмотрены особенности концепции идеального моделирования технологического оборудования. Показана совместимость различных идеальных моделей как между собой, так и с требованиями пожарной безопасности.

Ключевые слова: пожарная безопасность; идеальное моделирование; гравитационные сепараторы.

Результаты расследований пожаров и взрывов на предприятиях пищевой промышленности показывают, что решение проблемы пожаровзрывобезопасности в отрасли связано прежде всего с обеспечением пожаровзрывобезопасности оборудования. Поэтому в комплексе технических мероприятий по улучшению системы противопожарной защиты на предприятиях отрасли важное место отводится повышению эксплуатационной надежности производственного оборудования, технического уровня его обслуживания и эксплуатации.

Создание принципиально новых технологий в пищевой промышленности и проведение глубокой модернизации существующего оборудования возможно только на основе научно обоснованных принципов разработки машинных технологий [1]. В качестве общей базы для обоснования методов проектирования машин различного назначения может выступать принцип идеализации.

Сущность концепции идеального моделирования заключается в абстрагировании от известных технических решений и в формулировании идеальных требований к оборудованию, затрагивающих только его основные качества и свойства.

Декларирование принципов идеального решения проблемы не приводит к непременному созданию идеальной машины или идеального аппарата. Тем не менее четкое формулирование конечных целей

создает предпосылки для организации поиска конструктивного исполнения тех или иных узлов проектируемого оборудования, которое соответствовало бы уровню идеального решения данной проблемы в гипотетическом устройстве.

Методика и приемы поиска идеальных решений таковы, что машины и аппараты, разработанные на базе узкоспециализированных моделей, должны удовлетворять ряду требований, предъявляемых к моделям для смежного оборудования и в целом для технологической линии. Более того, идеализированное решение технологических проблем создает предпосылки для решения сопутствующих важных задач — автоматизации производства, соблюдения требований охраны труда, обеспечения пожарной безопасности.

В качестве примера, подтверждающего совместимость различных идеальных моделей и требований пожарной безопасности, рассмотрим пути решения технологических задач на предприятиях хранения и переработки зерна.

Реализацией концепции идеализации в области сепарирования сыпучих материалов является модель идеального сепаратора Н. Е. Авдеева [2], на базе которой разработаны гравитационные сепараторы [3, 4], осуществляющие разделение только за счет потенциальной энергии продукта и отвечающие самым высоким современным требованиям [5]. На-

правления развития технологического процесса как единого целого представлены в виде проблем создания идеального технологического потока, сформулированных В. А. Панфиловым [1].

На рисунке представлена диаграмма, иллюстрирующая согласованность требований модели идеального сепаратора как с направлениями развития технологического потока, так и с условиями устранения факторов, необходимых для существования пожара. Сначала рассмотрим, как исполнение требований, предъявляемых к идеальному сепаратору, приводит к решению проблем развития идеального технологического потока.

Первая проблема — осуществление одинаковой производительности на всех операциях, объединенных в технологический поток. Решение ее состоит в устраниении зависимости качества продукции от скорости технологического потока.

В идеальном сепараторе продукт должен перемещаться с максимально возможной скоростью (см. рисунок, требование 1), т. е. требования идеального сепаратора и идеального технологического потока согласуются.

Гравитационный сепаратор осуществляет разделение в потоке, т. е. качество сепарирования (подчеркнем, именно состав получаемых фракций) не находится в жесткой взаимосвязи с толщиной слоя и скоростью его движения. Повышение производительности заключается в увеличении высоты слоя продукта на разделяющей поверхности и (или) скорости его движения. Требуемая чистота фракций достигается за счет увеличения длительности цикла обработки, т. е. количества последовательно установленных разделяющих элементов. При этом в связи с простотой конструкции металлоемкость увеличивается незначительно, дополнительные производственные площади не требуются. Более того, сепаратор можно устанавливать на месте самотеков, реализуя принцип совмещения операций сепарирования с межоперационным транспортированием. При таком увеличении производительности не только не изменяются энергозатраты, но и происходит повышение коэффициента использования энергии, подведенной к продукту и затрачиваемой ранее только на его вертикальное транспортирование.

Выполнение требований 2 и 3 (см. рисунок) приводит к повышению удельной производительности разделяющей поверхности сепаратора, что также способствует решению данной проблемы технологического потока.

Вторая проблема — сохранение коэффициента использования машин при увеличении числа объединяемых в технологический поток операций. Ее решение состоит, с одной стороны, в сокращении и

упрощении технологии, а с другой — в повышении надежности оборудования.

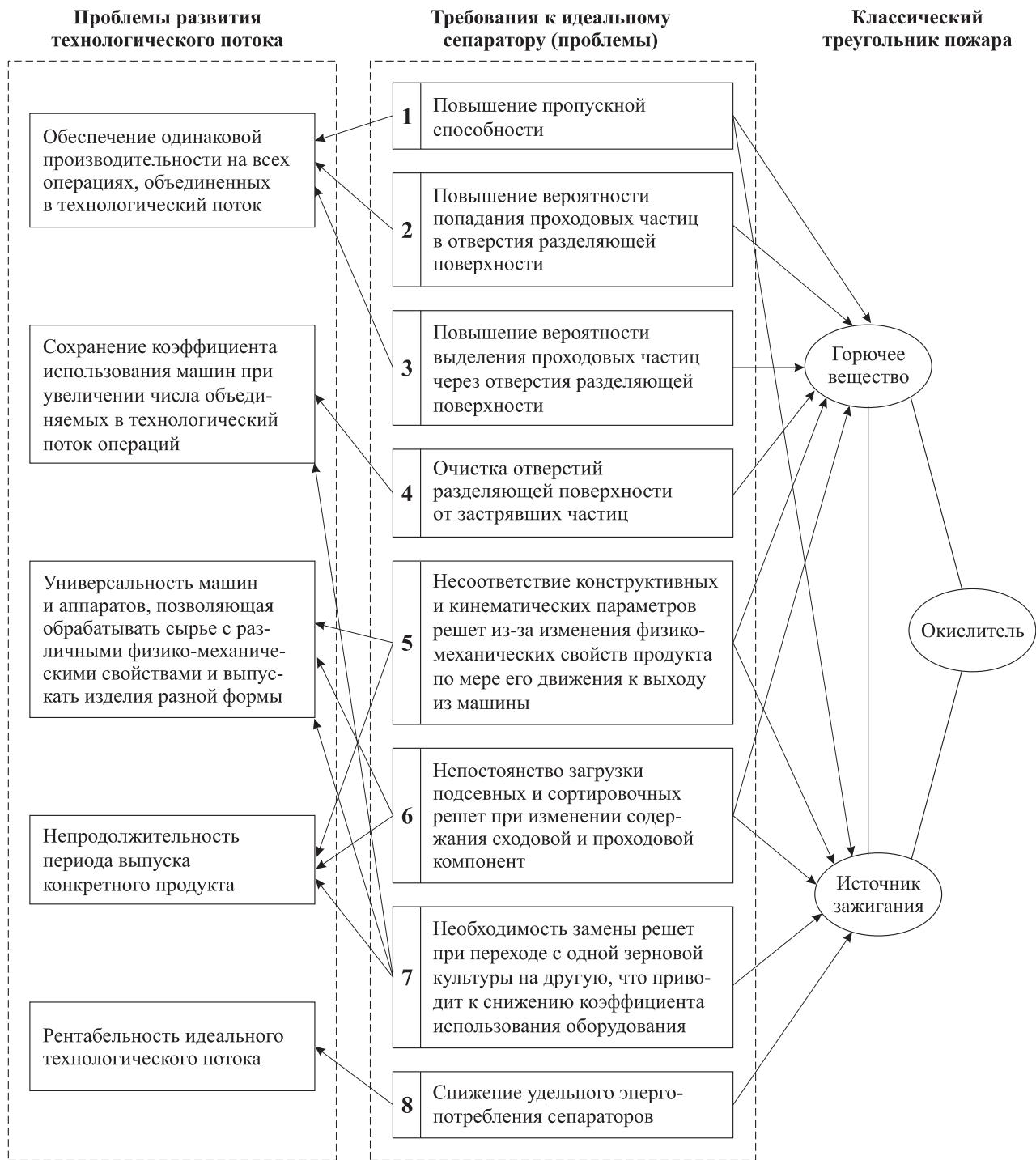
Гравитационные сепараторы по сути своей являются аппаратами. В них нет движущихся деталей — двигателей, элементов привода, громоздких решетных станов, подшипников, валов, очистительных устройств и т. д. Поэтому при правильной эксплуатации в них просто нечему выходить из строя. Кроме того, они требуют лишь периодической плановой замены просеивающих поверхностей и некоторых износившихся элементов. Таким образом, вероятность поломки таких сепараторов сведена к минимуму.

Применение гравитационных сепараторов вследствие значительного упрощения конструкции открывает широкие возможности в изменении и подборе параметров просеивающих отверстий (требование 7), компоновке разделяющих поверхностей, изменении их пространственной ориентации по отношению друг к другу, к обрабатываемому потоку, вспомогательным приспособлениям и устройствам. Принципы работы гравитационных сепараторов [3, 4] способствуют предотвращению забивания просеивающих отверстий (требование 4), что также определяет их высокую эксплуатационную надежность.

Третья проблема — универсальность машин и аппаратов, позволяющая обрабатывать сырье с различными физико-механическими свойствами и выпускать изделия различной формы. Решение этой проблемы заключается в создании линий, осуществляющих одновременное изготовление различных номенклатур изделий, что обеспечивает равномерный выпуск каждой номенклатуры и полностью устраняет частые переналадки линий.

Четвертая проблема, смежная с третьей, — непродолжительность периода выпуска конкретного продукта, обусловленная низкой потребностью в большом ассортименте. Ее решение предполагает обеспечение универсальности линий относительно исходного сырья, и прежде всего формы изделия.

Разработанные на основе модели идеального сепаратора разделяющие поверхности гравитационных сепараторов (с щелевыми просеивающими отверстиями [3] и клиновидными калибрующими каналами [4]) позволяют регулировать состав проходовой фракции без замены просеивающих поверхностей и остановки технологического процесса (требования 5–7). Тем самым обеспечивается стабилизация свойств целевого продукта при изменении состава исходной смеси и быстрый переход к получению фракций с новыми свойствами. Кроме того, в гравитационных сепараторах с указанными рабочими органами возможна реализация принципа многофракционного сепарирования, т. е. одновре-



Взаимосвязь требований правил пожарной безопасности, идеального технологического потока и идеального сепаратора (стрелками показаны связи между требованиями)

менного получения на выходе нескольких фракций с различными свойствами. Таким образом, применение гравитационных сепараторов позволяет решить две последние проблемы.

Пятая проблема — *рентабельность созданного идеального технологического потока*.

Совершенно очевидно, что срок окупаемости гравитационных сепараторов, не использующих материалоемкие и дорогостоящие детали и узлы, будет

значительно ниже, чем у традиционных машин. Поэтому экономический эффект от их внедрения не вызывает сомнений (требование 8).

В итоге гравитационные сепараторы, разработанные на основе модели идеального сепаратора, полностью удовлетворяют основным критериям создания идеального технологического потока.

Теперь рассмотрим вклад решения проблемы идеального сепаратора в устранение факторов, обу-

славливающих возникновение пожара. Повышение производительности сепаратора (требование 1), повышение эффективности разделения (требования 2 и 3), ликвидация явления забивания просеивающих отверстий (требование 4), согласование конструктивных и кинематических параметров устройства со свойствами продукта (требования 5 и 6) способствуют надежной работе сепаратора как транспортера без забивания разделяющих поверхностей и образования заторов, а также скорейшему и качественному удалению пыли из продукта, т. е. *устранению горючего вещества*.

Отсутствие условий, обеспечивающих образование заторов продукта (требования 1, 5–7), а также электропривода, движущихся деталей и узлов, опасных в плане перегрева и образования искры (требование 8), в совокупности способствует *устранению источника зажигания*.

Модель идеальной машины — это открытая система требований. Требования к идеальному сепаратору не исчерпываются приведенным перечнем (более подробно они изложены в [2]), а диаграмма может быть дополнена другими связями.

Таким образом, идеальные модели, сформулированные для различных видов технологического оборудования, в силу учета только основных неотъемлемых его свойств имеют в своей основе общие базовые положения, обеспечивающие взаимную совместимость в технологической линии машин разного назначения, высокий уровень организации (целостности) технологического потока.

Машины и аппараты, разработанные на базе узкоспециализированных моделей, являются основой создания технологических линий, соответствуют самым высоким экологическим, санитарным и противопожарным требованиям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Панфилов В. А. Технологические линии пищевых производств. — М. : Колос, 1993. — 288 с.
2. Авдеев Н. Е., Некрасов А. В., Резуев С. Б., Чернухин Ю. В. Перспективные типы центробежных и гравитационных сепараторов. Теория и анализ конструкций. — Воронеж : Воронежский государственный университет, 2005. — 637 с.
3. Пат. 2147257 РФ. Классификатор сыпучих материалов / Н. Е. Авдеев, Ю. В. Чернухин, А. В. Некрасов. — № 99101259/13 ; заявл. 26.01.99 ; опубл. 10.04.2000, Бюл. № 10.
4. Пат. 2163846 РФ. Загрузочно-распределительное устройство для сыпучих материалов / Н. Е. Авдеев, Ю. В. Чернухин, А. В. Некрасов. — № 99121549/03 ; заявл. 14.10.99 ; опубл. 10.03.2001, Бюл. № 7.
5. Некрасов А. В., Калач А. В., Исаев А. А. Повышение пожарной безопасности зерноперерабатывающих предприятий за счет использования гравитационных сепараторов // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 7. — С. 18–20.

Материал поступил в редакцию 27 июня 2011 г.
Электронные адреса авторов: nekrasov_a_v@mail.ru;
a_kalach@mail.ru; vigps@mail.ru.



И. К. Бакиров

старший преподаватель ГОУ ВПО "Уфимский государственный нефтяной технический университет", г. Уфа, Республика Башкортостан

УДК 614.842/49;84/076

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОЦЕНКИ ПОЖАРНЫХ РИСКОВ ТВЕРДЫХ ГОРЮЧИХ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ НА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ И СКЛАДСКИХ ОБЪЕКТАХ

Рассмотрены проблемы определения расчетных величин пожарных рисков по методике, утвержденной в МЧС России; предложен другой подход к определению пожарных рисков твердых горючих веществ; использованы материалы по количеству пожаров в России.

Ключевые слова: пожарный риск; допустимый пожарный риск; опасные факторы пожара; удельная массовая скорость выгорания; вероятность.

С введением с 1 мая 2009 г. Технического регламента о требованиях пожарной безопасности большую актуальность приобретает оценка пожарных рисков, экспертиза проектной документации, пожарный аудит, разработка декларации пожарной безопасности. В связи с этим ВНИИПО разработаны и утверждены две методики определения расчетных величин пожарных рисков на производственных объектах и объектах разной функциональной пожарной опасности. Разработан также проект методики оценки пожарного риска для зданий (помещений), в которых обращаются легковоспламеняющиеся и горючие жидкости. Однако до сих пор отсутствует методика оценки пожарных рисков для твердых горючих материалов.

Важной характеристикой при определении пожарных рисков является вероятность возникновения пожара. Основные формулы для определения пожарных рисков состоят из произведения вероятностей. Согласно статистическим данным [1] количество пожаров по видам твердых горючих материалов в России за два последних года распределялось следующим образом (табл. 1).

Известно также общее количество пожаров и погибших на них в РФ: в 2010 г. — 179 098 пожаров (что на 4,5 % меньше, чем в прошлом году), погибло свыше 12 983 чел. (на 6,9 % меньше по сравнению с прошлым годом); в 2009 г. — 187 490 пожаров, погибло 13 933 чел.; в 2008 г. — 202 002 пожаров (−7,2 %), погибло 15 301 чел. (−8,9 %).

Таблица 1. Распределение количества пожаров по видам твердых горючих материалов в РФ

Твердый горючий материал	2009 г.	2010 г.
Деревянные, бумажные изделия и материалы	70986	65329
Строительные материалы	11200	11968
Отделочные материалы	11780	12382
Одежда, текстиль, спальные принадлежности	18281	15984
Теплоизоляционные и гидроизоляционные материалы	2610	2199
Мебель	7747	6452
Отходы производства, прочие материалы (мусор)	17021	13157
Изоляционные материалы токоведущих частей	24783	26306
Прочие материалы	—	5853
Материал не установлен	9932	8122

Есть также данные по некоторым твердым горючим материалам, начиная с 2000 г. Исходя из этой информации, определим вероятность пожаров для дерева и бумажных изделий P_d :

$$2009 \text{ г.: } P_d^{2009} = m/n = 70986/187490 = 0,3786;$$

$$2010 \text{ г.: } P_d^{2010} = m/n = 65329/179098 = 0,3648,$$

где P_d^{2009} и P_d^{2010} — вероятность пожаров для дерева и бумажных изделий за 2009 и 2010 гг. соответственно;

m — количество пожаров при горении дерева и бумажных изделий в 2009 и 2010 гг. соответственно;

n — общее количество пожаров в 2009 и 2010 гг. соответственно.

Теперь установим среднюю вероятность пожара для дерева и бумажных изделий по данным за последние годы и примем эту величину как общую вероятность пожара для дерева и бумажных изделий в Российской Федерации:

$$P_{\text{д}}^{\text{общ}} = (P_{\text{д}}^{2009} + P_{\text{д}}^{2010})/2 = \\ = (0,3786 + 0,3648)/2 = 0,3717 = 3,7 \cdot 10^{-1},$$

где $P_{\text{д}}^{\text{общ}}$ — средняя вероятность пожара для дерева и бумажных изделий за последние два года.

По этому методу определим вероятности пожара для всех твердых горючих материалов, на которые есть данные по пожарам. В результате получим таблицу вероятностей, которую можно использовать при расчетах по методике оценки пожарных рисков для твердых горючих материалов (табл. 2).

Пожары классифицируются по видам материалов следующим образом: пожары твердых горючих веществ и материалов (A); пожары горючих жидкостей или плавящихся твердых веществ и твердых горючих материалов (B); пожары газов (C); пожары металлов (D); пожары горючих веществ и твердых горючих материалов электроустановок, находящихся под напряжением (E); пожары ядерных твердых горючих материалов, радиоактивных отходов и радиоактивных веществ (F) [2].

Рассмотрим методику определения расчетных величин пожарных рисков на объектах производственного и складского назначения как более подход-

ящую, так как в расчетах она учитывает виды твердых горючих материалов и технологические процессы. За основной вид материала примем твердые горючие материалы (пожар класса A). Если на объекте несколько видов твердых горючих материалов, сделаем выбор, исходя из вероятности возникновения пожара или статистической информации по тому или иному материалу; определим, какой из них наиболее часто фигурирует на пожарах, и расчет будем проводить по этому материалу. Если статистическая информация по материалам отсутствует, будем вести расчет по наиболее опасному в пожарном отношении материалу с наиболее пожароопасной характеристикой, влияющей на величины пожарного риска в формулах, — массовой скоростью выгорания. Чем больше массовая скорость выгорания, тем опаснее твердый горючий материал и тем больше расстояние до безопасной зоны.

В табл. 3 показана зависимость расстояния до безопасной зоны от эффективного диаметра пожарной нагрузки (площади пожара при круговой форме пожара) и вида пожарной нагрузки (массовой скорости выгорания твердого горючего материала).

Если массовая скорость выгорания у применяемых твердых материалов одинаковая, то будем учитывать количество хранящихся или обращающихся в технологическом процессе твердых горючих материалов и расчет вести по материалу, количество которого в 1,5 и более раз больше других. Будем также учитывать другие пожароопасные свойства твердых горючих веществ — показатель горючести (G_1, G_2, G_3, G_4), температуры тления, воспламенения и самовоспламенения, линейную скорость распространения пламени, теплоту сгорания. Однако теплота сгорания и другие свойства учитываются в методике при расчетах пожарных рисков в зданиях, а массовая скорость выгорания — при пожарах вне зданий. В связи с этим прежде всего следует решить, какой пожарный риск необходимо определить — в здании или вне зданий.

Выбор одного твердого горючего материала упростит порядок расчетов и позволит сократить их объемы.

В интервью заместитель директора Департамента надзорной деятельности МЧС России А. Н. Гилевич отметил, что наиболее сложным является построение полей ОФП [3]. Кстати, в утвержденных методиках определения расчетных величин пожарных рисков порядок определения полей ОФП не раскрывается.

Размеры зоны поражения зависят от площади пожарной нагрузки и от вида твердого горючего материала (рис. 1).

Зададимся целью построить зависимость радиуса зоны поражения от вида твердого горючего мате-

Таблица 2. Вероятность возникновения пожара для твердых горючих веществ

Твердый горючий материал	Вероятность
Деревянные, бумажные изделия и материалы	$3,7 \cdot 10^{-1}$
Строительные материалы	$6,3 \cdot 10^{-2}$
Отделочные материалы	$6,6 \cdot 10^{-2}$
Одежда, текстиль, спальные принадлежности	$9,3 \cdot 10^{-2}$
Теплоизоляционные и гидроизоляционные материалы	$1,3 \cdot 10^{-2}$
Мебель	$3,9 \cdot 10^{-2}$
Отходы производства, прочие материалы (мусор)	$8,2 \cdot 10^{-2}$
Изоляционные материалы токоведущих частей	$1,4 \cdot 10^{-1}$
Прочие материалы	$1,6 \cdot 10^{-2}$
Материал не установлен	$4,9 \cdot 10^{-2}$

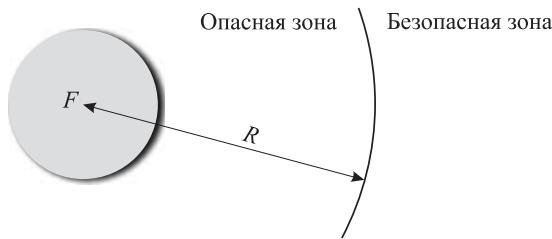


Рис. 1. Зона пожарной нагрузки и зона поражения: R — расстояние от центра пожарной нагрузки до безопасной зоны

риала и эффективного диаметра пожарной нагрузки. Такая зависимость определит порядок построения зон поражения в разрабатываемой методике без сложных сомнительных расчетов.

Найдем эффективный диаметр пожарной нагрузки. Условно примем площадь пожарной нагрузки за всю площадь горения. Этот диаметр в утвержденной методике принимается при круговой площади горения (площади пролива) и не всегда реально отражает действительную форму площади горения, особенно твердой пожарной нагрузки. Примем в качестве формы горения основные геометрические фигуры — круг, прямоугольник, треугольник. Если нельзя однозначно определить форму пожара, будем ее приближать по визуальному сходству к той или иной форме.

Выведем формулы для определения эффективного диаметра с учетом формы пожара.

Эффективный диаметр d (м) для *круговой формы пожарной нагрузки* (рис. 2) рассчитывается по формуле [4]:

$$d = \sqrt{4F/\pi}, \quad (1)$$

где F — площадь пожарной нагрузки, м^2 .

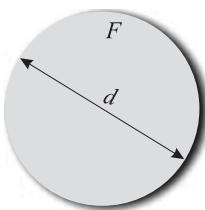


Рис. 2. Круговая форма пожара

При *прямоугольной форме пожара* (рис. 3) формулу для нахождения его эффективного диаметра выведем в зависимости от длин сторон прямоугольника и свойств соотношения между сторонами прямоугольного треугольника (теорема Пифагора). Эффективный диаметр примем равным диаметру описанной вокруг прямоугольника окружности, так как это наибольшее расстояние от очага пожара при прямоугольной форме и, соответственно, наиболее опасное:

$$d = \sqrt{a^2 + b^2}. \quad (2)$$

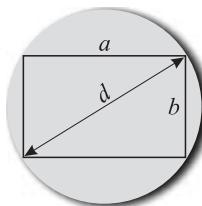


Рис. 3. Прямоугольная форма пожара

При *треугольной форме пожара* (рис. 4) формулу для нахождения эффективного диаметра выведем в зависимости от площади треугольника по одной из формул для определения последней. Возможно нахождение его и по другим параметрам треугольника, например по одному или двум углам, либо по формуле для определения площади равностороннего треугольника. Примем, что при треугольной форме пожара исходя из исходной информации легче получить площадь треугольника и длины его сторон, чем углы треугольника. Эффективный диаметр будет равен описанной вокруг треугольника окружности. Основная формула эффективного диаметра при треугольной форме пожара будет выглядеть следующим образом:

$$d = \frac{abc}{2F}, \quad (3)$$

где a, b, c — стороны треугольника;
 F — площадь треугольника.

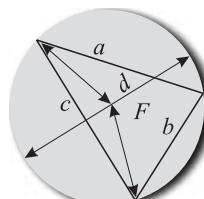


Рис. 4. Треугольная форма пожара

Для прямоугольной и треугольной форм пожара получается много числовых значений его площади, ведь необходимо задавать не только площади, но и длины сторон для каждого варианта площади пожара. Поэтому в случае прямоугольной или треугольной формы пожара не будем устанавливать зависимость эффективного диаметра от площади пожара и длины сторон. В этом случае необходим индивидуальный подход, т. е. вычисления эффективного диаметра следует проводить для каждой конкретной длины стороны.

Построим график зависимости площади пожара от эффективного диаметра для круговой формы пожарной нагрузки (рис. 5).

Как видно из рис. 5, график “убывающий”, т. е. чем больше площадь пожара, тем меньше расстояние от очага пожара относительно предыдущих значений, а площадь пожара увеличивается быст-

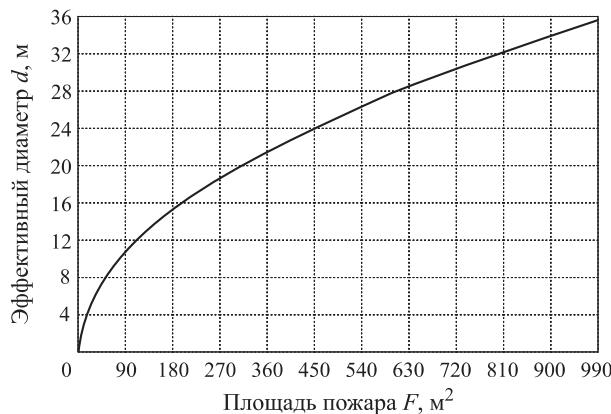


Рис. 5. Зависимость площади пожара от его эффективного диаметра

рее, чем эффективный диаметр или диаметр круга (площади пожара).

Характеристикой вида твердого горючего материала является удельная массовая скорость выгорания m' ($\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$), а площади пожарной нагрузки — ее эффективный диаметр d (м).

Эффективный диаметр пожарной нагрузки определен. Теперь найдем удельную массовую скорость выгорания m' и плотность воздуха ρ_a при определенной нами максимальной температуре наружного воздуха в зависимости от региона или субъекта РФ по справочной литературе [4]. Температуру воздуха установим по СНиП 23-01-99* “Строительная климатология” и исходя из нее определим плотность воздуха. Соответственно, выберем наиболее высокую возможную температуру в регионе, как наиболее опасную.

Данные по массовой скорости выгорания для твердых горючих материалов можно определить по книгам по физико-химическим основам горения, пособию по расчету пожарных рисков на производственных объектах, разработанному ВНИИПО МЧС России, и в интернет-ресурсах. И тем не менее для многих твердых горючих материалов массовую скорость выгорания найти не удается.

Есть мнение, что массовую скорость выгорания необязательно вычислять, так как она не является показателем, влияющим на пожарную опасность твердых горючих материалов [5]. Однако после анализа формул для определения показателей с целью оценки пожарных рисков производственных объектов можно сделать вывод: основным показателем, характеризующим твердое горючее вещество, от которого зависит безопасное расстояние до пожара, является массовая скорость выгорания.

Докажем, что именно от массовой скорости выгорания твердого горючего материала зависит расстояние до безопасной зоны.

Для этого примем исходные условия, при которых будет определяться зависимость безопасных расстояний от массовой скорости выгорания: во-первых, человек (облучаемый объект) стоит на границе между опасной и безопасной зонами; во-вторых, граница между безопасной и опасной зонами — это граница между интенсивностью теплового излучения более и менее $4 \text{ кВт}/\text{м}^2$; в-третьих, установим, что площадь пожарной нагрузки первоначально одинаковая для всех вариантов при определении границы, потом уже можно проводить вычисления и по другим площадям пожарной нагрузки.

Удельная массовая скорость выгорания топлива необходима для вычисления длины пламени L , которая в свою очередь применяется для расчета параметра a , необходимого для вычисления коэффициентов A, B, E . Параметры A, B, E используются в расчете факторов облученности для вертикальной (F_V) и горизонтальной (F_H) площадок. Факторы облученности используются в расчете углового коэффициента облученности F_q , который содержится в формуле для расчета интенсивности теплового излучения q . От интенсивности теплового излучения зависит расстояние до безопасной зоны [4]. Необходимо найти такую интенсивность, которая была бы равна $4 \text{ кВт}/\text{м}^2$. Тогда мы определим границу между безопасной и опасной зонами и, соответственно, расстояние до безопасной зоны.

Таким образом, можно сделать вывод, что от массовой скорости выгорания твердых горючих веществ зависит расстояние от очага пожара до безопасной зоны.

В зависимости от массовой скорости выгорания твердого горючего материала при одинаковой площади пожара (10 м^2) безопасное расстояние может колебаться от 2,356 до 10,425 м. Исходя из этого определим, что массовая скорость выгорания является самой важной пожароопасной характеристикой при вычислении пожарных рисков твердых горючих материалов.

В настоящее время в нормативных документах метод определения массовой скорости выгорания твердых горючих материалов не разработан, поэтому это можно считать темой для дальнейших научных исследований.

Далее, определив массовую скорость выгорания, найдем высоту пламени по формуле [4]:

$$H = 42d [m' / (\rho_a \sqrt{gd})]^{0,61}, \quad (4)$$

где ρ_a — плотность окружающего воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$;
 g — ускорение свободного падения ($9,81 \text{ м}/\text{с}^2$).

Примем интенсивность теплового излучения на границе между безопасной и опасной зонами $4 \text{ кВт}/\text{м}^2$, так как при интенсивности теплового излучения более $4 \text{ кВт}/\text{м}^2$ без брезентовой одежды че-

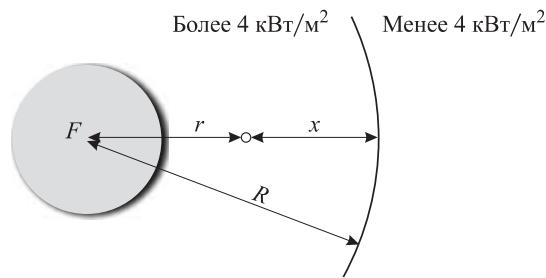


Рис. 6. Схема границ безопасной и опасной зон при круговой форме пожара: r — расстояние от центра пожарной нагрузки до облучаемого объекта; x — расстояние от облучаемого объекта до безопасной зоны

ловек может получить ожоги [4]. В безопасной зоне интенсивность теплового излучения будет менее $4 \text{ кВт}/\text{м}^2$, а в опасной зоне — более $4 \text{ кВт}/\text{м}^2$ (рис. 6).

Для определения расстояния до безопасной зоны условно зададим условие: облучаемый объект расположен на границе между безопасной и опасной зонами. Соответственно, $R = r$, $x = 0$ (см. рис. 1).

В условиях будем также задавать расстояние до облучаемого объекта r , которое одновременно является расстоянием до безопасной зоны R в интервале от 2 м до 40 м. Подставление расстояний в формулу (6) проведем через интервалы значений эффективного диаметра при круговой форме пожара, соответствующих определенным площадям пожарной нагрузки для каждого вида твердого горючего материала. Площади пожарной нагрузки будем определять через каждые $15-25 \text{ м}^2$ в интервале от 10 до 1000 м^2 . Каждому значению площади пожарной нагрузки будет соответствовать и определенный эффективный диаметр (см. рис. 5). Проведем вычисления, подставляя данные до тех пор, пока не будет получено значение теплового излучения $4 \text{ кВт}/\text{м}^2$ для каждого вида твердого горючего материала и для каждой площади пожарной нагрузки. При этом основной характеристикой вида твердого горючего материала в соответствии с формулами определена массовая скорость выгорания твердого горючего материала. Другими словами, если будет известна массовая скорость выгорания твердого горючего материала, можно будет определить безопасные расстояния при разных площадях пожарной нагрузки твердого горючего материала при возникновении пожара.

Необходимые для вычислений показатели определим для каждого вида твердого горючего материала по формулам [4]:

$$h = 2H/d; \quad (5)$$

$$S = 2r/d; \quad (6)$$

$$A = (h^2 + S^2 + 1)/(2S); \quad (7)$$

$$B = (1 + S^2)/(2S). \quad (8)$$

Определим также для каждого вида твердого горючего материала факторы облученности для вертикальной (F_V) и горизонтальной (F_H) площадок по формулам [4]:

$$F_V = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{S} \operatorname{arctg} \left(\frac{h}{\sqrt{S^2 - 1}} \right) - \frac{h}{S} \left\{ \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{S-1}{S+1}} \right) - \frac{A}{\sqrt{A^2 - 1}} \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{(A+1)(S-1)}{(A-1)(S+1)}} \right) \right\} \right]; \quad (9)$$

$$F_H = \frac{1}{\pi} \left[\frac{(B - 1/S)}{\sqrt{B^2 - 1}} \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{(B+1)(S-1)}{(B-1)(S+1)}} \right) - \frac{(A - 1/S)}{\sqrt{A^2 - 1}} \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{(A+1)(S-1)}{(A-1)(S+1)}} \right) \right]. \quad (10)$$

Найдем угловой коэффициент облученности [4]:

$$F_q = \sqrt{F_V^2 + F_H^2}. \quad (11)$$

Вычислим коэффициент пропускания атмосферы [4]:

$$\tau = \exp [-7 \cdot 10^{-4} (r - 0,5d)] = e^{-7 \cdot 10^{-4} (r - 0,5d)}. \quad (12)$$

Установим среднеповерхностную интенсивность (плотность) теплового излучения пламени E_f для твердых горючих материалов равной $40 \text{ кВт}/\text{м}^2$ [6].

Определим интенсивность теплового излучения q ($\text{kВт}/\text{м}^2$):

$$q = E_f F_q \tau. \quad (13)$$

Затем, как было отмечено выше, будем подставлять числовые значения до тех пор, пока интенсивность не станет равной $4 \text{ кВт}/\text{м}^2$. При достижении такого равенства, а именно $4 = E_f F_q \tau$, мы найдем расстояние до облучаемого объекта r , которое одновременно является и расстоянием до безопасной зоны R .

Произведем такие вычисления для каждого вида твердого горючего материала при каждом значении площади пожарной нагрузки или эффективного диаметра пожарной нагрузки. Полученные данные сведем в табл. 3 (даннные представлены не полностью).

По такой таблице можно быстро и без сложных, в том числе компьютерных, вычислений и графических построений определить безопасное расстояние от очага пожара до безопасной зоны, а также расстояние до облучаемого объекта в зависимости от вида твердого горючего материала и площади пожара. Кроме того, по ней можно определить указанные расстояния в зависимости от вида твердого горючего материала и эффективного диаметра при других формах пожара. Данные расстояния — это

Таблица 3. Зависимость расстояния до безопасной зоны от эффективного диаметра, площади и вида пожарной нагрузки (массовой скорости выгорания твердого горючего материала)

$F, \text{m}^2/d, \text{м}$	Расстояние $R, \text{м}$, до безопасной зоны при разных видах пожарной нагрузки					
	Линолеум, кожа искусственная	Пенополиуретан (фасадные термопонели, плиты, сэндвич-панели для изоляции зданий и сооружений, полуцилиндры, плинтусы, розетки, элементы мебели "под дерево", спасательные жилеты, буйки)	Сено, солома (влажность до 8 %)	Бумага (книги, журналы, газеты)	Книги на деревянных стеллажах, а также торфоплиты	Фенопласт (пластмассовые корпуса, изделия из пластмассы технического назначения)
	при $m', \text{кг}/(\text{м}^2\cdot\text{с})$					
	0,0001	0,0028	0,0037	0,0042	0,0055	0,058
10/3,57	2,356	4,468	4,765	4,893	5,195	5,258
25/5,64	3,789	6,724	7,139	7,341	7,790	7,879
50/7,98	5,203	9,146	9,712	9,975	10,586	10,714
75/9,77	6,289	10,951	11,626	11,946	12,674	12,823
100/11,29	7,187	12,450	13,215	13,577	14,398	14,564
150/13,82	8,696	14,921	15,827	16,262	17,238	17,435
200/15,96	9,920	16,964	17,984	18,477	19,583	19,812
250/17,85	11,049	18,748	19,869	20,408	21,624	21,873
300/19,55	12,046	20,339	21,548	22,134	23,445	23,718
350/21,12	12,950	21,790	23,081	23,707	25,108	25,396
400/22,57	13,826	23,130	24,495	25,159	26,642	26,946
450/23,94	14,613	24,382	25,820	26,510	28,072	28,393
500/25,24	15,110	25,557	27,060	27,788	29,417	29,754
550/26,47	16,072	26,674	28,238	28,989	30,690	31,037
600/27,65	16,763	27,734	29,355	30,138	31,899	32,262
650/28,78	17,407	28,746	30,421	31,232	33,052	33,428
700/29,86	18,022	29,716	31,444	32,281	34,160	34,546

одни из самых важных показателей, необходимых для определения расчетной величины пожарного риска.

Построим график зависимости эффективного диаметра пожарной нагрузки (площади пожара при круговой форме пожара) от расстояния до безопасной зоны для древесины с массовой скоростью выгорания $0,0393 \text{ кг}/(\text{м}^2\cdot\text{с})$.

Как мы видим, график имеет возрастающий характер (рис. 7). В данном случае это означает, что площадь пожарной нагрузки увеличивается быстрее, чем безопасное расстояние.

При использовании таких графиков и таблицы многие пункты в утвержденной методике можно пропустить, например вычисление дерева событий, определение наиболее опасных точек и т. п.

Для определения вероятности поражения человека найдем расстояние от местоположения человека до безопасной зоны x (зоны, где интенсивность теплового излучения меньше $4 \text{ кВт}/\text{м}^2$, см. рис. 5). Для определения этого расстояния воспользуемся режимом работы объекта, который может быть описан в технологическом регламенте или инструкции.

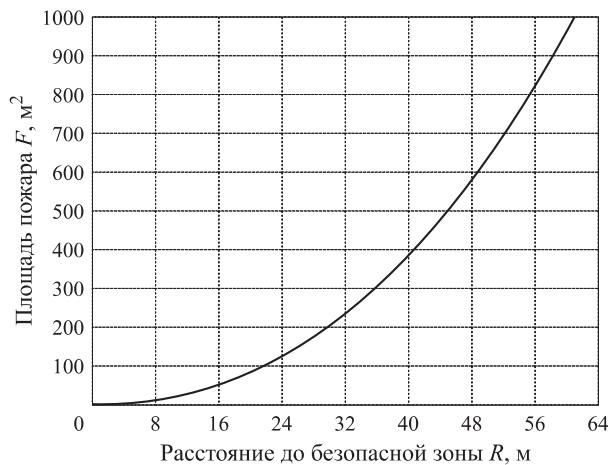


Рис. 7. Зависимость эффективного диаметра пожарной нагрузки (площади пожара при круговой форме пожара) от расстояния до безопасной зоны для древесины с массовой скоростью выгорания $0,0393 \text{ кг}/(\text{м}^2\cdot\text{с})$

Из всех установленных по режиму работы объекта расстояний выберем самое близкое к очагу пожара. Откажемся от принятого ранее условия равенства расстояний до облучаемого объекта и до безопас-

ной зоны. Затем из уже установленных по табл. 3 значений расстояний до безопасной зоны R вычтем определенное расстояние до облучаемого объекта r . Разница между этими расстояниями будет равна расстоянию от облучаемого объекта до безопасной зоны x (м).

Далее по методике определим остальные параметры и вычислим пожарные риски.

Новизна исследования состоит в том, что определены вероятности возникновения пожаров твердых горючих веществ на территории РФ на основании

данных о количестве пожаров твердых горючих веществ, представленных ВНИИПО МЧС России; разработаны таблицы и графики зависимостей зоны поражения при пожаре от площади пожарной нагрузки и вида твердых горючих веществ при тепловом излучении.

Полученные данные можно использовать при разработке нового метода определения расчетных величин пожарного риска для твердых горючих веществ и материалов на производственных и складских объектах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Информация о пожарах : письмо ВНИИПО № ГИ-2874 от 04.04.2011.
2. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон № 123-ФЗ от 22.07.2008 г. : принят Гос. Думой 04.07.2008 г. : одобр. Советом Федерации 11.07.2008 г. // Собр. законодательства РФ. — 2008. — № 30; Российская газета. — 2008. — № 163.
3. О практике применения Федерального закона “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности” : материалы выездного заседания Комитета Совета Федерации по обороне и безопасности 22 июня 2010 г., Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России (ВНИИПО), г. Балашиха МО.
4. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах : приложение к приказу МЧС России от 10.07.2009 г. № 404; зарег. в Минюсте РФ 17.08.2009 г., рег. № 14541. URL : <http://www.mchs.gov.ru>.
5. Корольченко А. Я., Корольченко Д. А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник. — В 2 ч. — М. : Пожнаука, 2004.
6. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности : введ. 01.05.2009 : утв. 25.03.2009 приказом МЧС России № 182. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.

*Материал поступил в редакцию 15 июля 2011 г.
Электронный адрес автора: bakirovirek@bk.ru.*

**Н. Н. Брушинский**

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

**С. В. Соколов**

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

УДК 614.849

О НОРМИРОВАНИИ ВРЕМЕНИ ПРИБЫТИЯ ПОЖАРНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ К МЕСТУ ПОЖАРА

На основе статистических данных о пожарах рассматриваются вопросы нормирования времени прибытия пожарных подразделений к месту пожара.

Ключевые слова: опасные факторы пожара; модель развития пожара; статистика пожаров; время прибытия; риск гибели людей.

Введение

Более ста лет специалисты в области пожарной безопасности обсуждают вопросы эффективной организации противопожарных служб (ППС) в городах. Основной вопрос ставится так: сколько должно быть в городе сил и средств (персонала, пожарных автомобилей, пожарных депо), чтобы обеспечить своевременное прибытие к месту пожара первых подразделений ППС? Ключевым словом здесь является “сuoевременное”. От его правильной интерпретации зависит, во-первых, эффективность и, во-вторых, экономичность организации системы ППС в городе.

Для обоснованного ответа на этот вопрос убедительной аргументации до недавнего времени не хватало. Теперь, благодаря интенсивным исследованиям, она появилась, и авторы предлагают использовать ее для решения вопроса о подходах к нормированию времени прибытия пожарных подразделений к месту пожара [1–8].

Основными методами исследования проблемы являются методы моделирования (верbalного, графического, статистического, математического).

Моделирование процесса развития пожара

Сначала используем вербальное (словесное) моделирование исследуемого процесса. Предположим, что в какой-то момент $t_{\text{возн}}$ в помещении возник пожар. Спустя некоторое время $t_{\text{обн}}$ его обнаружили и передали сообщение о нем (момент $t_{\text{сообщ}}$) в диспет-

черский пункт пожарной охраны. Далее диспетчеры передали распоряжение о выезде в ближайшую пожарную часть (момент $t_{\text{дисп}}$). Дежурный караул примерно через 1 мин после распоряжения выехал из депо и через несколько минут прибыл к месту пожара (момент $t_{\text{приб}}$). После прибытия, проведя разведку и осуществив боевое развертывание, личный состав дежурного караула приступил к эвакуации людей, находящихся в здании, и ликвидации пожара ($t_{\text{н.т.}}$).

Весь промежуток времени с момента возникновения пожара до начала его тушения называют временем свободного горения (или временем свободного развития пожара). В течение этого времени проявляются опасные факторы пожара (ОФП), из-за воздействия которых могут погибнуть или получить травмы люди, находящиеся в помещении и не успевшие эвакуироваться (из-за пребывания в состоянии сна, алкогольного опьянения, из-за невозможности двигаться и пр.). Под действием ОФП в этот же период формируется и с каждой минутой увеличивается материальный ущерб от пожара. Естественно, задачей дежурного караула является спасение людей и минимизация этого ущерба. Поэтому чем раньше прибудет дежурный караул, тем в меньшей степени успеет развиться пожар, а значит, легче будет ликвидировать его и минимизировать его последствия.

Такова общая и хорошо известная всем специалистам схема возникновения, развития и ликвидации пожара. Однако в жизни известно немало исключений из общей схемы.

© Брушинский Н. Н., Соколов С. В., 2011

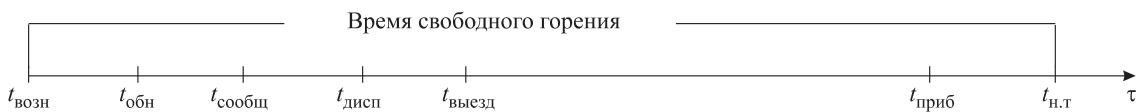


Рис. 1. Графическая модель процесса развития пожара

Достаточно вспомнить недавний пожар в ночном клубе “Хромая лошадь” в г. Перми, когда пожарные прибыли на пожар практически через 1–2 мин после его начала (депо находилось в нескольких десятках метров от клуба) и обнаружили более сотни погибших людей, отравившихся продуктами горения (из-за использования в отделке зала запрещенных пожароопасных материалов).

Для дальнейшего анализа процесса целеобразно построить его графическую модель (рис. 1).

Подчеркнем, что разность $t_{н.т} - t_{возн}$ является временем свободного горения на пожаре; разность $t_{приб} - t_{выезд}$ равна времени следования первого подразделения ППС на пожар (а разность $t_{приб} - t_{дисп}$ есть время прибытия на пожар подразделения ППС, которое обычно путают с временем следования). Желательно, чтобы интервал между моментами $t_{н.т}$ и $t_{возн}$ (т. е. время свободного развития пожара) был как можно меньше.

Для того чтобы оценить (реально) величину рассмотренных промежутков времени, нужно обратиться к статистике пожаров [5], т. е. к статистическому моделированию.

В табл. 1 приведены средние значения некоторых из вышеуказанных промежутков времени свободного развития пожара в Российской Федерации в 2006–2010 гг. Эти данные взяты из источника [5], где время свободного горения складывается из времени сообщения о пожаре $t_{дисп} - t_{сообщ}$, времени прибытия первого подразделения к месту пожара $t_{приб} - t_{дисп}$ и времени подачи первого ствола $t_{н.т} - t_{приб}$. Слагаемое, определяемое как время с момента возникновения пожара до его обнаружения $t_{обн} - t_{возн}$, не учитывают из-за невозможности определить момент времени возникновения пожара, полагая, что $t_{возн} = t_{обн}$ (т. е. пожар обнаружен сразу после возникновения, однако это допущение может быть справедливо только при наличии средств пожарной сигнализации).

Если ориентировочно оценить интервал времени между возникновением и обнаружением пожара ($t_{обн} - t_{возн}$) равным 5 мин, то общее время свободного развития пожара можно определить по табл. 2.

Необходимо добавить, что здесь не учитывается наличие в зданиях систем противопожарной автоматики (для этого нужны дополнительные исследования). Заметим также, что вторую половину времени свободного развития пожара фактически составляет время следования пожарных подразделений к

Таблица 1. Средние значения некоторых показателей оперативного реагирования пожарных подразделений в 2006–2010 гг.

Объект исследования	Среднее время, мин			
	сообщения о пожаре	прибытия первого подразделения	подачи первого ствола	свободного горения
Все пожары	5,9	11,6	1,5	19,0
Пожары в городах	4,0	7,9	1,7	13,6
Пожары в сельской местности	8,0	17,7	1,3	27,0

Таблица 2. Ориентировочные оценки времени свободного развития пожара

Объект исследования	Среднее время свободного развития пожара, мин
Все пожары	20–25
Пожары в городах	15–20
Пожары в сельской местности	30–35

месту пожара, а опасные факторы пожара, как правило, начинают действовать еще в первой половине. Об этом убедительно говорится в работе профессора Ю. А. Кошмарова [3], посвященной прогнозированию опасных факторов пожара в помещении и основанной на методах математического моделирования.

Опасные факторы пожара и их воздействие на людей

К опасным факторам пожара, действующим на людей и имущество, относятся: 1) пламя и искры; 2) тепловой поток; 3) повышенная температура окружающей среды; 4) повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения; 5) пониженная концентрация кислорода; 6) снижение видимости в дыму [3, 6].

Наиболее опасными по воздействию на людей являются два фактора: повышенная концентрация токсичных продуктов горения (далее — действие продуктов горения) и повышенная температура окружающей среды (далее — действие высокой температуры).

В табл. 3 приведены усредненные данные за 2007–2010 гг. по распределению погибших на пожарах

Таблица 3. Распределение жертв пожаров по основным причинам их гибели (средние за 2007–2010 гг.)

Причина гибели людей	Доля от общего числа погибших при пожаре, %
Действие продуктов горения	73,6
Действие высокой температуры	11,0
Причина гибели не установлена	9,7
Прочие причины	5,7

Таблица 4. Распределение количества погибших при пожарах людей по г. Москве по причинам их гибели

Причина гибели	Количество погибших, чел.	Доля от общего числа погибших при пожаре, %
Действие продуктов горения	161	68,5
Действие высокой температуры	47	20,0
Причина гибели не установлена	16	6,8
Прочие причины	11	4,7
Всего	235	100,0

людей по основным причинам их гибели [5]. Аналогичные данные получены по г. Москве за 2010 г. (табл. 4).

Из табл. 3 и 4 следует, что среди причин гибели доминируют две: действие продуктов горения (примерно 70 % всех жертв пожаров) и действие высокой температуры (примерно 15 % всех жертв).

Первый опасный фактор (продукты горения) начинает действовать в самом начале пожара (в первые 3–4 мин [3]), второй — чуть позже. Во всяком случае, основная часть погибших приходится на первые 5–6 мин развития пожара. Поэтому первое подразделение пожарной охраны, прибывшее к месту пожара, находит тела уже погибших людей. Об этом свидетельствуют данные табл. 5, полученные по г. Москве за 2010 г.

Время свободного развития пожара в г. Москве ориентировочно можно оценить в среднем 10–12 мин, из них 6 мин составляет среднее время следования первых подразделений ППС к месту пожара. И как следует из табл. 5, к моменту прибытия пожарных доля погибших составляет 86,4 % всех жертв пожара (из-за действия ОФП) и еще почти для 9 % момент гибели установить не удалось (по крайней мере, половина из них, скорее всего, погибла до прибытия подразделений).

На основании сказанного можно сделать вывод, что не менее 3/4 всех жертв пожаров погибают до момента прибытия первых пожарных подразделений

Таблица 5. Распределение жертв пожара по г. Москве за 2010 г. по моменту гибели

Момент гибели при пожаре	Число жертв	Доля погибших, % от общего числа жертв
До прибытия пожарной охраны	203	86,4
Не установлен	21	8,9
В ходе ликвидации пожара	11	4,7
Всего	235	100,0

к месту пожара из-за действия опасных факторов пожара.

При этом возникает следующий вопрос: как часто гибнут люди при пожаре (иначе говоря, каков риск для человека погибнуть при пожаре)?

Оценка риска гибели людей при пожаре

Для того чтобы оценить риск гибели человека при пожаре, нужно сопоставить число пожаров и их жертв за какой-либо произвольный промежуток времени. Например, в табл. 6 приведены средние значения пожарного риска R_2 (жертв/пожар) в России за 2006–2010 гг. [4, 5].

Из табл. 6 следует, что за указанные пять лет в России в среднем на каждые 100 пожаров приходилось 7–8 погибших, в городах — 5–6, в сельской местности — 9–10.

Это означает, что в России в среднем в 92–95 % случаев на пожарах не было жертв (если учесть, что на отдельном пожаре могли погибнуть 2 чел. и более), а в 5–8 % — фиксировалась случаи гибели людей. В сельской местности примерно в 90 % пожаров не было жертв, т. е. люди успевали эвакуироваться из горящего помещения.

На рис. 2 приведены значения пожарного риска R_2 за 2009 г. для 25 стран мира [7]. Из рисунка видно, что, например, в США в 2009 г. на 1000 пожаров в среднем приходились двое погибших (точнее говоря, на 1 451 500 пожаров зафиксировано 3320 жертв).

В Москве в 2010 г. на 8246 пожарах было зарегистрировано 235 погибших, т. е. $R_2 = 2,8 \cdot 10^{-2}$ (жертв/пожар). Если же добавить к числу пожаров 148 269 загораний (как и должно быть, по нашему мнению), то получим $R_2 = 1,0 \cdot 10^{-2}$, т. е. вполне приемлемый результат, соответствующий мировому уровню.

Таблица 6. Средние значения риска гибели при пожаре в Российской Федерации за 2006–2010 гг.

Объект исследования	Значение риска R_2
Все пожары	$7,5 \cdot 10^{-2}$
Пожары в городах	$6,4 \cdot 10^{-2}$
Пожары в сельской местности	$9,5 \cdot 10^{-2}$

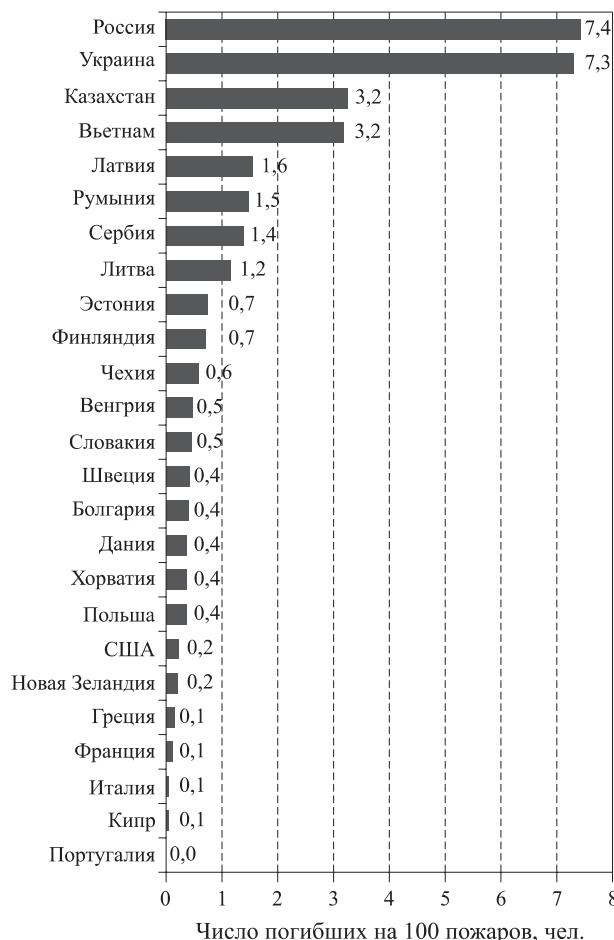


Рис. 2. Среднее число погибших на 100 пожаров в странах мира в 2009 г.

Теперь мы имеем вполне обоснованные представления о свободном развитии пожара, о времени проявления его опасных факторов и воздействия их на людей, о риске гибели людей при пожаре, о времени следования первых подразделений к месту пожара.

Остается выяснить самый важный вопрос: как именно влияет время следования на последствия пожара?

О влиянии времени следования пожарных подразделений к месту пожара на его последствия

Исследования последних лет позволяют дать ответ и на этот вопрос [5]. В табл. 7, составленной нами, представлено распределение пожаров в нашей стране по их последствиям в зависимости от времени прибытия первых подразделений ППС к месту пожара (средние значения за 2006–2010 гг.). В таблице объединены все пожары (и в городе, и в сельской местности). Возможно, в этом заключается ее недостаток, но других данных у авторов нет.

Проанализируем данные, приведенные в табл. 7. За 1 мин дежурные караулы прибыли к месту пожа-

Таблица 7. Распределение пожаров в России по их последствиям в зависимости от времени прибытия первого караула к месту пожара за 2006–2010 гг. (средние значения)

Время прибытия, мин	Риск R_2 гибели людей на пожаре	Доля прямого материального ущерба, % от общего		Доля выездов, %	
		частная	накопленная	частная	накопленная
1	$6,5 \cdot 10^{-2}$	1,1	1,1	1,2	1,2
2	$7,6 \cdot 10^{-2}$	5,7	6,8	4,0	5,2
3	$7,5 \cdot 10^{-2}$	9,0	15,8	7,4	12,6
4	$7,1 \cdot 10^{-2}$	7,0	22,8	8,6	21,2
5	$7,2 \cdot 10^{-2}$	8,2	31,0	10,8	32,0
6	$6,7 \cdot 10^{-2}$	7,1	38,1	9,0	41,0
7	$7,1 \cdot 10^{-2}$	6,6	44,7	7,5	48,5
8	$6,8 \cdot 10^{-2}$	5,4	50,1	6,4	54,9
9	$6,9 \cdot 10^{-2}$	5,7	55,8	5,3	60,2
10	$7,5 \cdot 10^{-2}$	7,4	63,2	6,6	66,8
11–15	$7,2 \cdot 10^{-2}$	11,6	74,8	10,5	77,3
16–20	$8,3 \cdot 10^{-2}$	10,0	84,8	8,4	85,7
21–30	$8,6 \cdot 10^{-2}$	6,7	91,5	6,5	92,2
Более 30	$10,2 \cdot 10^{-2}$	8,5	100,0	6,8	99,0

ра в 1,2 % всех случаев (таких пожаров за 5 лет оказалось 10427, на них погибло 674 чел. [5]). Риск гибели R_2 в данном случае оказался равным $6,5 \cdot 10^{-2}$. Это значит, что на каждые 100 пожаров приходилось в среднем 6–7 жертв, а прямой материальный ущерб от них составил 1,1 % от общего ущерба.

Наибольший интерес представляет время прибытия от 2 до 15 мин. В этот период значения риска гибели людей остаются практически постоянными (7 погибших на 100 пожаров), а размер ущерба за каждую минуту до прибытия подразделений ППС составляет в среднем 6–7 % от общей величины.

При времени прибытия от 16 до 20 мин риск R_2 возрастает незначительно, да и доля прироста ущерба остается практически прежней.

Последние две строки табл. 7, по-видимому, в основном относятся к сельской местности: значения риска R_2 еще несколько увеличиваются (см. табл. 6), а доля прямого ущерба остается прежней.

Эти результаты, на наш взгляд, подтверждают прежний вывод: около 90 % жертв пожаров приходится на период до прибытия первых пожарных подразделений к месту пожара.

Что же касается прямого материального ущерба от пожаров, то авторы, используя официальную пожарную статистику [5], нашли средние значения прямого ущерба от пожаров в России за 2006–2010 гг.

Таблица 8. Средний размер прямого материального ущерба от одного пожара в Российской Федерации за 2006–2010 гг.

Объект исследования	Ущерб от одного пожара, тыс. руб.
Все пожары	56,1
Пожары в городах	53,5
Пожары в сельской местности	60,3

(табл. 8). Из табл. 8 видно, что прямой ущерб от одного пожара в России за последние пять лет в среднем составил 50–60 тыс. руб. Как следует из табл. 7, 50 % этого ущерба накапливается к времени прибытия первых пожарных подразделений к месту пожара, равному 8–9 мин. За это время дежурным караулам удается прибыть к месту пожара примерно в 60 % всех случаев.

О “стоимости” одной минуты времени следования первых пожарных подразделений к месту пожара

Все изложенное выше позволяет сделать четкий вывод: нет никакого смысла абсолютизировать (жестко нормировать) время прибытия первых пожарных подразделений к месту пожара. Однако, завершая эту статью, для полноты обсуждения вопроса целесообразно выяснить, во-первых, сколько может “стоить” городской администрации попытка сократить среднее время прибытия первого дежурного караула к месту пожара на 1 мин и, во-вторых, как решают эти вопросы в городах мира?

Рассмотрим город с населением 150 тыс. чел. и площадью территории 100 км². Для нахождения необходимого числа пожарных депо N_d используем расчетную формулу

$$N_d = 0,36k_h S / (\bar{V}_{cl}^2 \bar{\tau}_{cl}^2),$$

где k_h — безразмерный коэффициент непрямолинейности уличной сети;

\bar{V}_{cl} — средняя скорость движения пожарных автомобилей, км/мин;

$\bar{\tau}_{cl}$ — среднее время следования первых пожарных подразделений к месту пожара, мин.

Пусть $k_h=1,35$; $\bar{V}_{cl}=30$ км/ч = 0,5 км/мин; $\bar{\tau}_{cl}=6$ мин. Тогда

$$N_d = 0,36 \cdot 1,82 \cdot 100 / (0,5^2 \cdot 6^2) = 7 \text{ (депо)}.$$

Положим теперь $\bar{\tau}_{cl}=5$ мин, т. е. уменьшим среднее время следования пожарных подразделений на 1 мин при той же средней скорости движения пожарных автомобилей. Тогда

$$N_d = 0,36 \cdot 1,82 \cdot 100 / (0,5^2 \cdot 5^2) = 10,5 \text{ (депо)}.$$

Это означает, что, для того чтобы на 1 мин сократить среднее время следования пожарных автомобилей к месту пожара, городу нужно построить 3–4 новых пожарных депо, закупить 4–6 пожарных автомобилей и набрать около 100 чел. персонала. Нетрудно подсчитать, в какую сумму выльется для администрации города эта реорганизация гарнизона пожарной охраны. Для уменьшения же среднего времени следования до 4 мин городу потребуется уже 16 пожарных депо (вместо 7).

Кстати говоря, при наличии в городе 7 пожарных депо на одно депо приходится зона обслуживания площадью 14 км², 10 депо — 10 км², 16 депо — 6 км².

Далее, если за год гарнизон реагирует на 1000 вызовов, то при наличии 7 депо на одно депо приходится в среднем 0,4 выезда в сутки, 10 депо — менее 0,3 выезда в сутки (т. е. один выезд за трое суток), 16 депо — менее 0,2 выезда в сутки.

Такую организацию гарнизона ППС в городе следует признать, во-первых, весьма неэффективной и, во-вторых, абсолютно неэкономичной.

В заключение выясним, какая зона обслуживания приходится на одно пожарное депо в городах мира (рис. 3) [7]?

Из рис. 3 видно, что при средней площади обслуживания одним депо, равной 15–16 км², разброс реальных значений такой площади относительно средней составляет от 149,9 км² (София) до 3,8 км² (Нью-Йорк). Это свидетельствует о том, что никаких нормативных значений для обоснования числа депо в городах просто не существует, а при организации пожарной охраны в городах приходится учитывать много различных факторов, в частности финансовые возможности администрации города.

Выводы и предложения

В результате обширных и разноплановых исследований процесса функционирования ППС в городах можно сделать следующие выводы.

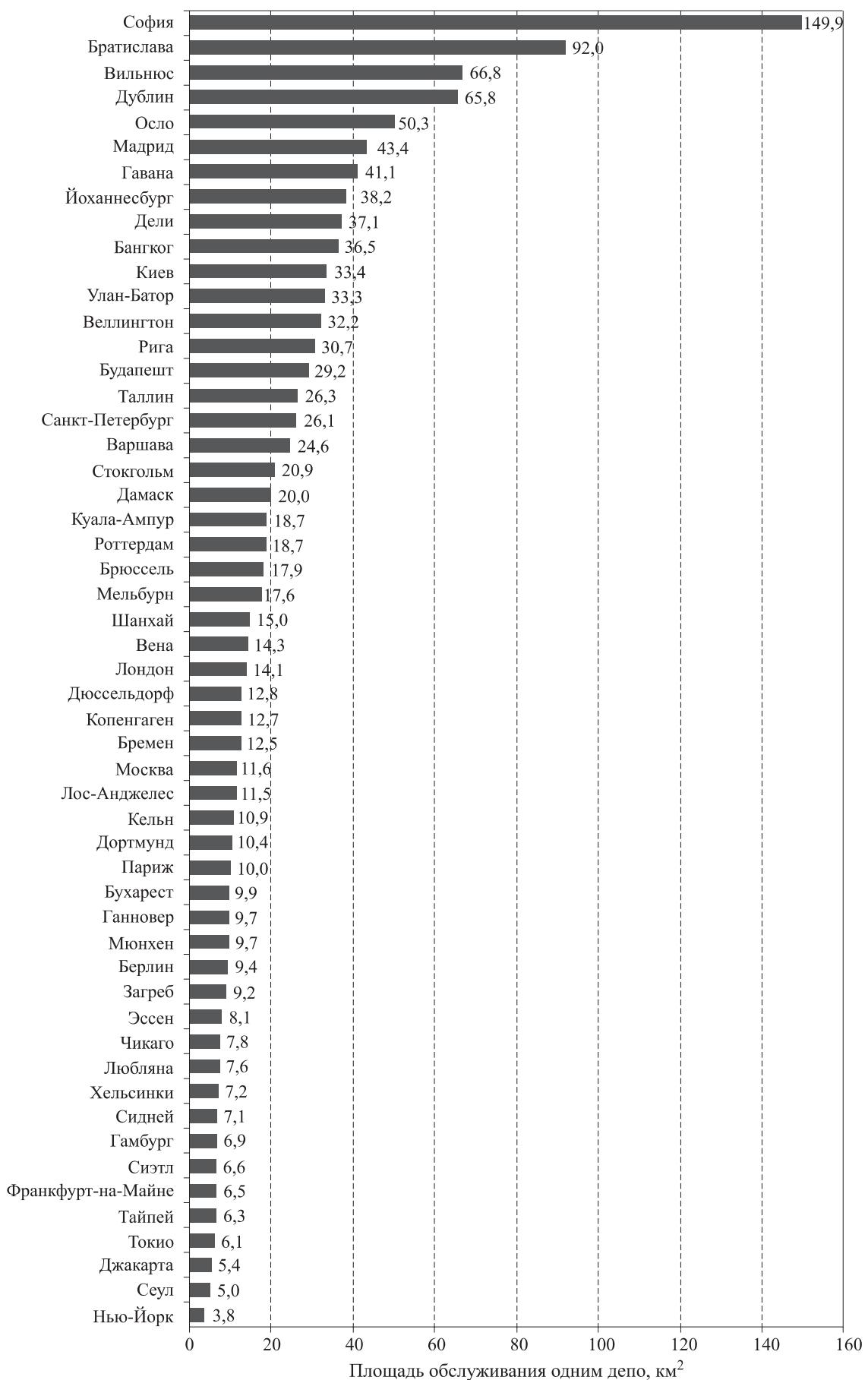
1. Примерно 95 % всех пожаров в России сопровождаются материальным ущербом от них; погибших людей при таких пожарах не бывает.

2. Средний размер прямого материального ущерба от одного пожара в последние годы составляет 50–60 тыс. руб.

3. 5 % всех пожаров в России сопровождаются гибелью люди: 7–8 жертв на каждые 100 пожаров.

4. Люди при пожарах погибают в основном от воздействия продуктов горения (70 % погибших) и высоких температур (15–20 % всех жертв).

5. Около 90 % всех жертв пожаров погибают в первые 5–7 мин развития пожара, до прибытия к месту пожара пожарных подразделений (чаще всего в состоянии сна или алкогольного опьянения).

Рис. 3. Средняя площадь (км²) обслуживания одним депо в городах мира

6. Влияние времени прибытия первых пожарных подразделений к месту пожара на число погибших при пожаре сравнительно невелико: несколько “лишних” минут практически ничего не решают.

7. Сокращение времени прибытия первых пожарных подразделений к месту пожара на 1–2 мин требует строительства большого числа депо, дополнительного количества пожарных автомобилей и пр., т. е. больших финансовых и материальных затрат.

В связи с этими выводами можно сформулировать следующие предложения:

1. Не имеет смысла абсолютизировать (жестко нормировать) время прибытия первых пожарных под-

разделений к месту пожара. Достаточно добиться того, чтобы в 90 % всех вызовов время прибытия первых подразделений к месту пожара не превышало 10 мин после распоряжения диспетчера. Для этого площадь зоны обслуживания одним депо должна составлять 12–15 км².

2. Для установления времени прибытия ППС к месту пожара в сельской местности необходимо проведение отдельных специальных исследований (по разным регионам России).

3. Отдельные специальные исследования нужны и для определения прибытия ППС с учетом оснащения зданий противопожарной автоматикой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брушлинский Н. Н., Соколов С. В., Алехин Е. М. и др. Безопасность городов. Имитационное моделирование городских процессов и систем. — М. : ФАЗИС, 2004. — XII. — 172 с.
2. Брушлинский Н. Н., Соколов С. В. Математические методы и модели управления в ГПС и РСЧС : учебник. — М. : АГПС МЧС России, 2011. — 250 с.
3. Кошмаров Ю. А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении : учебное пособие. — М. : Академия ГПС МВД России, 2000. — 118 с.
4. Пожарные риски. Динамика, управление, прогнозирование / Под ред. Н. Н. Брушлинского и Ю. Н. Шебеко. — М. : ФГУ ВНИИПО, 2007. — 370 с.
5. Пожары и пожарная безопасность в 2010 г. : статистический сборник. — М. : ФГУ ВНИИПО, 2011. — 140 с.
6. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ : принят Гос. Думой 4 июля 2008 г. ; одобрен Советом Федерации 11 июля 2008 г. — М. : ФГУ ВНИИПО, 2008. — 157 с.
7. Brushlinsky N. N., Hall J. R., Sokolov S. V., Wagner P. World Fire Statistics // CTIF. — 2011. — № 16. — Р. 57.
8. Брушлинский Н. Н., Соколов С. В., Присяжнюк Н. Л., Морозов В. И. Оценка стоимости реализации некоторых позиций “Технического регламента о требованиях пожарной безопасности” // Сб. статей по вопросам технического регулирования в области пожарной безопасности. — М. : Эко-Пресс, 2010. — С. 34–49.

Материал поступил в редакцию 29 июля 2011 г.
Электронный адрес авторов: albrus-ssv@yandex.ru.



И. А. Кайбичев
д-р физ.-мат. наук, доцент, профессор
Уральского института ГПС МЧС России,
г. Екатеринбург, Россия

УДК 614.84:519.2

РЕКУРСИВНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СПЛАЙНАМИ В СРЕДНЕСРОЧНОМ ПРОГНОЗЕ

Для прогнозирования обстановки с пожарами на месяц вперед применен метод рекурсивного прогнозирования с линейной аппроксимацией сплайнами. Результаты прогноза по предложенному методу сравнены с расчетами, полученными по методике, рекомендованной МЧС, и с фактическими данными по Республике Башкортостан за 1993–2007 гг. Установлено, что методика МЧС давала завышенные по сравнению с фактом прогнозные значения. При прогнозировании же методом линейной аппроксимации сплайнами были получены прогнозные значения, более близкие к факту, а также более низкие значения средней ошибки и модулей средней и относительной ошибок.

Ключевые слова: математическое прогнозирование; рекурсивный метод; сплайны.

Актуальной задачей деятельности МЧС было и остается прогнозирование числа чрезвычайных ситуаций (ЧС) на территории субъекта Российской Федерации [1]. В деятельности подразделений МЧС часто применяется среднесрочный прогноз, который дает предсказание числа возможных ЧС на следующий месяц. Целью работы является применение метода рекурсивного прогнозирования сплайнами для среднесрочного прогноза.

1. Рекурсивный прогноз

Идея рекурсивного прогнозирования основана на делении исходных данных на две части: на основе одной из них строится функция прогнозирования, а другая часть является тестовой (пробной), по которой проверяется построенная функция прогнозирования [2–3]. В качестве тестовых берут несколько последних точек данных (обычно до 30 % всех данных), а по остальным данным вычисляют параметры заранее выбранной функции прогнозирования. Затем выполняют прогноз на временной период, для которого имеются тестовые данные, и путем сравнения определяют среднюю абсолютную ошибку. Далее в наборе данных, на основании которого вычисляли параметры функции прогнозирования, производят сдвиг вперед на один временной интервал, и все вычисления повторяют. В результате получают прогноз на следующий временной период. При последовательном применении метода рекурсивного прогнозирования получается набор данных, показывающий динамику изменения наблюдаемых

параметров функции прогнозирования и прогнозной величины. Особенность рекурсивного прогнозирования — последовательный пересчет параметров модели данных при каждом включении в модель новой точки данных.

В прогнозировании числа пожаров рекурсивный подход позволяет выполнить среднесрочный прогноз на месяц вперед. Имеющиеся точки данных соединяют линейными функциями (рис. 1). Такие кусочно-линейные функции, имеющие непрерывный характер, в математике называют сплайнами [4–7]. Каждый линейный участок сплайна задают уравнением

$$Y = aX + b, \quad (1)$$

где Y — число пожаров;

X — номер месяца;

a и b — некоторые коэффициенты.

Отрезок сплайна соединяет две последовательные точки данных Y_{i-1} и Y_i в месяцы X_{i-1} и X_i . Коэффициенты a и b для каждого линейного участка сплайна определяют из уравнений:

$$a_i = \frac{Y_i - Y_{i-1}}{X_i - X_{i-1}}; \quad b_i = \frac{Y_{i-1}X_i - Y_iX_{i-1}}{X_i - X_{i-1}}. \quad (2)$$

Задача прогнозирования в методе сплайнов становится следующим образом: по нескольким последовательным известным значениям коэффициентов a и b определить их возможные величины в следующем временном периоде, а затем на основе

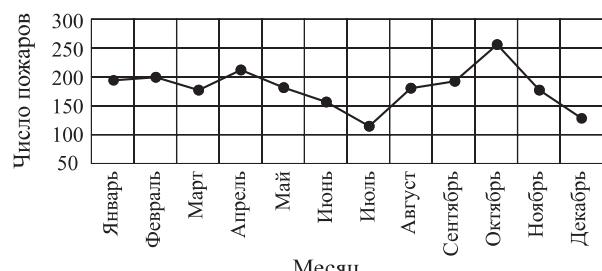


Рис. 1. Динамика пожаров за 2003 г.

формулы (1) рассчитать прогнозное число пожаров на этот период.

Данная задача может быть решена различными способами. Мы в настоящей статье рассмотрим наиболее известный из них — линейную экстраполяцию.

2. Линейная экстраполяция

Линейная экстраполяция основана на предположении, что значения коэффициентов a_i и b_i , вычисленные на основе двух известных последовательных точек данных Y_{i-1} и Y_i в месяцы X_{i-1} и X_i по (2), будут действовать и в следующем временном интервале X_{i+1} . Тогда прогнозное значение числа пожаров (рис. 2) определяется по формуле

$$Y_{i+1} = a_i X_{i+1} + b_i. \quad (3)$$

Метод линейной экстраполяции предполагает, что существующая сейчас тенденция будет продолжена в неизменном виде и в следующем временном периоде.

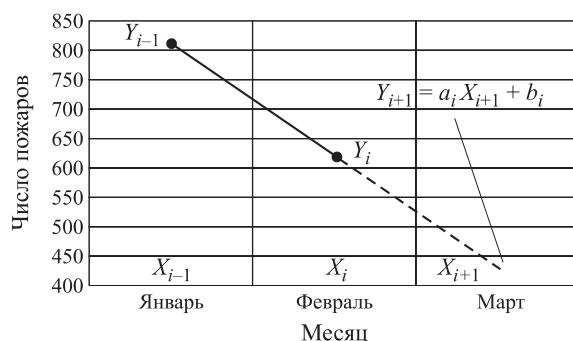


Рис. 2. Прогнозирование числа пожаров методом линейной аппроксимации сплайнами

3. Метод прогноза, применяемый в МЧС

При среднесрочном прогнозе используют данные двух последних месяцев. На первом этапе вычисляют коэффициент динамики

$$K_i = Y_i / Y_{i-1}, \quad (4)$$

где Y_i — число пожаров за прошедший месяц;

Y_{i-1} — число пожаров за предшествующий прошедшему месяц.

Прогнозное число пожаров Y_{i+1} получают путем умножения числа пожаров в текущем году на коэффициент динамики:

$$Y_{i+1} = Y_i K_i. \quad (5)$$

В методе, рекомендованном МЧС, происходит продление существующей тенденции на следующий временной период.

Таблица 1. Фактические и прогнозные данные на 1993 г., полученные методом МЧС и линейной аппроксимацией сплайнами

Номер месяца	Месяц	Факт	Прогноз		Средняя ошибка		Модуль ошибки				Отношение прогноз/факт	
			1*	2*	1	2	1	2	1	2	1	2
1	Январь	214	214	214	0	0	0	0	0,00	0,00	1,00	1,00
2	Февраль	178	178	178	0	0	0	0	0,00	0,00	1,00	1,00
3	Март	175	148	142	-27	-33	27	33	15,43	18,86	0,85	0,81
4	Апрель	222	172	172	-50	-50	50	50	22,52	22,52	0,77	0,77
5	Май	191	282	269	91	78	91	78	47,64	40,84	1,48	1,41
6	Июнь	135	164	160	29	25	29	25	21,48	18,52	1,21	1,19
7	Июль	124	95	79	-29	-45	29	45	23,39	36,29	0,77	0,64
8	Август	187	114	113	-73	-74	73	74	39,04	39,57	0,61	0,60
9	Сентябрь	213	282	250	69	37	69	37	32,39	17,37	1,32	1,17
10	Октябрь	278	243	239	-35	-39	35	39	12,59	14,03	0,87	0,86
11	Ноябрь	167	363	343	196	176	196	176	117,37	105,39	2,17	2,05
12	Декабрь	119	100	56	-19	-63	19	63	15,97	52,94	0,84	0,47
	Среднее	184	196	185	13	1	51,50	51,67	28,98	30,53	1,07	1,00
	Корреляция	-0,14	0,16	0,04	0,26	0,13	0,49	0,62	0,50	0,66	0,26	0,09

* В табл. 1–4 “1” означает метод, рекомендованный МЧС, “2” — метод линейной аппроксимации сплайнами.

Таблица 2. Фактические и прогнозные данные на 2007 г., полученные методом МЧС и линейной аппроксимацией сплайнами

Номер месяца	Месяц	Факт	Прогноз		Средняя ошибка		Модуль ошибки				Отношение прогноз/факт	
			1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	Январь	179	144	143	-35	-36	35	36	19,55	20,11	0,80	0,80
2	Февраль	122	208	204	86	82	86	82	70,49	67,21	1,70	1,67
3	Март	135	83	65	-52	-70	52	70	38,52	51,85	0,61	0,48
4	Апрель	133	149	148	16	15	16	15	12,03	11,28	1,12	1,11
5	Май	121	131	131	10	10	10	10	8,26	8,26	1,08	1,08
6	Июнь	113	110	109	-3	-4	3	4	2,65	3,54	0,97	0,96
7	Июль	117	106	105	-11	-12	11	12	9,40	10,26	0,91	0,90
8	Август	180	121	121	-59	-59	59	59	32,78	32,78	0,67	0,67
9	Сентябрь	134	277	243	143	109	143	109	106,72	81,34	2,07	1,81
10	Октябрь	169	100	88	-69	-81	69	81	40,83	47,93	0,59	0,52
11	Ноябрь	146	213	204	67	58	67	58	45,89	39,73	1,46	1,40
12	Декабрь	178	126	123	-52	-55	52	55	29,21	30,90	0,71	0,69
Среднее		144	147	140	3	-4	50,25	49,25	34,70	33,77	1,06	1,01
Корреляция		0,31	0,13	0,09	-0,01	-0,05	0,29	0,26	0,19	0,14	0,00	-0,03

Таблица 3. Сравнение средних показателей, полученных методом МЧС и линейной аппроксимацией сплайнами

Год	Факт	Прогноз		Средняя ошибка		Модуль ошибки				Отношение прогноз/факт		
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
1993	184	196	185	13	1	51,50	51,67	28,98	30,53	1,07	1,00	
1994	181	200	179	19	-2	81,25	75,08	44,59	42,69	1,13	1,01	
1995	180	199	176	19	-3	87,50	81,00	48,60	45,74	1,14	1,01	
1996	155	168	156	13	1	49,83	54,58	35,85	39,83	1,11	1,02	
1997	153	168	155	15	2	65,67	60,58	41,23	38,58	1,12	1,03	
1998	177	186	179	9	2	47,17	45,75	26,45	26,21	1,05	1,01	
1999	179	198	176	19	-3	84,25	78,08	46,58	45,01	1,13	1,01	
2000	161	169	162	8	1	47,25	48,17	31,58	32,39	1,07	1,02	
2001	164	178	165	14	1	73,17	74,75	48,47	48,68	1,16	1,07	
2002	142	145	142	3	-1	30,08	29,00	21,55	20,80	1,02	1,00	
2003	180	193	183	13	3	53,67	51,17	28,99	28,09	1,08	1,03	
2004	183	203	179	21	-4	99,17	94,00	55,66	54,17	1,15	1,01	
2005	177	194	177	17	0	68,83	60,25	37,58	33,50	1,11	1,01	
2006	156	170	157	14	1	71,42	71,83	49,03	49,58	1,14	1,05	
2007	144	147	140	3	-4	50,25	49,25	34,70	33,77	1,06	1,01	
Среднее		168	181	167	13	0	64,07	61,68	38,66	37,97	1,10	1,02

4. Сравнение результатов прогноза

На основе данных 1993–2007 гг. по числу пожаров, произошедших в Республике Башкортостан (табл. 1 и 2), был выполнен прогноз по методике, рекомендованной МЧС, и по методу линейной аппроксимации сплайнами. Обе методики в целом дали достаточно близкие результаты [8]. В то же время следует отметить, что при использовании методи-

ки, рекомендованной МЧС, были получены завышенные по сравнению с фактом прогнозные значения, а также более высокие значения средней ошибки и модулей средней и относительной ошибок (табл. 3). Метод линейной аппроксимации сплайнами дал прогнозные значения, более близкие к факту, а также более низкие значения средней ошибки и модулей средней и относительной ошибок.

Таблица 4. Сравнение коэффициентов корреляции, полученных методом МЧС и линейной аппроксимацией сплайнами

Год	Факт	Прогноз		Средняя ошибка		Модуль ошибки				Отношение прогноз/факт	
		1	2	1	2	1	2	1	2		
1993	-0,14	0,16	0,04	0,26	0,13	0,49	0,62	0,50	0,66	0,26	0,09
1994	-0,57	-0,26	-0,15	-0,03	0,11	-0,57	-0,53	-0,45	-0,36	-0,05	0,06
1995	0,13	-0,01	0,09	-0,06	0,02	-0,32	-0,35	-0,31	-0,36	-0,11	-0,02
1996	-0,33	-0,29	-0,22	-0,11	-0,05	-0,47	-0,54	-0,40	-0,46	-0,15	-0,10
1997	0,33	0,21	0,21	0,05	0,03	0,13	0,01	-0,01	-0,17	0,02	0,01
1998	-0,53	-0,18	-0,20	0,13	0,12	-0,42	-0,46	-0,29	-0,30	0,11	0,09
1999	-0,59	-0,31	-0,22	-0,07	0,06	-0,62	-0,60	-0,48	-0,39	-0,10	0,00
2000	0,24	0,20	0,17	0,07	0,06	0,22	0,13	0,06	-0,02	0,03	0,02
2001	-0,38	-0,10	-0,10	0,05	0,05	-0,26	-0,31	-0,16	-0,21	0,01	0,01
2002	0,71	0,56	0,58	0,18	0,18	-0,08	-0,16	-0,24	-0,30	0,12	0,13
2003	-0,17	0,14	0,04	0,23	0,14	0,33	0,37	0,33	0,42	0,25	0,13
2004	-0,54	-0,26	-0,18	-0,05	0,07	-0,57	-0,59	-0,40	-0,35	-0,09	0,01
2005	0,00	-0,11	0,03	-0,11	0,03	-0,52	-0,65	-0,49	-0,64	-0,16	-0,02
2006	-0,22	-0,10	-0,08	0,00	0,02	-0,31	-0,44	-0,27	-0,37	-0,05	-0,05
2007	0,31	0,13	0,09	-0,01	-0,05	0,29	0,26	0,19	0,14	0,00	-0,03
Среднее		-0,12	-0,02	0,01	0,04	0,06	-0,18	-0,22	-0,16	-0,18	0,00
											0,02

По обеим методикам прогнозирования был получен более низкий по сравнению с фактом коэффициент корреляции числа пожаров в зависимости от номера месяца (табл. 4). Тем не менее метод аппроксимации сплайнами дал коэффициент корреляции прогнозных значений ниже (0,01) по сравнению с методикой, рекомендованной МЧС (-0,02).

Из вышесказанного можно сделать вывод, что применение метода рекурсивного прогнозирования линейной аппроксимацией сплайнами может быть целесообразно для среднесрочного прогнозирования.

Выводы

Метод рекурсивного прогнозирования с линейной аппроксимацией сплайнами был применен для прогнозирования обстановки с пожарами на месяц

вперед. На основе фактических данных по Республике Башкортостан за 1993–2007 гг. было проведено сравнение результатов прогноза, полученных по предложенному методу и по методике, рекомендованной МЧС.

Установлено, что методика, рекомендованная МЧС, давала завышенные по сравнению с фактом прогнозные значения. При прогнозировании же методом линейной аппроксимации сплайнами были получены прогнозные значения, более близкие к факту, а также более низкие значения средней ошибки и модулей средней и относительной ошибок.

Таким образом, предложенный метод рекурсивного прогнозирования с линейной аппроксимацией сплайнами может оказаться полезным в прогнозировании обстановки с пожарами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Положение о системе мониторинга, лабораторного контроля и прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера : приказ МЧС России от 12 ноября 2001 г. № 483. URL : <http://www/prokvo.ru/load/5-1-0-95>.
2. Минько А. А. Статистика в бизнесе. Руководство менеджера и финансиста. — М. : Эксмо, 2008. — 504 с.
3. Минько А. А. Прогнозирование в бизнесе с помощью Excel. — М. : Эксмо, 2007. — 208 с.
4. Лившиц Е. Д. Непрерывные Е-выборки для приближения полиномиальными и рациональными сплайнами : дис. ... канд. физ.-мат. наук : 01.01.01. — М., 2005. — 90 с.
5. Корнейчук Н. П., Бабенко В. Ф., Лигун А. А. Экстремальные свойства полиномов и сплайнов. — К. : Наукова думка, 1992. — 304 с.

6. Вершинин В. В., Завьялов Ю. С., Павлов Н. Н. Экстремальные свойства сплайнов и задача сглаживания. — Новосибирск : Наука, 1988.
7. Роженко А. И. Теория и алгоритмы вариационной сплайн-аппроксимации : дис. ... д-ра физ.-мат. наук : 01.01.07. — Новосибирск, 2003. — 231 с.
8. Кайбичев И. А. Рекурсивное прогнозирование методом сплайнов // Безопасность критических структур и территорий : материалы IV Всероссийской научно-технической конференции и XIV школы молодых ученых. — Екатеринбург : УрО РАН, 2011. — С. 143–144.

*Материал поступил в редакцию 25 июля 2011 г.
Электронный адрес автора: Kaibitchev@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 удалено 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;](mailto:mail@firepress.ru)
izdat_pozhnauka@mail.ru

Телефон:
(495) 228-09-03

Тел./факс:
(495) 737-65-74



Д. А. Корольченко
канд. техн. наук, заведующий
кафедрой Московского госу-
дарственного строительного
университета, г. Москва, Россия



В. Ю. Громовой
аспирант Московского
государственного строи-
тельного университета,
г. Москва, Россия



О. О. Ворогушин
ассистент Московского
государственного строи-
тельного университета,
г. Москва, Россия

УДК 614.844.2

ПРИМЕНЕНИЕ ТОНКОРАСПЫЛЕННОЙ ВОДЫ ДЛЯ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ В ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЯХ

Проанализирована пожарная опасность высотных зданий. Сопоставлены возможные способы тушения пожара в зависимости от функционального назначения высотного здания. Представлен механизм тушения тонкораспыленной водой (ТРВ). Доказана эффективность применения системы пожаротушения ТРВ.

Ключевые слова: тонкораспыленная вода; водяной туман; подавление горения; пожаротушение; высотные здания; системы тонкораспыленной воды высокого давления; задымление.

В настоящее время согласно Московской комплексной инвестиционной программе “Новое кольцо Москвы” запланировано до 2015 г. построить 60 высотных многофункциональных комплексов, в том числе 100 зданий высотой более 30 этажей.

Высотные здания в силу своей специфики отличаются высокой степенью потенциальной пожарной опасности по сравнению со зданиями нормальной этажности [1]. Для них характерно быстрое развитие пожара по вертикали, а также интенсивное задымление эвакуационных путей, лифтовых шахт, лестничных клеток и особенно верхних этажей. Пожары, возникающие в высотных зданиях, часто приводят к многочисленным человеческим жертвам из-за больших трудностей в обеспечении безопасной эвакуации и проведении спасательных работ. Одной из таких трудностей является возможный выход из строя при пожаре лифтового оборудования и систем противопожарной защиты.

При развитии пожара на верхних этажах большую сложность представляет разведка обстановки на пожаре, спасение людей и подача средств тушения. В связи с этим одна из задач, требующих решения, заключается в выборе системы пожаротушения при проектировании высотных зданий [2].

При выборе для высотного здания спринклерной АУПТ мы сталкиваемся с рядом проблем, которые на практике так и не нашли рационального и экономически обоснованного решения, как то:

- огромный расход воды на внутреннее пожаротушение, который невозможно обеспечить ресурсами городской сети;
- критическое повреждение материальных ценностей в случае запуска системы;
- пролив нижерасположенных этажей с затоплением электрооборудования и нарушением работоспособности систем жизнеобеспечения объекта.

Альтернативой традиционной спринкллерной АУПТ является система пожаротушения тонкораспыленной водой (ТРВ).

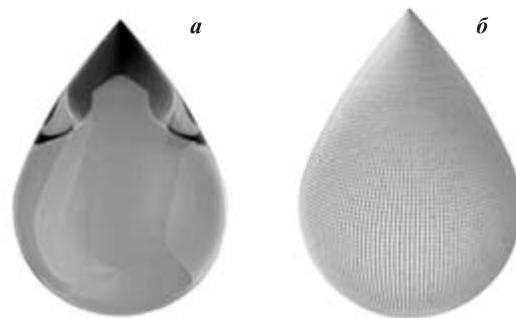
В общем случае механизм тушения пламени тонкораспыленной водой может быть представлен следующим образом [3]: частицы воды, попадая в высокотемпературную (порядка 800 °C) зону горения, частично испаряются в ней, а некоторая часть капель, минуя зону горения, достигает горящей поверхности и охлаждает ее. При испарении ТРВ в зоне горения образуется пар объемом, в 1640 раз превышающим начальный объем капель. При этом водяной пар (так называемый водяной туман) изменяет соотношение между поступающими с горящей поверхностью газообразными продуктами горючего вещества и кислородом воздуха.

Механизм прекращения горения при введении разбавляющих огнетушащих веществ в помещение, в котором происходит пожар, заключается в снижении объемной доли кислорода. При введении раз-

© Корольченко Д. А., Громовой В. Ю., Ворогушин О. О., 2011

бавляющих веществ в помещении повышается давление, происходит вытеснение воздуха и вместе с ним кислорода, увеличивается концентрация негорючих и не поддерживающих горение газов, парциальное давление кислорода падает. Все это приводит к снижению скорости диффузии кислорода в зоне горения, уменьшению количества вступающих в реакцию горючих паров и газов, а также тепла, выделяющегося в зоне реакции. При определенной концентрации разбавляющих огнетушащих веществ в воздухе помещения температура горения снижается до значений ниже температуры потухания, и горение естественно прекращается.

Практика и опыт тушения пожаров показывают, что пламенное горение большинства горючих материалов прекращается при снижении концентрации кислорода в воздухе помещения до 14–16 % об. Для более интенсивного парообразования необходимо, чтобы как можно большая поверхность воды подвергалась нагреву. Для этого требуется раздробить воду на капли очень маленького диаметра, и в результате общая площадь поверхности воды увеличится. Приращение этой площади при уменьшении диаметра капель можно отследить по данным, приведенным на рисунке и в табл. 1.



Вид капель, полученных из обычного оросителя (а) и оросителя ТРВ (б)

Таблица 1. Приращение суммарной площади поверхности капель в зависимости от их размера

Вид капли	Размер капли, мм	Количество капель в 1 л воды	Суммарная площадь поверхности капель, м ²
Капля, полученная из обычной спринклерной установки	1,00	$1,9 \cdot 10^5$	0,6
Водяной туман (установка низкого давления)	0,10	$1,9 \cdot 10^9$	60
Тонкораспыленная вода (установка высокого давления)	0,01	$1,9 \cdot 10^{12}$	600

Неиспарившиеся частицы воды достигают поверхности горящего вещества, температура которой равна температуре кипения жидкостей или температуре экзотермического разложения твердых материалов. Попадая на высоконагретую поверхность, частицы воды испаряются, снижая при этом ее температуру и препятствуя поступлению горючего в зону горения. Как известно, вода обладает значительной теплотой испарения, и именно это ее свойство играет основную роль в процессе тушения огня. Вода способна поглощать 0,335 МДж при нагреве 1 л с 20 до 100 °C. При переходе этого объема воды в пар дополнительно будет поглощено еще 2,257 МДж. Таким образом, огнетушащее действие распыленной воды обусловлено следующими эффектами:

- охлаждения зоны химической реакции за счет тепла, поглощаемого при нагреве и парообразовании;
- флегматизации зоны горения парами воды;
- охлаждения горящей поверхности за счет поглощения тепла при взаимодействии воды и поверхностного слоя горящего вещества;
- разделения продуктов испарения (или разложения горючего вещества) и зоны пламени.

В системах автоматического пожаротушения тонкораспыленной водой высокого давления огнетушащее вещество используется более эффективно, чем в других системах, что позволяет значительно сократить размеры помещений для хранения модулей пожаротушения. Кроме того, за счет малого количества воды, затрачиваемого на тушение, возможный наносимый ущерб от нее будет значительно меньше, чем при использовании других систем. Это позволяет применять системы раннего обнаружения пожара, не опасаясь возможности их ложного срабатывания. Пар, создаваемый системой тушения тонкораспыленной водой, заполняет труднодоступные пространства в отличие от спринклерных систем; значительно снижает температуру на защищаемом объекте; уменьшает интенсивность прогрева строительных конструкций, препятствуя тем самым наступлению их предельных состояний по огнестойкости. Системы тушения тонкораспыленной водой имеют более высокие показатели дымоподавления в сравнении со спринклерными системами и, кроме того, позволяют экранировать тепловой поток от пламени, что в совокупности дает значительное преимущество для эвакуирующихся.

Следует также отметить значительное преимущество систем пожаротушения ТРВ перед газовыми, которое заключается в том, что для введения системы в действие не требуется дожидаться, пока из помещения эвакуируются посетители и персонал. Таким образом, срабатывание системы начинается

Таблица 2. Эффективность применения средств тушения в зависимости от функционального назначения здания (пожарного отсека)

Вид помещений	Газовые составы	Огнетушащие порошки	Газоаэрозольные составы	Вода	CO ₂	TPB
Торговые залы и помещения	—	— +	—	++	—	+
Помещения предприятий общественного питания	— +	+	+	+	— +	++
Офисные помещения	+	+	+	+	+	++
Библиотеки, архивы		— +	— +	+	— +	++
Помещения с электроустановками	++	— +	+	— +	++	++
Гостиничные комплексы	—	— +	— +	+	—	++
Жилые помещения	++	— +	— +	+	++	++

Обозначение: — не тушит; — + тушение неэффективно; + тушение возможно; ++ тушение эффективно.

на ранней стадии развития пожара, что повышает ее надежность и эффективность применения.

Нами было проведено исследование, цель которого — сравнить эффективность применения установок TPB и установок с применением других огнетушащих веществ, схожих по механизму тушения (табл. 2).

Обобщив вышесказанное, можно сделать вывод, что из всех представленных на рынке автоматических систем пожаротушения применение систем TPB — наиболее универсальный способ пожаротушения.

В соответствии с современной нормативной базой в России для строящихся высотных зданий предусматривается обязательная разработка специальных технических условий на противопожарную защиту [4, 5]. Кроме того, нормативами регламентируется применение как агрегатных, так и модульных установок TPB [6].

Оснащение высотного здания модульными установками пожаротушения тонкораспыленной водой позволит:

- обеспечить независимость системы пожаротушения от ресурсов городской водопроводной сети;
- существенно повысить надежность систем автоматического пожаротушения за счет упрощения и уменьшения количества компонентов;

- значительно снизить стоимость системы за счет исключения дорогостоящих насосных агрегатов и узлов насосной станции;
- на порядок сократить энергопотребление установок.

Для того чтобы наиболее эффективно с экономической и практической точек зрения использовать полезный ресурс систем тонкораспыленной воды для защиты высотных зданий, необходимы дополнительные исследования, план которых в упрощенном виде можно представить следующим образом:

1. Разработка математической модели тушения пожара мелкодисперсной жидкостью.
2. Проектирование трехмерной модели высотного здания с учетом распределения и характеристик пожарной нагрузки, параметров комплекса противопожарной защиты, на основе разработанной математической модели по средствам программного комплекса FDS (Fire Dynamic Simulator).
3. Подготовка и проведение натурных огневых испытаний установок тонкораспыленной воды для конкретных помещений с использованием результатов компьютерного моделирования.
4. Разработка концепции противопожарной защиты высотных зданий с учетом применения автоматических установок пожаротушения тонкораспыленной водой на основе обобщения полученных данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болодъян И. А., Хасанов И. Р., Гомозов А. В. Концептуальный подход к обеспечению пожарной безопасности высотного строительства и формирование противопожарных норм для высотных и многофункциональных комплексов // Современные системы и средства комплексной безопасности и противопожарной защиты объектов строительства : материалы 2-й науч.-практ. конф. — М. : Стройбезопасность, 2003. — С. 14–15.
2. Копылов Н. П. Сравнительный анализ противопожарных требований к высотным и многофункциональным зданиям в России и за рубежом // Пожарная безопасность многофункцио-

- нальных и высотных зданий и сооружений : материалы XIX науч.-практ. конф. — М. : ВПИИПО, 2005. — С. 31–47.
3. Цариченко С. Г. Проблемы использования тонкораспыленной воды в автоматических установках пожаротушения // Алгоритм безопасности. — 2005. — № 5.
 4. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон № 123-ФЗ от 22.07.2008 : принят Гос. Думой 04.07.2008 : одобр. Советом Федерации 11.07.2008 // Собр. законодательства РФ. — 2008. — № 30 ; Российская газета. — 2008. — № 163.
 5. СП 2.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты : введ. 01.05.2009 ; утв. приказом МЧС РФ № 172 от 25.03.2009. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.
 6. СП 5.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования : введ. 01.05.2009 ; утв. приказом МЧС РФ № 175 от 25.03.2009. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.

*Материал поступил в редакцию 15 мая 2011 г.
Электронные адреса авторов: da-vip@mail.ru;
gromovooyyu@yandex.ru; oo.vorogushin@gmail.com.*



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу

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



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

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

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

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



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

Сентябрь 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
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{Q}); 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.

Ignition of a Polymer Material by a Single Particle Heated Till High Temperature

Glushkov D. O., Postgraduate Student of National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia
Strizhak P. A., Cand. of Physics-Mathematics, Associated Professor of National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

Gas-phase ignition of a polymer material by a single “hot” metal particle was numerically investigated. Thermal conductivity, thermal decomposition and diffusion were taken into account. Ignition delay time for polymer material was determined from initial temperature and sizes of a local energy source. A minimum of initial temperature and sizes of single “hot” metal particle were determined for ignition realization.

Keywords: ignition; polymer material; particle; fire dangerous.

Correlation of Fire Hazard Indexes with Chemical Structure. IV. Ethers

Alexeev S. G., Cand. of Chemistry, Associate Professor, Head of Department of Ural State Fire Service Institute of Emercome RF, Yekaterinburg, Russia

Barbin N. M., Dr. of Technics, Cand. of Chemistry, Head of Department of Ural State Fire Service Institute of Emercome RF, Yekaterinburg, Russia

Alexeev K. S., Student of Chemical Industrial Faculty of Ural Federal University named by the First President of Russia B. N. El'tsin, Yekaterinburg, Russia

Orlov S. A., Cand. of Technics, Associate Professor, Vice-Rector-Commandant of Ural State Fire Service Institute of Emercome RF, Yekaterinburg, Russia

There are found the empirical formulas for prediction of chemical, physical and fire hazard indexes (characteristics) for aliphatic ethers. There are shown application of the hydrocarbon chain rule and the effect of the functional group for forecast of fire hazard characteristics on an example of aliphatic ethers.

Keywords: ether; rule; property; fire hazard; index (characteristic).

The Influence of Fiberglass Structure on Heat Release Rate

Barbotko S. L., Cand. of Technics, Head of Laboratory of Federal State Unitary Enterprise “All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials” (VIAM) SSC RF, Moscow, Russia

Izotova T. F., Leading Engineer of Federal State Unitary Enterprise “All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials” (VIAM) SSC RF, Moscow, Russia

The influence of fiber glass fabric type (superficial density, thickness, type of fibers) on fire safety characteristics — HRR (the maximal intensity and total of release heat at burning) is shown.

Keyword: heat release rate; polymer composite material; fiberglass.

Materials with Lowering of Fire Danger on the Base Liquid Siloxan Rubbers with Covering Vulcanizing by Method of Polyaddition

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

Malyasova A. S., Cand. of Chemistry, Scientific Collaborator of Ivanovo State University of Chemistry and Technology, Ivanovo, Russia

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

The properties of protective materials with covering on the base of liquid siloxan rubbers vulcanizing by method of poly-addition are studied. The fire safety and physico-mechanical properties of this materials exceed properties of the materials with siloxan covering on the base of liquid siloxan rubbers vulcanizing by method of polycondensation. This is conditioned by more full proceeding of vulcanization of liquid siloxan rubbers.

Keywords: siloxan rubbers; protective materials; polyaddition.

Retardants for Wood-Based Products Aminolysis of Pet by Monoethanolamine

Balakin V. M., Cand. of Chemistry, Professor of Ural State Forestry Engineering University, Yekaterinburg, Russia

Starodubtsev A. V., Postgraduate Student of Ural State Forestry Engineering University, Yekaterinburg, Russia

Krasilnikova M. A., Postgraduate Student of Ural State Forestry Engineering University, Head of Laboratory of Ural State Fire Service Institute of Emercome RF, Yekaterinburg, Russia

Kiseleva A. P., Student of Ural State Forestry Engineering University, Yekaterinburg, Russia

There is studied the reaction of aminolysis of polyethyleneterephthalate (PET) by monoethanolamine. The structure of products aminolysis of PET by monoethanolamine is established by IR-spectroscopy and elemental analysis. The phosphorusflame retardants are obtained of the products by aminolysis; the effectiveness of their fire-retardant wood is studied.

Keywords: flame retardant for wood; polyethyleneterephthalate; monoethanolamine; aminolysis.

Ideal Modeling – the Basis of Improvement of Systems of Fire-Prevention Protection of Enterprises

Nekrasov A. V., Cand. of Technics, Docent, Associate Professor of Voronezh Institute of State Fire Fighting Service of Emercome RF, Voronezh, Russia

Kalach A. V., Cand. of Chemistry, Docent, Deputy Head of Voronezh Institute of State Fire Fighting Service of Emercome RF, Voronezh, Russia

Isaev A. A., Deputy Head of Voronezh Institute of State Fire Fighting Service of Emercome RF on Educational Work, Voronezh, Russia

There are the peculiarities of the concept of ideal modeling of the technological equipment. There is shown the compatibility of the different ideal models, both among themselves and with the requirements of fire safety.

Keywords: fire safety; ideal modeling; gravitational separators.

Working of the Evaluation Method of Fire Risks of Solid Combustible Substances and Materials of Manufacturing and Storage Facilities

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

Problems of determining of the calculated values of fire risks were considered in the article according to the method, approved by the Ministry of Emergencies of Russia, another approach to determining the fire risks of solid combustible substances was proposed, materials on the number of fires in Russia were used.

Keywords: fire risk; acceptable risk of fire; dangerous factors of fire; specific mass burning rate; probability.

About Regulations of Response Time of Fire Services

Brushlinsky N. N., Dr. of Technics, Professor, Academician of RANS, Chief of SIC of Complex Systems Safety Control of State Academy of Fire-Prevention Service of Emercome RF, Moscow, Russia

Sokolov S. V., Dr. of Technics, Academician of RANS, Professor of State Academy of Fire-Prevention Service of Emercome RF, Moscow, Russia

Based on the fire statistics the problems of regulation of response time of fire service are analysed.

Keywords: dangerous factors of fire; model of fire; fire statistics; response time; fire death risk.

Recursive Splain Forecasting in Middle Period Forecast

Kaibitchev I. A., Dr. of Physics-Mathematics, Assistant Professor, Professor of Urals State Fire Service Institute of Emercome RF, Yekaterinburg, Russia

For forecasting of the situation with fire for month in the future applying method of the recurrence forecasting with linear splain approximation. The results of the forecast on base of the offered method were compared to calculations got on method, recommended Emercome, and with facts data given on Republic Bashkortostan for 1993–2007. Is installed that method, recommended Emercome, gave up rated values in contrast with facts. At forecasting by method to linear splain approximation were received values more close to fact, as well as more low amounts of the average mistake and modules average and percentage error.

Keywords: the mathematical forecasting; recursive method; splains.

Fire Extinguishing in Tall Buildings by Using Water Mist Systems

Korolchenko D. A., Cand. of Technics, Head of Fire Safety Department of Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

Gromovoy V. Yu., Postgraduate Student of Fire Safety Department of Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

Vorogushin O. O., Assistant of Fire Safety Department of Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

Fire hazard in tall buildings was analyzed. Possible ways to extinguish the fire, depending on functional division of a tall buildings, were compared and on the basis of submitted fire suppression mechanism, was proved the application effectiveness of water mist systems.

Keywords: water mist; water fog; fire suppression; fire extinguishing; high-rise buildings; high pressure water mist system; smoke.

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

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

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 29.08.11.

Формат 60×84 1/8. Тираж 5000 экз.

Бумага офсетная №1. Печать офсетная.

Отпечатано в типографии “ГранПри”, г. Рыбинск

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	



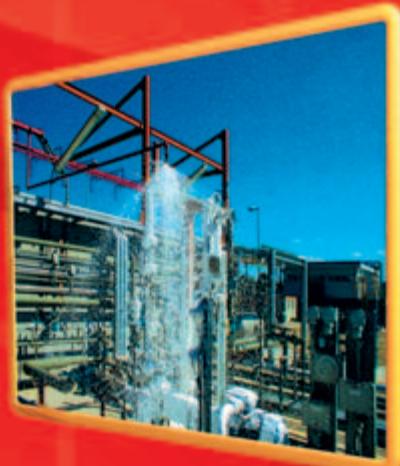
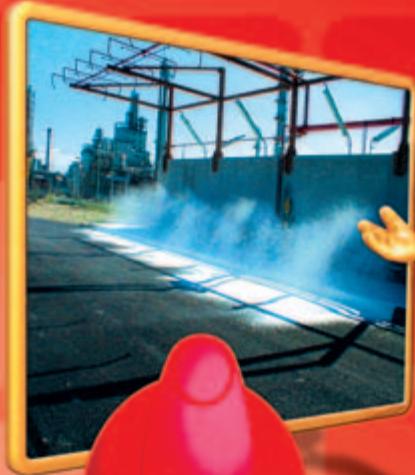
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ КОМПАНИЯ

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