

3-2015

ПОЖ Издательство
НАУКА

ПОЖАРОВЗРЫВО-



БЕЗОПАСНОСТЬ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ISSN 0869-7493

КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

пожарная • промышленная • производственная • экологическая



О РОЛИ РАСПЫЛИТЕЛЬНЫХ
УСТРОЙСТВ ПРИ ТУШЕНИИ
ПОЖАРОВ



ISSE

INTEGRATED SAFETY & SECURITY EXHIBITION

КРУПНЕЙШАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
ВЫСТАВКА ПО БЕЗОПАСНОСТИ

международный салон

КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ 2015

РЕКЛАМА

Москва, ВДНХ,
павильон № 75

19 - 22 мая

Тематические разделы



Пожарная
безопасность



Защита
и оборона



Информационные
технологии



Техника
охраны



Средства
спасения



Комплексная безопасность
на транспорте



Безопасность
границы



Экологическая
безопасность



Ядерная
и радиационная безопасность



Медицина
катастроф



Промышленная
безопасность



Материально-техническое
обеспечение силовых структур

WWW.ISSE-RUSSIA.RU

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТЬ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

FIRE-AND-EXPLOSION HAZARD OF SUBSTANCES AND MATERIALS

АЛЕКСЕЕВ С. Г., АВДЕЕВ А. С.,
БАРБИН Н. М., ГУРЬЕВ Е. С.
Методы оценки взрывопожароопасности
топливовоздушных смесей на примере
керосина марки РТ. VIII. Сравнение методов
Дорофеева, РД 03-409-01 и BST2

6

ALEXEEV S. G., AVDEEV A. S.,
BARBIN N. M., GUR'YEV E. S.
Analysis methods of explosion fire hazard of mixtures
of fuel and air on an example for jet fuel RT.
VIII. Comparison of methods of Dorofeev,
RD 03-409-01 and BST2

БАРБОТКО С. Л., ВОЛЬНЫЙ О. С.,
КИРИЕНКО О. А., ШУРКОВА Е. Н.
Особенности испытаний авиационных материалов
на пожароопасность. Часть 2. Испытания на горючесть.
Влияние продолжительности экспозиции
пламенем горелки

13

BARBOTKO S. L., VOLNYY O. S.,
KIRIENKO O. A., SHURKOVA E. N.
Features the testing of aviation materials
on fire safety. Part 2. Test on flammability.
Influence of exposure duration
by burner flame

ОГНЕЗАЩИТА

FIRE RETARDANCE

РУДАКОВА Т. А., ЕВТУШЕНКО Ю. М.,
ГРИГОРЬЕВ Ю. А., БАТРАКОВ А. А.
Пути снижения температуры пенообразования
в системе полифосфат аммония – пентаэритрит
в интумесцентных системах

24

RUDAKOVA T. A., YEVTUSHENKO Yu. M.,
GRIGORYEV Yu. A., BATRAKOV A. A.
Ways of reducing the temperature of foaming
in the system ammonium polyphosphate – pentaerythritol
in intumescents systems

ОГНЕСТОЙКОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

FIRE-RESISTANCE OF BUILDING CONSTRUCTIONS

КАЗИЕВ М. М., ЗУБКОВА Е. В., БЕЗБОРОДОВ В. И.
Защита триплекса при пожаре с помощью
водяного орошения

32

KAZIEV M. M., ZUBKOVA Ye. V., BEZBORODOV V. I.
Water irrigation for protection
of triplex at fire

ПОЖАРНАЯ ОХРАНА

FIRE SECURITY

КУЛЕПАНОВ А. Н., ПОЛИЩУК Е. Ю., ЕФИМОВ И. А.
Новое направление в обучении специалистов
в области расследования пожаров

37

KULEPANOV A. N., POLISHCHUK E. Yu., EFIMOV I. A.
New in fire investigation
educating

СРЕДСТВА И СПОСОБЫ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

MEANS AND WAYS OF FIRE EXTINGUISHING

ВОЛКОВ Р. С., ЖДАНОВА А. О., СТРИЖАК П. А.,
КУЗНЕЦОВ А. Е., МОСКВИЛИН Е. А.
О роли распылительных устройств
при тушении пожаров

42

VOLKOV R. S., ZHDANOVA A. O., STRIZHAK P. A.,
KUZNETSOV A. E., MOSKVILIN E. A.
About the role of atomizing devices
under the extinguishing of fires

КОРОЛЬЧЕНКО Д. А., ШАРОВАРНИКОВ А. Ф.
Тушение пламени гидрофобных материалов
водными растворами смачивателей

61

KOROLCHENKO D. A., SHAROVARNIKOV A. F.
Extinguishing flames of hydrophobic materials
by water solutions of wetting agent

ДИСКУССИИ

DISCUSSION

ТИМОШИН В. С.
Пожарная безопасность —
не полигон для экспериментов!

69

TIMOSHIN V. S.
Fire safety is not the ground
for experiments!

ВОПРОС – ОТВЕТ

75

QUESTION – ANSWER

Журнал издается с 1992 г., периодичность выхода — 12 номеров в год.

СМИ зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций — свидетельство ПИ № ФС77-43615 от 18 января 2011 г.

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

Перепечатка материалов журнала "Пожаровзрывобезопасность" только по согласованию с редакцией. При цитировании ссылка обязательна. Авторы и рекламодатели несут ответственность за содержание представленных в редакцию материалов и публикацию их в открытой печати. Мнение редакции не всегда совпадает с мнением авторов опубликованных материалов.



Методы оценки взрывопожароопасности смесей



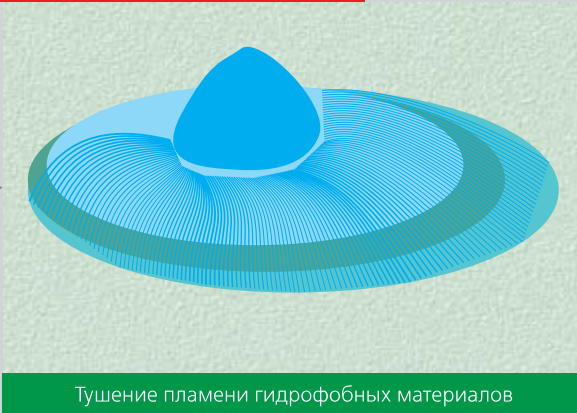
Защита триплекса при пожаре



Новое в обучении в области расследования пожаров



О роли распылительных устройств при пожаротушении



Тушение пламени гидрофобных материалов

Председатель Редакционного совета:

Корольченко А. Я., д. т. н., профессор,
академик МАНЭБ (Россия)

Зам. председателя Редакционного совета:

Мольков В. В., д. т. н., профессор (Великобритания)

Редакционный совет:

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

Барбин Н. М., д. т. н., профессор (Россия)

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

Корольченко Д. А., к. т. н., академик МАНЭБ (Россия)

Мишуев А. В., д. т. н., профессор, академик РАЕН (Россия)

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

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

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

Тамразян А. Г., д. т. н., профессор,
действительный член ВАНКБ (Россия)

Теличенко В. И., д. т. н., профессор, действительный член
РААСН, заслуженный деятель науки РФ (Россия)

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

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

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

Шилдс Т. Дж., профессор (Великобритания)

Редакция:

Главный редактор **Корольченко А. Я.**

Шеф-редактор **Соколова Н. Н.**

Редактор **Крылова Л. В.**

**Учредитель —
ООО "Издательство "ПОЖНАУКА"**

Тел./факс: (495) 228-09-03, 8 (909) 940-01-85.

Адрес редакции: 121357, Россия, г. Москва,
ул. Версаева, д. 10.

Адрес для переписки: 121352, Россия, г. Москва, а/я 43.

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

Подписано в печать 12.03.2015. Выход в свет 25.03.2015.

Формат 60x84 1/8. Тираж 2000 экз.

Бумага мелованная матовая. Печать офсетная.

Отпечатано в типографии ООО "КОДА"

(105082, Россия, г. Москва, Спартаковский пер., д. 2, стр. 1).

**Founder:**

"POZHNAUKA" Publishing House, Ltd.

Editorial Staff:

Editor-in-Chief **Korolchenko A. Ya.**

Editorial director **Sokolova N. N.**

Editor **Krylova L. V.**

Address of Editorial Staff:

Veresaeva St., 10, Moscow,
121357, Russia.

Post office box 43,
Moscow, 121352, Russia.

Phone/Fax: (495) 228-09-03,
8 (909) 940-01-85

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

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

"Pozharovzryvobezopasnost" ("Fire and Explosion Safety") is included in List of periodical scientific and technical publication of the Russian Federation, what are recommended for publishing the main results of competitors for doctoral degree by VAK, in Abstracting Journal and VINITI Database RAS, is included in Russian Citation Index Database. Information about the journal is annually published in "Ulrich's Periodicals Directory". No part of this publication may be used or reproduced in any form or by any means without the prior permission of the Publishers. Reproducing any part of this material a reference to the journal is obligatory. Authors and advertisers account for contents of given papers and for publishing in the open press. Opinion of Editorial Staff not always coincides with Author's opinion

Signed for printing 12.03.2015

Date of publication 25.03.2015

Format is 60x84 1/8

Printing is 2000 copies

Chalk-overlay mat paper

Offset printing

Chairman of Editorial Board:

Korolchenko A. Ya.,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of International Academy of Ecology and Life Safety (Russia)

Deputy Chairman of Editorial Board:

Molkov V. V.,

Doctor of Technical Sciences, Professor (Great Britain)

Editorial Board:

Baratov A. N.,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Full Member of National Academy of Fire Science, Honoured Scientist of the Russian Federation (Russia)

Barbin N. M.,

Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

Brushlinskiy N. N.,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of Russian Academy of Natural Sciences, Honoured Scientist of the Russian Federation (Russia)

Korolchenko D. A.,

Candidate of Technical Sciences, Academician of International Academy of Ecology and Life Safety (Russia)

Mishuev A. V.,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of Russian Academy of Natural Sciences (Russia)

Puzach C. V.,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding Member of National Academy of Fire Science (Russia)

Roytman V. M.,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of National Academy of Fire Science, Academician of World Academy of Sciences of Complex Safety (Russia)

Serkov B. B.,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Full Member of National Academy of Fire Science (Russia)

Tamrazyan A. G.,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Full Member of World Academy of Sciences for Complex Safety (Russia)

Telichenko V. I.,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Full Member of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Honoured Scientist of the Russian Federation (Russia)

Topolskiy N. G.,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of Russian Academy of Natural Sciences, Academician of National Academy of Fire Science, Honoured Scientist of the Russian Federation (Russia)

Kholshchevnikov V. V.,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician and Honoured Member of Russian Academy of Natural Sciences, Honoured Higher Education Employee of the Russian Federation (Russia)

Shebeko Yu. N.,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Full Member of National Academy of Fire Science (Russia)

Shields T. J.,

Professor (Great Britain)

27–29 мая

Красноярск 2015



XI специализированный форум-выставка

АНТИТЕРРОР

современные
системы
безопасности



- Технические средства и системы безопасности
- Инженерно-технические средства физической защиты
- Пожарная безопасность
- Аварийно-спасательное оборудование
- Транспорт
- Экипировка. Индивидуальные средства защиты
- Информационная безопасность
- Безопасность промышленного комплекса

*Ежегодно в выставке принимает участие более 9 000 человек,
46 % из которых – специалисты отрасли*



Организаторы:



РЕКЛАМА

МВДЦ «СИБИРЬ», ул. Авиаторов, 19
тел.: (391) 22-88-400, 22-88-611 – круглосуточно
ccb@krasfair.ru
www.krasfair.ru

С. Г. АЛЕКСЕЕВ, канд. хим. наук, доцент, чл.-корр. ВАН КБ, старший научный сотрудник Научно-инженерного центра “Надежность и ресурс больших систем и машин” УрО РАН (Россия, 620049, г. Екатеринбург, ул. Студенческая, 54а); старший научный сотрудник Уральского института ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22; e-mail: Alexshome@mail.ru)

А. С. АВДЕЕВ, начальник сектора Судебно-экспертного учреждения ФПС “Испытательная пожарная лаборатория по Пермскому краю” (Россия, 614990, г. Пермь, ул. Большевикская, 53а); аспирант Научно-инженерного центра “Надежность и ресурс больших систем и машин” УрО РАН (Россия, 620049, г. Екатеринбург, ул. Студенческая, 54а; e-mail: asipl@ugps.perm.ru)

Н. М. БАРБИН, д-р техн. наук, канд. хим. наук, заведующий кафедрой химии Уральской государственной сельскохозяйственной академии (Россия, 620075, г. Екатеринбург, ул. Карла Либкнехта, 42); старший научный сотрудник Уральского института ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22; e-mail: NMBarbin@mail.ru)

Е. С. ГУРЬЕВ, канд. техн. наук, доцент, заместитель директора Научно-инженерного центра “Надежность и ресурс больших систем и машин” УрО РАН (Россия, 620049, г. Екатеринбург, ул. Студенческая, 54а; e-mail: sec@wekt.ru)

УДК 614.84:665.74

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ВЗРЫВОПОЖАРООПАСНОСТИ ТОПЛИВОВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ НА ПРИМЕРЕ КЕРОСИНА МАРКИ РТ. VIII. СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ДОРОФЕЕВА, РД 03-409-01 И BST2¹

Выполнен расчет параметров взрыва паров авиакеросина по методам Дорофеева, РД 03-409-01 и BST2. Показано, что подходы Дорофеева и РД 03-409-01 плохо согласуются с методом BST2. Выполнена верификация этих методов на примере взрыва паров растворителя, который произошел 22 ноября 2006 г. на предприятии CAI в г. Дэнверс штата Массачусетс. Показано, что при известной скорости распространения пламени подходы Дорофеева и РД 03-409-01 дают удовлетворительные прогнозы радиусов зон разрушения.

Ключевые слова: взрыв; керосин; топливовоздушная смесь; избыточное давление; гептан.

В предыдущих работах [1–7] нами были проанализированы возможности отечественных расчетных методов Госатомнадзора, Госгортехнадзора и МЧС России и методик нидерландской организации прикладных научных исследований TNO (Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek) и BST (Baker–Strehlow–Tang) на примере решения задачи, связанной с разлитием авиационного топлива марки РТ.

В настоящей статье продолжено рассмотрение возможностей существующих методик оценки взрывопожароопасности топливовоздушных смесей (далее — ТВС). Объектом настоящего исследования выбран метод Дорофеева [8–10], который разрабатывался параллельно с методами ME–TNO (multi-energy) и BST и может рассматриваться как потен-

циальная альтернатива им. Следует заметить, что только в методиках Дорофеева [8–10], РД 03-409-01 (далее — РД) [11] и BST [12–16] заложена взаимосвязь параметров взрыва со скоростью распространения пламени (flame speed). Именно поэтому для сравнительного анализа выбраны эти методы. Ранее нами было отмечено [17, 18], что узким местом отечественных и зарубежных методик является способ определения массы горючего вещества в паровоздушном облаке, поэтому сравнение выполнено для стехиометрической концентрации 500 кг паров керосина РТ.

В методе Дорофеева для определения избыточного давления взрыва используются уравнения [8–10] для разных режимов взрыва:

$$R^* = \frac{R}{(E/P_0)^{1/3}}; \quad (1)$$

$$\Delta P = P^* P_0; \quad (2)$$

¹ Продолжение. Начало см. в журнале “Пожаровзрывобезопасность”, № 5 за 2010 г., № 1 за 2011 г., № 1, 6 и 8 за 2012 г., № 7 и 12 за 2013 г.

- детонация:

$$P^* = \frac{0,34}{(R^*)^{4/3}} + \frac{0,062}{(R^*)^2} + \frac{0,0033}{(R^*)^3}; \quad (3)$$

- гетерогенная детонация:

$$P^* = \frac{0,125}{R^*} + \frac{0,137}{(R^*)^2} + \frac{0,023}{(R^*)^3}; \quad (4)$$

- дефлаграция:

$$P^* = \left(\frac{u}{c_0} \right)^2 \frac{\sigma - 1}{\sigma} \left(\frac{0,83}{R^*} - \frac{0,14}{(R^*)^2} \right), \quad (5)$$

где R^* — параметр Сахса (Sach);

R — расстояние от центра взрыва, м;

E — энергия взрыва, Дж/кг; для авиакеросина $(E/P_0)^{1/3} = 71,634$ [6];

P_0 — нормальное давление, кПа; $P_0 = 101$ кПа [1];

P^* — приведенное максимальное давление взрыва;

ΔP — избыточное давление взрыва, кПа;

u — скорость распространения пламени, м/с;

c_0 — скорость звука в воздушной среде, м/с;

$c_0 = 340$ м/с [11];

σ — коэффициент расширения; для газовых смесей $\sigma = 7$ [11]²;

$\sigma = \rho_{\text{пр}} / \rho_p$;

$\rho_{\text{пр}}$ — плотность продуктов сгорания при температуре горения, кг/м³;

ρ_p — плотность горючей смеси (реагентов) при начальной температуре, кг/м³.

Необходимо отметить, что уравнения (4) и (5) идентичны формулам из РД 03-409-01 (пп. 2.3.1 и 2.3.2) [11]. Однако в подходе Дорофеева для дефлаграционных взрывов предлагается руководствоваться выбором минимального приведенного давления взрыва P^* с помощью соотношения

$$P^* = \min(P_1^*, P_2^*), \quad (6)$$

где P_1^* , P_2^* — приведенные давления взрыва, найденные по формулам (3) и (5) соответственно.

В методе Дорофеева также используется полуэмпирический способ определения возможной скорости распространения пламени с помощью уравнения [9]:

$$u = a^2 b \sigma (\sigma - 1) S_L \left[1 + \frac{4 \sigma y R^\alpha}{3 x (\sigma x)^\alpha} \right]^2 \left(\frac{L_T}{\delta} \right)^{1/3}, \quad (7)$$

² Допущение РД [11], что $\sigma = 7$, согласуется с литературными данными [9, 19] ($\sigma = 7 \div 8$ для углеводородных топлив) и результатом расчета для авиакеросина РТ ($\sigma = 8$) в приближении к равновесному составу продуктов при постоянном давлении в замкнутом объеме по описанному в [20] методу. Расчет σ через нижний концентрационный предел воспламенения и стехиометрическую концентрацию [21] для авиакеросина РТ дает заниженное значение σ .

Таблица 1. Значения коэффициентов y и x [9]

Степень загроможденности	Характеристика окружающего пространства		x , м	y , м
	Степень блокирования его объема, %	Расстояние между преградами, м		
Низкая (low congestion)	Менее 2	Более 2	16	4
Средняя (medium congestion)	2–6	0,5–2,0	3	1
Высокая (high congestion)	Более 6	Менее 0,5	0,5	0,25

где a , b , α — полуэмпирические коэффициенты, определяемые на основании экспериментальных данных;

S_L — ламинарная скорость горения, м/с;

y , x — параметры загроможденности пространства (табл. 1);

L_T — интегральная длина (масштаб) турбулентности;

δ — толщина ламинарного слоя горения;

$\delta = v / L_T$;

v — кинематическая вязкость, м²/с.

Однако для нашей расчетной аварийной ситуации применение уравнения (7) невозможно из-за отсутствия данных по параметрам a , b , α , S_L , L_T и δ для авиакеросина РТ, поэтому расчет выполнен для режимов как детонации, так и дефлаграции при различных скоростях распространения пламени (табл. 2). Для сравнения в табл. 2 приведены округленные до 1 м значения радиусов зон разрушений в зависимости от избыточного давления взрыва, полученные по методам РД [11] и BST2³. Методика РД [11] не предполагает реализации взрыва паровоздушной смеси керосина РТ в режиме детонации, поэтому для сравнения с методом Дорофеева приведен также расчет для этого режима взрыва ТВС. В связи с тем что в методах РД [11] и BST2 при расчетах используются разные значения скорости распространения пламени, для корректного отражения возможностей подхода Дорофеева прогнозирование выполнено при тех же скоростях распространения пламени, которые заданы в методиках сравнения.

Из табл. 2 видно, что предсказания радиусов зон разрушения по оценочному методу тротилового эквивалента (ТНТ) [11] не согласуются с результатами прогноза по BST2, другим методикам РД [11] и методу Дорофеева. При взрыве стехиометрической смеси 500 кг паров авиакеросина РТ значения радиуса разрушений 1-го класса по методам РД [11] и Доро-

³ BST2 — это последняя версия BST-методов (классификация BST-методов приведена в работе [7]). Расчет выполнен с помощью программы “FreeBST” компании “TAM Consulting, L.L.C.”.

Таблица 2. Результаты прогноза радиусов зон разрушений в методе BST2

Класс зоны разрушений (P , кПа)	Значение R , м, по методу			
	Дефлаграция		Детонация	
	BST2/ Дорофеева	РД/ Дорофеева	РД/ТНТ	Дорофеева
1 (≥ 100)	33/41 ¹ 17/34 ²	39/39 ⁹	37/40	41
2 (70)	35/52 ¹ 30/52 ²	66/52 ⁹	40/59	52
3 (28)	74/98 ¹ 62/98 ² 51/69 ³ 35/40 ⁴	191/98 ⁹ 76/76 ¹⁰	49/101	98
4 (14)	135/160 ¹ 118/160 ² 104/155 ³ 81/103 ⁴ 69/82 ⁵ 64/70 ⁶ 60/59 ⁷	396/160 ⁹ 168/160 ¹⁰ 50/50 ¹¹	58/295	160
5 (≤ 2)	> 551/644 ¹⁻³ 474/644 ⁴ 424/644 ⁵ 399/584 ⁶ 364/510 ⁷ 187/214 ⁸	2786/644 ⁹ 1231/644 ¹⁰ 444/444 ¹¹ 157/157 ¹²	96/591	644

Примечания:

1. Жирным шрифтом выделены значения, полученные по уравнению (3) в соответствии с условием $P^* = \min(P_1^*, P_2^*)$.
2. Индексами "1–8" обозначены радиусы, полученные при Эйлеровом числе Маха M_f : 1 — 1,60; 2 — 1,00; 3 — 0,66; 4 — 0,55; 5 — 0,50; 6 — 0,47; 7 — 0,44; 8 — 0,29.
3. Индексами "9–12" обозначены радиусы, полученные при скорости распространения пламени: 9 — 300 м/с; 10 — 200 м/с; 11 — 121 м/с; 12 — 73 м/с.

феева совпадают и практически не зависят от режима взрыва. Методика BST2 дает значения радиуса для этого класса зоны разрушений на 10–54 % меньше, чем методы РД [11] и Дорофеева.

В случае разрушений 2-го класса можно отметить удовлетворительное совпадение прогнозов R только по методу BST2 при $M_f = 1,6$ и по методике РД [11] для режима детонации. Для этого же режима подход Дорофеева дает завышенные прогнозы R для классов зон разрушения 2–5 по сравнению с методиками BST2 и РД [11], включая ТНТ-метод. В случае дефлаграционных взрывов полученные по BST2 значения R для 2–5-го классов зон разрушения меньше по сравнению с подходами РД [11] и Дорофеева.

Оценивая полученные результаты в целом, можно отметить, что методы РД [11] и Дорофеева не имеют удовлетворительной согласованности с методикой BST2.

Для отдачи предпочтения одному из рассмотренных методов выполнена верификация методик про-



Место происшествия на территории предприятий CAI и Arnel Manufacturing Facility (г. Дэнверс штата Массачусетс США)

гнозирования последствий взрывов парогазовоздушных смесей на примере реальной промышленной аварии, которая произошла 22 ноября 2006 г. около 3 ч ночи (2:46 am) на территории предприятий CAI и Arnel Manufacturing Facility, находящихся на одной производственной площадке, в г. Дэнверс (Danvers), который расположен в 20 милях от Бостона (Boston) в штате Массачусетс США. В результате взрыва пострадали 10 человек и 30 зданий (см. рисунок) [22].

Изучением данного случая занималось независимое американское федеральное агентство по расследованию инцидентов в химической промышленности CSB (Chemical Safety and Hazard Investigation Board). Сотрудниками CSB установлено, что в результате нарушения технологического процесса на предприятии CAI произошел несанкционированный выброс паров растворителя, используемого для производства чернил для принтеров, с образованием паровоздушного облака. Контакт облака с горячей поверхностью нагревательного элемента промышленного теплоэлектровентилятора привел к взрыву. Экспертами CSB на основании критического анализа картины разрушений и повреждений в районе инцидента были определены радиусы зон разрушений (табл. 3) [22]. Было также установлено, что основным компонентом в паровом облаке был гептан.

На основании данных о взрыве на предприятии CAI (385,554 кг паров гептана, температура воздуха 291,5 К) нами выполнен прогноз зон повреждений методами BST2, РД [11] и Дорофеева (см. табл. 3). Прогнозы по BST2 выполнены для 2,5D-конфигурации взрывного превращения. Как видно из табл. 3, метод BST2 дает хороший прогноз только для случая сильно загроможденного пространства, однако данные отчета [22] говорят о том, что место происшествия не соответствует этим требованиям.

В РД [11], в котором приведена классификация горючих веществ по степени чувствительности, геп-

Таблица 3. Радиусы зон разрушения, прогноз избыточно-го давления в них и его погрешность Δ на предприятиях CAI и Arnel Manufacturing Facility

Данные CSB		Прогноз ΔP , кПа			
R , ft (м)	ΔP , psi (кПа)	BST2	Δ , %	РД, Дорофеев	Δ , %
365 (111,3)	2,3 (15,9)	9,34 ¹ 14,65 ²	41 8	18,9 ³ 10,6 ⁴ 14,2 ⁵	19 33 11
581 (177,0)	1,2 (8,3)	5,45 ¹ 8,37 ²	34 1	12,4 ³ 7,0 ⁴ 9,3 ⁵	49 16 12

Примечания:

1. Индексами “1”, “2” обозначены значения, полученные соответственно при средней и высокой степени загроможденности пространства.
2. Индексами “4”, “5” и “6” обозначены значения, полученные при скорости распространения пламени соответственно 200; 150 и 173 м/с.

тан отсутствует. Однако его ближайшие гомологи (гексан и октан) попадают в 3-й класс [11], поэтому и гептан был отнесен нами к этому же классу. Согласно РД [11] исследуемый взрыв в условиях средней степени загроможденности пространства должен происходить в режиме дефлаграции со скоростью распространения пламени $u = 150 \div 200$ м/с [11]. Для данного случая расчетные подходы методов РД и Дорофеева полностью совпадают. Расчеты при предельных значениях u дают ошибку от 16 до 49 %. Выбор скорости распространения пламени $u = 173$ м/с позволяет уменьшить ошибку прогнозов до приемлемых значений (11–12 %).

В заключение можно сделать вывод, что методы Дорофеева и РД 03-409–01 при известной скорости распространения пламени позволяют прогнозировать последствия взрывов газопаровоздушных смесей в режиме дефлаграции с приемлемой точностью в отличие от методики BST2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев С. Г., Авдеев А. С., Барбин Н. М., Тимашев С. А., Гурьев Е. С. Методы оценки взрывопожароопасности топливовоздушных смесей на примере керосина марки РТ. I. РБ Г-05-039–96 // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 5. — С. 37–47.
2. Алексеев С. Г., Авдеев А. С., Барбин Н. М., Тимашев С. А., Гурьев Е. С. Методы оценки взрывопожароопасности топливовоздушных смесей на примере керосина марки РТ. II. РД 03-409–01 // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 1. — С. 21–27.
3. Алексеев С. Г., Авдеев А. С., Барбин Н. М., Тимашев С. А., Гурьев Е. С. Методы оценки взрывопожароопасности топливовоздушных смесей на примере керосина марки РТ. III. СП 12.13130.2009 // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 1. — С. 33–38.
4. Алексеев С. Г., Авдеев А. С., Барбин Н. М., Тимашев С. А., Гурьев Е. С. Методы оценки взрывопожароопасности топливовоздушных смесей на примере керосина марки РТ. IV. ГОСТ Р 12.3.047–98 // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 6. — С. 34–37.
5. Алексеев С. Г., Авдеев А. С., Барбин Н. М., Тимашев С. А., Гурьев Е. С. Методы оценки взрывопожароопасности топливовоздушных смесей на примере керосина марки РТ. V. ПБ 09-540–03 // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 8. — С. 32–35.
6. Алексеев С. Г., Авдеев А. С., Барбин Н. М., Тимашев С. А., Гурьев Е. С. Методы оценки взрывопожароопасности топливовоздушных смесей на примере керосина марки РТ. VI. TNO-методы (часть 1) // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 7. — С. 22–29.
7. Алексеев С. Г., Авдеев А. С., Барбин Н. М., Гурьев Е. С. Методы оценки взрывопожароопасности топливовоздушных смесей на примере керосина марки РТ. VII. BST-методы // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 12. — С. 23–30.
8. Dorofeev S. B. Blast effect of confined and unconfined explosions // Proc. 20th ISSW “Shock waves” / Eds. B. Sturtevant, J. Shepherd, and H. Hornung. — Singapore : Scientific Publishing Co., 1996. — Vol. 1. — P. 77–86.
9. Dorofeev S. B. A flame speed correlation for unconfined gaseous explosions // Process Safety Progress. — 2007. — Vol. 26, No. 2. — P. 140–149. doi: 0.1002/prs.10176.
10. Dorofeev S. B. Evaluation of safety distances related to unconfined hydrogen explosions // International Journal of Hydrogen Energy. — 2007. — Vol. 32, No. 13. — P. 2118–2124. doi: 10.1016/j.ijhydene.2007.04.003.
11. РД 03-409–01. Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей : постановление Госгортехнадзора РФ от 26.06.2001 № 25. URL : <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=EXP;n=334178> (дата обращения: 10.10.2014).
12. Baker Q. A., Tang M. J., Scheier E. A., Silva G. J. Vapor cloud explosion analysis // Process Safety Progress. — 1996. — Vol. 15, No. 2. — P. 106–109. doi: 10.1002/prs.680150211.

13. *Baker Q. A., Doolittle C. M., Fitzgerald G. A., Tang M. J.* Recent developments in the Baker-Strehlow VCE analysis methodology // *Process Safety Progress*. — 1998. — Vol. 17, No. 4. — P. 297–301. doi: 10.1002/prs.680170411.
14. *Tang M. J., Baker Q. A.* A new set of blast curves from vapor cloud explosion // *Process Safety Progress*. — 1999. — Vol. 18, No. 3. — P. 235–240. doi: 10.1002/prs.680180412.
15. *Tang M. J., Baker Q. A.* Comparison of blast curves from vapor cloud explosions // *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. — 2000. — Vol. 13, No. 3–5. — P. 433–438. doi: 10.1016/S0950-4230(99)00040-6.
16. *Pierorazio A. J., Thomas J. K., Baker Q. A., Ketchum D. E.* An update to the Baker–Strehlow–Tang vapor cloud explosion prediction methodology flame speed table // *Process Safety Progress*. — 2005. — Vol. 24, No. 1. — P. 59–65. doi: 10.1002/prs.10048.
17. *Алексеев С. Г., Гурьев Е. С., Авдеев А. С., Барбин Н. М.* Сравнительный анализ методик прогнозирования последствий взрывов газопаровоздушных смесей // *Проблемы анализа риска*. — 2013. — Т. 10, № 4. — С. 12–19.
18. *Алексеев С. Г., Авдеев А. С., Барбин Н. М., Гурьев Е. С.* Сравнительный анализ методов прогнозирования VCE // *Безопасность критичных инфраструктур и территорий : Материалы VI Всероссийской конференции и XVI школы молодых ученых*. — Екатеринбург / Абзаково : УрО РАН, 2014. — С. 11.
19. *Sharma R. K., Gurjar B. R., Wate S. R., Ghuge S. P., Agrawal R.* Assessment of an accidental vapour cloud explosion: Lessons from the Indian Oil Corporation Ltd. Accident at Jaipur, India // *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. — 2013. — Vol. 26, No. 1. — P. 82–90. doi: 10.1016/j.jlp.2012.09.009.
20. *Гельфанд Б. Е., Попов О. Е., Чайванов Б. Б.* Водород: параметры горения и взрыва. — М. : Физматлит, 2008. — С. 26.
21. *Комаров А. А., Васюков Г. В., Загуменников Р. А., Бузаев Е. В.* Взрыв газа на газонаполнительной станции в поселке Чагода. Причины и последствия // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2014. — Т. 23, № 7. — С. 58–64.
22. Confined vapor cloud explosion (10 injured, 24 houses, and six businesses destroyed) CAI, Inc. and Arnel Company, Inc. // Report No 2007-03-I-MA. — Washington : CSB, 2007. — 122 p.

Материал поступил в редакцию 1 декабря 2014 г.

English

ANALYSIS METHODS OF EXPLOSION FIRE HAZARD OF MIXTURES OF FUEL AND AIR ON AN EXAMPLE FOR JET FUEL RT. VIII. COMPARISON OF METHODS OF DOROFEEV, RD 03-409-01 AND BST2

ALEXEEV S. G., Candidate of Chemistry Sciences, Associate Professor, Corresponding Member of WASCS, Senior Researcher of Science and Engineering Centre “Reliability and Safety of Large Systems” of Ural Branch of Russian Academy of Sciences (Studencheskaya St., 54a, Yekaterinburg, 620049, Russian Federation); Senior Researcher of Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation; e-mail address: Alexshome@mail.ru)

AVDEEV A. S., Leader of Sector for Research and Testing in the Field of Fire Safety of Forensic Expert Establishment of Federal Fire Service – “Testing Fire Laboratory for the Perm Territory” (Bolshevistskaya St., 53a, Perm, 614990, Russian Federation); Postgraduate Student of Science and Engineering Centre “Reliability and Safety of Large Systems” of Ural Branch of Russian Academy of Sciences (Studencheskaya St., 54a, Yekaterinburg, 620049, Russian Federation; e-mail address: asipl@ugps.perm.ru)

BARBIN N. M., Doctor of Technical Sciences, Candidate of Chemistry Sciences, Head of Chemistry Department, Urals State Agricultural Academy (Karla Libknekhta St., 42, Yekaterinburg, 620075, Russian Federation); Senior Researcher, Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation; e-mail address: NMBarbin@mail.ru)

GUR'YEV E. S., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Deputy Director of Science and Engineering Centre "Reliability and Safety of Large Systems" of Ural Branch of Russian Academy of Sciences (Studencheskaya St., 54a, Yekaterinburg, 620049, Russian Federation; e-mail address: sec@wekt.ru)

ABSTRACT

The comparative analysis of methods of Dorofeev, RD 03-409-01 and BST2 is made on an example of the settlement contingency situation of vapor cloud explosion of 500 kg jet fuel. Values of radius of destructions of the 1st class on methods RD 03-409-01 and Dorofeev coincide and practically do not depend on an explosion mode. The BST2-technique yields values of radius R for this class of a zone of destructions on 10–54 % less, than methods RD 03-409-01 and Dorofeev. Satisfactory coincidence of forecasts R only on method BST2 at $M_f = 1,6$ and by technique RD 03-409-01 for a detonation mode is marked for destructions of the 2nd class. For the same mode, the Dorofeev's approach yields overestimated forecasts R for classes of zones of destruction 2–5 in comparison with techniques BST2 and RD 03-409-01, including the TNT-method. In a case deflagration received on the BST2 values R for 2–5 classes of zones of destruction are less than explosions in comparison with approaches RD 03-409-01 and Dorofeev. Verification of these methods is executed on an instance of vapor explosion of a solvent, which has occurred on November 22nd, 2006 at the CAI factory in Danvers, Massachusetts. The approach of methods of Dorofeev and RD 03-409-01 yields the satisfactory forecast of radiuses of bands of fracture at the known flame speed.

Keywords: explosion; kerosene; fuel-air mixture; blast pressure; heptane.

REFERENCES

1. Alexeev S. G., Avdeev A. S., Barbin N. M., Timashev S. A., Guryev Ye. S. Metody otsenki vzryvo-pozharoopasnosti toplivovozdushnykh smesey na primere kerosina marki RT. I. RB G-05-039-96 [Analysis methods of explosion fire hazard of fuel and air mixtures on an example for jet fuel RT. I. RB G-05-039-96]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2010, vol. 19, no. 5, pp. 37–47. Available at: <http://fire-smi.ru/arhivpvb2010> (Accessed 10 January 2013).
2. Alexeev S. G., Avdeev A. S., Barbin N. M., Timashev S. A., Guryev Ye. S. Metody otsenki vzryvo-pozharoopasnosti toplivovozdushnykh smesey na primere kerosina marki RT. II. RD 03-409-01 [Analysis methods of explosion fire hazard of mixtures of fuel and air on an example for jet fuel RT. II. RD 03-409-01]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 1, pp. 21–27. Available at: <http://fire-smi.ru/arhivpvb2011> (Accessed 10 January 2013).
3. Alexeev S. G., Avdeev A. S., Barbin N. M., Timashev S. A., Guryev Ye. S. Metody otsenki vzryvo-pozharoopasnosti toplivovozdushnykh smesey na primere kerosina marki RT. III. SP 12.13130.2009 [Analysis methods of explosion fire hazard of mixtures of fuel and air on an example for jet fuel RT. III. SP 12.13130.2009]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 1, pp. 33–38. Available at: <http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=1008238> (Accessed 10 January 2013).
4. Alexeev S. G., Avdeev A. S., Barbin N. M., Timashev S. A., Guryev Ye. S. Metody otsenki vzryvopozharoopasnosti toplivovozdushnykh smesey na primere kerosina marki RT. IV. GOST R 12.3.047-98 [Analysis methods of explosion fire hazard of mixtures of fuel and air on an example for jet fuel RT. IV. GOST R 12.3.047-98]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 6, pp. 34–37. Available at: <http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=1025513> (Accessed 10 January 2013).
5. Alexeev S. G., Avdeev A. S., Barbin N. M., Timashev S. A., Guryev Ye. S. Metody otsenki vzryvopozharoopasnosti toplivovozdushnykh smesey na primere kerosina marki RT. V. PB 09-540-03 [Analysis methods of explosion fire hazard of mixtures of fuel and air on an example for jet fuel RT. V. PB 09-540-03]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 8, pp. 32–35. Available at: <http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=1031479> (Accessed 10 January 2013).
6. Alexeev S. G., Avdeev A. S., Barbin N. M., Timashev S. A., Guryev Ye. S. Metody otsenki vzryvopozharoopasnosti toplivovozdushnykh smesey na primere kerosina marki RT. VI. TNO-metody (chast 1) [Analysis methods of explosion fire hazard of mixtures of fuel and air on an example for jet fuel RT. VI. TNO methods (part 1)]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 7, pp. 22–29.

7. Alexeev S. G., Avdeev A. S., Barbin N. M., Guryev Ye. S. Metody otsenki vzryvopozharoopasnosti toplivovozdushnykh smesey na primere kerosina marki RT. VII. BST metody [Analysis methods of explosion fire hazard of mixtures of fuel and air on an example for jet fuel RT. VII. BST methods]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 12, pp. 23–30.
8. Dorofeev S. B. Blast effect of confined and unconfined explosions. *Proc. 20th ISSW “Shock waves”* (Eds.: B. Sturtevant, J. Shepherd, and H. Hornung). Singapore, Scientific Publishing Co., 1996, vol. 1, pp. 77–86.
9. Dorofeev S. B. A flame speed correlation for unconfined gaseous explosions. *Process Safety Progress*, 2007, vol. 26, no. 2, pp. 140–149. doi: 10.1002/prs.10176.
10. Dorofeev S. B. Evaluation of safety distances related to unconfined hydrogen explosions. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2007, vol. 32, no. 13, pp. 2118–2124. doi: 10.1016/j.ijhydene.2007.04.003.
11. *Management Document 03-409-01. The prediction method for analysis of VCE damages*. Available at: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=EXP;n=334178> (Accessed 10 October 2014) (in Russian).
12. Baker Q. A., Tang M. J., Scheier E. A., Silva G. J. Vapor cloud explosion analysis. *Process Safety Progress*, 1996, vol. 15, no. 2, pp. 106–109. doi: 10.1002/prs.680150211.
13. Baker Q. A., Doolittle C. M., Fitzgerald G. A., Tang M. J. Recent developments in the Baker-Strehlow VCE analysis methodology. *Process Safety Progress*, 1998, vol. 17, no. 4, pp. 297–301. doi: 10.1002/prs.680170411.
14. Tang M. J., Baker Q. A. A new set of blast curves from vapor cloud explosion. *Process Safety Progress*, 1999, vol. 18, no. 3, pp. 235–240. doi: 10.1002/prs.680180412.
15. Tang M. J., Baker Q. A. Comparison of blast curves from vapor cloud explosions. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 2000, vol. 13, no. 3–5, pp. 433–438. doi: 10.1016/S0950-4230(99)00040-6.
16. Pierorazio A. J., Thomas J. K., Baker Q. A., Ketchum D. E. An update to the Baker–Strehlow–Tang vapor cloud explosion prediction methodology flame speed table. *Process Safety Progress*, 2005, vol. 24, no. 1, pp. 59–65. doi: 10.1002/prs.10048.
17. Alexeev S. G., Avdeev A. S., Guryev Ye. S., Barbin N. M. Sravnitelnyy analiz metodik prognozirovaniya posledstviy vzryvov gazoparovozdushnykh smesey [Comparative analysis of forecasting methods for aftereffects of vapor cloud explosions]. *Problemy analiza riska — Issues of Risk Analysis*, 2013, vol. 10, no. 4, pp. 12–19.
18. Alexeev S. G., Avdeev A. S., Barbin N. M., Guryev Ye. S. Sravnitelnyy analiz metodik prognozirovaniya VCE [Comparative analysis of methods of forecasting VCE]. *Proceeding of VI All-Russian Science and Technology Conference and XVI School of Young Scientists “Safety of critical infrastructures and territories”*. Yekaterinburg, Abzakovo, Ural Branch Russian Academy of Sciences Publ., 2014, p. 11.
19. Sharma R. K., Gurjar B. R., Wate S. R., Ghuge S. P., Agrawal R. Assessment of an accidental vapour cloud explosion: Lessons from the Indian Oil Corporation Ltd. Accident at Jaipur, India. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 2013, vol. 26, no. 1, pp. 82–90. doi: 10.1016/j.jlp.2012.09.009.
20. Gelfand B. E., Popov O. E., Chayvanov B. B. *Vodorod: parametry goreniya i vzryva* [Hydrogen: the parameters of combustion and explosion]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2008, p. 26.
21. Komarov A. A., Vasyukov G. V., Zagumennikov R. A., Buzaev E. V. Vzryv gaza na gazonapolnitelnoy stantsii v poselke Chagoda. Prichiny i posledstviya [Gas explosion at the gas-filling station in the settlement of Chagoda. Causes and consequences]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 7, pp. 58–64.
22. Confined vapor cloud explosion (10 injured, 24 houses, and six businesses destroyed) CAI, Inc. and Arnel Company, Inc. Report No 2007-03-I-MA. Washigton, CSB Publ., 2007. 122 p.

С. Л. БАРБОТЬКО, канд. техн. наук, начальник лаборатории "Исследование неметаллических материалов на климатическую, микробиологическую стойкость и пожаробезопасность", Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов (ВИАМ), ГНЦ РФ (Россия, 105005, г. Москва, ул. Радио, 17; e-mail: slbarbotko@yandex.ru)

О. С. ВОЛЬНЫЙ, ведущий инженер лаборатории "Исследование неметаллических материалов на климатическую, микробиологическую стойкость и пожаробезопасность", Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов (ВИАМ), ГНЦ РФ (Россия, 105005, г. Москва, ул. Радио, 17)

О. А. КИРИЕНКО, канд. хим. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории "Исследование неметаллических материалов на климатическую, микробиологическую стойкость и пожаробезопасность", Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов (ВИАМ), ГНЦ РФ (Россия, 105005, г. Москва, ул. Радио, 17)

Е. Н. ШУРКОВА, инженер 2-й категории лаборатории "Исследование неметаллических материалов на климатическую, микробиологическую стойкость и пожаробезопасность", Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов (ВИАМ), ГНЦ РФ (Россия, 105005, г. Москва, ул. Радио, 17)

УДК 614.841.345:629.7.042.2

ОСОБЕННОСТИ ИСПЫТАНИЙ АВИАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ПОЖАРООПАСНОСТЬ.

Часть 2. Испытания на горючесть. Влияние продолжительности экспозиции пламенем горелки

Проведены исследования по влиянию продолжительности экспозиции пламенем при испытании образцов полимерных материалов и сотовых панелей на характеристики горючести (длина прогорания, продолжительность остаточного самостоятельного горения) и проанализированы полученные данные. Показано, что при 60-секундной экспозиции длина прогорания во всех случаях больше, чем при 12-секундной. Показано также, что для толстых материалов (толщиной более 3 мм) продолжительность остаточного самостоятельного горения при 60-секундной экспозиции, как правило, больше, чем при 12-секундной. Однако для тонких материалов (толщиной до 1 мм) при 12-секундной экспозиции она может быть больше, чем при 60-секундной. Установлено, что для тонких материалов недопустимо применение правила о поглощении результатов 12-секундных испытаний 60-секундными.

Ключевые слова: горючесть; остаточное горение; длина прогорания; полимерный композиционный материал; сотовая панель; толщина образца.

Введение

Первой и одной из основных характеристик, определяющих безопасность и допустимость применения материала в отделке авиационной техники, является горючесть. Данное требование было введено в зарубежные и отечественные авиационные нормы в конце 60-х – начале 70-х годов XX века [1, 2]. За истекший период методики проведения испытаний совершенствовались, менялись и объекты испытания [1, 3–5]. История и перспективы развития методов оценки пожарной безопасности материалов и элементов конструкций авиационного назначения подробно описаны в [6–8].

В связи с развитием науки и совершенствованием используемых технологий идет постоянная разработка новых материалов, способных обеспечить

комфорт и безопасность авиапассажиров на новом уровне [9–14].

Требования по обеспечению пожаробезопасности предъявляются ко всем изделиям авиационной техники: очень легким самолетам (Авиационные правила АП-ОЛС), легким самолетам, в том числе спортивной и акробатической категории (АП-23), транспортным самолетам (АП-25), легким вертолетам (АП-27), транспортным вертолетам (АП-29), двигателям для авиационной техники (АП-33). Наиболее жесткие требования по пожарной безопасности материалов предъявляются к гражданским самолетам транспортной категории (АП-25 [15]).

В зависимости от функционального назначения материала в изделии к нему предъявляются соответствующие требования по допустимым характерис-

тикам горючести. Это касается как методики проведения испытаний (ориентация образца, длительность экспозиции пламенем горелки), так и допустимых значений по высоте прогорания и продолжительности остаточного горения падающих капель.

Основные пункты Авиационных правил, перечисленных выше, в которых изложены требования по пожарной безопасности материалов, следующие: п. 853 – внутренняя отделка кабин; п. 854 – пожарная защита туалетов; п. 855 – грузовые и багажные отсеки; п. 856 – тепловая/акустическая изоляция; п. 869 – пожарная защита систем.

Определение характеристик горючести авиационных материалов проводится в соответствии с методиками, изложенными в АП-25 [15] (Приложение F, часть I “Критерии и процедуры испытаний для показа соответствия параграфу 25.853 или 25.855 и 25.856”^{*}). В пункте (а) данной части изложены критерии оценки и их допустимые значения:

“(а) Критерии испытаний материалов.

(1) Внутренние отсеки, занимаемые экипажем или пассажирами:

(i) панели облицовки потолка и стен, перегородки, конструкция буфета, стенки больших шкафов, настилы конструкций, а также материалы, используемые в конструкции отсеков для размещения (за исключением отсеков под креслами и для хранения небольших предметов, например журналов и карт), должны быть самозатухающими при испытаниях в вертикальном положении согласно соответствующим пунктам части I настоящего Приложения. Средняя длина обугливания не должна превышать 152 мм, а средняя продолжительность горения после удаления источника воспламенения не должна превышать 15 с. Отделяющиеся от испытываемого образца капли не должны гореть после падения в среднем более 3 с;

(ii) покрытия пола, текстильные материалы (в том числе драпировка и обивка), подушки кресел, набивка, декоративные и недекоративные ткани с покрытием, кожа, материалы тележек и буфетов, изоляционные трубки электропроводов, воздухопроводы, покрытия соединений и выступов, облицовка грузовых или багажных отсеков классов В и Е, панели пола грузовых и багажных отсеков классов В, С, D или Е, чехлы грузов, а также прозрачные кожухи, литые и термоформованные детали, соединения воздухопроводов и торцевые планки (декоративные и защитные), которые изготовлены из материалов, не указанных ниже в пункте (а)(1)(iv) части I настоящего Приложения, должны быть самозатухающими при испытаниях в вертикальном положении согласно соответствующим пунктам части I

настоящего Приложения или другим одобренным эквивалентным методам. Средняя длина обугливания не должна превышать 203 мм, а средняя продолжительность горения после удаления источника воспламенения не должна превышать 15 с. Отделяющиеся от испытываемого образца капли не должны гореть после падения в среднем более 5 с”.

Процедуры выполнения испытаний подробно описаны в разделе (b) той же части, в частности отмечено:

“(b) Процедуры испытаний. ...

(4) Вертикальные испытания. ...

При испытаниях материалов, указанных в пункте (а)(1)(i) части I настоящего Приложения, продолжительность воздействия пламени должна составлять 60 с, после чего пламя должно удаляться. При испытаниях материалов, указанных в пункте (а)(1)(ii) части I настоящего Приложения, продолжительность воздействия пламени должна составлять 12 с, после чего пламя должно удаляться. Должны быть зарегистрированы продолжительность горения, длина обугленного участка и продолжительность горения капель, если таковые имеются...”.

Для одного и того же материала в случае его применения в различных отсеках (пассажирская кабина, грузовой отсек) или различных местах пассажирской кабины (пол, потолок, стенка, оконная шторка, сиденье кресла и др.), формально необходимо испытывать образцы для каждой используемой толщины и при двух периодах экспозиции (12 и 60 с).

Обычно считается, что испытания с 60-секундной экспозицией являются более жесткими, так как в них допускается использование материалов с меньшей длиной прогорания (152 вместо 203 мм) и время воздействия на образец пламени, инициирующего воспламенение, в 5 раз больше. Применение более жестких требований к материалам и элементам конструкций отделки пассажирской кабины вызвано необходимостью обеспечить более высокий уровень пожарной безопасности места основного пребывания пассажиров в полете или в случае возникновения аварийной ситуации во время рулежки, взлета-посадки, а также тепловыми условиями развития пожара в замкнутом объеме.

Поскольку испытания при двух режимах (12- и 60-секундная экспозиция) требуют увеличения затрат, связанных в первую очередь с изготовлением образцов, Федеральным авиационным агентством США совместно с группой предприятий была выполнена работа по сокращению выборки для квалификационных испытаний [16]. Согласно этому документу принято следующее решение: “60-second vertical test data will substantiate configurations that only require 12-second vertical data. Vertical Bunsen

^{*} Здесь и далее рассматривается часть I приложения F АП-25.

burner data will substantiate configurations that only require horizontal Bunsen burner testing”, т. е. “данные 60-секундного вертикального испытания являются доказательными, когда необходимы данные только для 12-секундного вертикального испытания. Данные по вертикальному испытанию горелкой Бунзена являются доказательными, когда требуются только горизонтальные испытания горелкой Бунзена”.

Ранее было показано влияние структуры (типа наполнителя) в полимерном композиционном материале (ПКМ) на характеристики пожарной безопасности стекло- и углепластиков [11, 17]. В предыдущей работе [18], выполненной авторами, были рассмотрены методические вопросы влияния толщины испытываемого образца на характеристики горючести, определяемой в соответствии с требованиями авиационных норм.

Задачами настоящей работы являлись:

- анализ имеющегося объема данных по характеристикам горючести материалов авиационного назначения согласно требованиям авиационных норм и проведение дополнительных исследований по оценке влияния продолжительности экспозиции на регистрируемые показатели (продолжительность остаточного горения и длина прогорания);
- оценка допустимости применения тезиса о возможности использования только 60-секундного теста при универсальном применении в конструкциях и отделке интерьера авиационной техники различных типов полимерных материалов.

Аппаратура и методики проведения испытаний

Подробное описание конструкции испытательного оборудования и процедуры выполнения испытаний приведено в части I Приложения F АП-25 [15]. Для проведения испытаний на горючесть согласно требованиям [15] используется специальная камера, в которой на держателе в вертикальном положении закрепляется образец. Ширина экспонируемой части образца составляет не менее 52 мм, высота — 290 мм. При проведении испытаний на нижнюю кромку образца снизу вверх в течение заданного времени экспозиции (12 или 60 с в зависимости от функционального назначения материала) воздействует пламя лабораторной газовой горелки Бунзена высотой около 40 мм (1,5 дюйма). Образец погружен в пламя на половину его высоты. В испытаниях определяются следующие характеристики: продолжительность остаточного самостоятельного горения и/или тления образца после удаления пламени горелки, инициирующего воспламенение; длина поврежденной части образца (длина прогорания), а также наличие и продолжительность горения падающих

капель. Испытания проводятся на трех параллельных образцах, после чего рассчитывается среднее арифметическое полученных результатов. Согласно требованиям, изложенным в пп. (a)(1)(i) и (ii) АП-25 [15], допустимая длина прогорания составляет 152 мм при 60-секундной экспозиции и 203 мм — при 12-секундной. В каждом случае максимальная продолжительность самостоятельного остаточного горения не должна превышать 15 с, а продолжительность горения падающих капель — 3 и 5 с при 60- и 12-секундной экспозиции соответственно.

Образцы и материалы для исследований

В ФГУП ВИАМ, который более 80 лет занимается разработкой материалов для авиационной и смежных отраслей промышленности [19–25], накоплен большой массив данных по характеристикам пожароопасности материалов и типовых конструктивных элементов авиационного назначения [26]. В ходе выполнения настоящей работы были проанализированы имеющиеся данные и проведены дополнительные испытания по определению характеристик горючести различных полимерных композиционных материалов, трехслойных сотовых панелей на их основе, а также декоративно-отделочных и других материалов различного функционального назначения.

Результаты испытаний и их обсуждение

В работе [18] показано, что при изменении толщины образца наблюдается нелинейное (с экстремумом в виде максимума) изменение продолжительности остаточного горения, причем при различной экспозиции пламенем горелки максимумы продолжительности остаточного самостоятельного горения монолитных материалов зафиксированы для образцов неодинаковой толщины. В частности, для многих ПКМ толщиной около 1 мм при 12-секундной экспозиции наблюдается максимальная продолжительность остаточного горения, которая больше, чем при 60-секундной экспозиции. В настоящей работе проанализирован более широкий спектр материалов, и основное внимание при испытаниях уделено не толщине образцов, а разнообразию химического состава и функциональному назначению материалов. Результаты испытаний на горючесть полимерных материалов различных типов и конструктивных элементов на их основе согласно требованиям авиационных норм [15] при экспозиции пламенем горелки 12 и 60 с представлены в табл. 1–4.

Анализ результатов данных испытаний показывает следующее.

Таблица 1. Влияние продолжительности экспозиции пламенем горелки на характеристики горючести ПКМ согласно требованиям авиационных норм

Марка материала	Толщина образца, мм	Продолжительность экспозиции, с	Продолжительность остаточного горения, с	Длина прогорания, мм
Стекло-текстолит ВПС-33	1	12	Более 60	290*
		60	Более 60	290*
	3	12	11	2
		60	Более 60	290*
Стекло-текстолит ВПС-34	3	12	54	110
		60	Более 60	290*
Стеклопластик ВПС-36	1	12	4	6
		60	3	27
	2	12	2	3
		60	2	19
	5	12	0	0
		60	1	1
Стеклопластик ВПС-37Т64К	1,1	12	17	100
		60	5	192
Стеклопластик ВПС-38П	0,3	12	1	48
		60	0	62
	1,9	12	0	3
		60	13	52
Стеклопластик ВПС-39П	2,3	12	13	8
		60	0	82
Стеклопластик на основе КМКС-4.170	0,9	12	14	58
		60	1	122
Стеклопластик КТМС-1	0,4	12	10	32
		60	0	62
Стеклопластик СТП-520	0,6	12	4	34
		60	0	70
Стекло-текстолит СТ-69Н(М)	1	12	7	22
		60	0	102
	2	12	1	5
		60	4	54
	3	12	1	2
		60	27	40
Стекло-текстолит ЭПС-2Т-15 с антипиреном	1,6	12	19	46
		60	8	216
Микросферотекстолит МСТ-10П	1,6	12	0	45
		60	0	90
	3,4	12	0	13
		60	0	85
	4,6	12	0	5
		60	0	45

Продолжение табл. 1

Марка материала	Толщина образца, мм	Продолжительность экспозиции, с	Продолжительность остаточного горения, с	Длина прогорания, мм
Стеклопластик на основе полифениленсульфида	0,2	12	3	86
		60	0	100
	1,2	12	2	35
		60	5	73
Стеклопластик на полиэфирном связующем	2	12	3	34
		60	Более 60	290*
Стеклопластик на полиэфирном связующем, отвержденном УФ	3,4	12	0	3
		60	1	51
Углеродистый ВКУ-33	1	12	8	26
		60	1	84
	2	12	0	2
		60	7	49
	3	12	0	1
		60	9	27
Углеродистый ВКУ-36	2	12	0	2
		60	10	69
Углеродистый ВКУ-37	2	12	0	0
		60	10	43
Углеродистый ВКУ-38	1,3	12	0	0
		60	0	0
	2,4	12	0	0
		60	0	0
	5,3	12	0	0
		60	0	0
Углеродистый ВКУ-39	1,2	12	18	17
		60	0	73
	1,9	12	0	1
		60	16	48
Углеродистый ВКУ-40	2,3	12	0	1
		60	8	27
Углеродистый ВКУ-43	1,1	12	0	45
		60	1	100
Углеродистый КМКУ 2м.120.P2009	1,1	12	1	72
		60	9	139
Углеродистый КМКУ-3.150	1,1	12	0	10
		60	0	78
Углеродистый КМУ-4-2М-3606	1	12	23	14
		60	Более 60	222
Углеродистый КМУ-4э-2м	1	12	21	5
		60	25	98

Окончание табл. 1

Марка материала	Толщина образца, мм	Продолжительность экспозиции, с	Продолжительность остаточного горения, с	Длина прогорания, мм
Углепластик КМУ-7-3606	1	12 60	5 0	12 89
Углепластик КМУ-11-М-3606	1	12 60	12 2	23 81
Опытный органопластик	0,9	12 60	0 1	21 51
* Для всех таблиц значение 290 мм — прогорание по всей длине образца.				

Увеличение продолжительности экспозиции пламенем горелки с 12 до 60 с во всех случаях приводит к возрастанию длины прогорания. Таким образом, на основании полученных результатов испытаний и учитывая, что требования по данному показателю для 60-секундной экспозиции более жесткие (152 вместо 203 мм), результаты 60-секундных испытаний можно зачесть и для 12-секундных.

При оценке продолжительности остаточного самостоятельного горения при 12- и 60-секундной экспозиции наблюдается неоднозначная картина: в большинстве случаев при 60-секундной экспозиции наблюдается более длительное самостоятельное горение, однако выявлен солидный объем данных, свидетельствующих о большей продолжительности остаточного горения при 12-секундной экспозиции. Различие в продолжительности остаточного горения при различной экспозиции может быть как небольшим (0...3 с), так и значительным (10 с и более). Большая продолжительность остаточного горения у тонких монолитных ПКМ и конструктивных элементов на их основе наблюдается преимущественно при 12-секундной экспозиции, у остальных типов материалов и конструктивных элементов — при более длительной экспозиции (60 с).

Таким образом, материалы, соответствующие требованиям АП-25 по горючести при 60-секундной экспозиции (п. (а)(1)(i) [15]), формально могут не удовлетворять требованиям 12-секундного теста (п. (а)(1)(ii) [15]).

Проблема неоднозначности результатов, получаемых при 12- и 60-секундной экспозиции, может быть решена несколькими путями:

а) принято решение о том, что независимо от результатов испытаний, полученных при 12-секундном тесте, все материалы, соответствующие требованиям п. (а)(1)(i) [15], одновременно соответствуют и требованиям п. (а)(1)(ii) [15];

б) для подтверждения соответствия требованиям п. (а)(1)(i) все материалы должны соответствовать и требованиям п. (а)(1)(ii) [15], т. е. при прове-

Таблица 2. Влияние продолжительности экспозиции пламенем горелки на характеристики горючести декоративно-отделочных материалов согласно требованиям авиационных норм

Марка материала	Толщина образца, мм	Продолжительность экспозиции, с	Продолжительность остаточного горения, с	Длина прогорания, мм
Декоративный бумажно-слоистый пластик HLP (Kronoerg)	0,6	12 60	23 28	52 141
Декоративный бумажно-слоистый пластик Слопласт ТГ 1,6 S 270-251	0,6	12 60	0 26	6 60
Термопласт Kydex 65/65	2	12 60	1 0	13 58
ПВХ Vekaplan K	2	12 60	0 0	0 1
Термоэластопласт ВТЭП-1	2,1	12 60	4 Более 60	38 290*
АБС-пластик (Этрол)	2	12 60	1 Более 60	40 290*
Арамида ПАТМ-25-4АП	2	12 60	0 12	5 54
Арамида ПА СВ 35-8АП-851	5	12 60	0 2	6 53
Арамида ПА СВ 20-6АП-807	4	12 60	0 9	4 55
Полибутилентерефталат стеклонаполненный огнезащитный	4,2	12 60	0 4	10 44
Полифениленсульфид стеклонаполненный	2	12 60	2 5	17 55
Декоративная пленка Aerfilm LHR (Schneller)	0,25	12 60	0 0	84 118
Декоративная пленка FX-6 с NA-211 (Schneller)	0,3	12 60	0 0	88 116
Ткань для фальшборта арт. 6498144 (Testori)	2,5	12 60	4 2	56 86
Кожа натуральная с огнезащитной пропиткой	1	12 60	0 27	25 83
Напольное ковровое покрытие (Carpet Marker) с обработкой антипиреном	12	12 60	0 1	51 85
Ковровый модуль из пластических масс "Этиваль" (решетка)	10	12 60	2 Более 60	3 290*
Камень искусственный Gibraltar SSV (Wilsonar)	2,8	12 60	0 Более 60	15 290*

Таблица 3. Влияние продолжительности экспозиции пламенем горелки на характеристики горючести функциональных материалов согласно требованиям авиационных норм

Марка материала	Толщина образца, мм	Продолжительность экспозиции, с	Продолжительность остаточного горения, с	Длина прогорания, мм
Вибропоглощающий материал ВТП-2П	1	12 60	0 0	1 33
Вибропоглощающий материал ВТП-2В	2	12 60	0 Более 60	40 290*
Вибропоглощающий материал ВТП-3В	5	12 60	6 45	18 56
Клей ВК-46м на стеклоткани	0,5	12 60	3 1	90 116
Опытное клеевое связующее пониженной горючести	1,2	12 60	17 0	73 141
Резина ВР-38	2	12 60	14 Более 60	4 290*
Резина ВР-41П	1,4	12 60	5 46	12 290*
Материал ВРМ-3	3	12 60	2 7	47 121
Материал ВРМ-13	23	12 60	0 0	56 76
Материал ВЭ-120 с клеевым слоем	40	12 60	Более 60 0	290* 290*
Полимерный наполнитель (сферопластик) ARALDITE 252 (Boeing)	10	12 60	3 13	15 53
Полимерсотопласт ПСП-1-2,5-48	10	12 60	1 1	5 19
Пенопласт ВРП-4	12	12 60	8 0	46 130
Вспененный жесткий пластик ВПП-3	10	12 60	1 0	23 90
Вспененный пластик на основе полиакрила	10	12 60	2 32	28 160
Пенопласт 2ПН-К	10	12 60	6 2	66 116
Теплозащитный материал ВШ-27Ф	5,5	12 60	3 28	17 290*
Теплозащитный материал ТЗУ-2ПС	0,5	12 60	0 49	1 37
Теплозащитный материал ВТИ-3	5	12 60	7 12	13 22

Окончание табл. 3

Марка материала	Толщина образца, мм	Продолжительность экспозиции, с	Продолжительность остаточного горения, с	Длина прогорания, мм
Теплозвукозащитный материал ВТИ-7		12 60	1 0	35 49
Теплозвукоизоляционный материал ВТМ-1-40	1,8	12 60	0 55	27 62
Теплозвукоизоляционный материал АНКМс	5	12 60	1 1	102 110
Теплозвукоизоляционный материал АТМ-1-35С в чехле из АЗТС	5	12 60	0 6	27 60

дении 60-секундного испытания предварительно необходимо выполнить 12-секундный тест. Во избежание увеличения количества испытываемых образцов это может быть достигнуто при минимальном формате методики испытаний — проведении 60-секундных испытаний непосредственно после 12-секундного теста на одном и том же образце. Иначе говоря, после 12-секундного теста образец (если он оказался соответствующим требованиям по продолжительности остаточного горения и не распространял пламя на всю длину образца) не вынимается из зажима, а после окончания самостоятельного горения под него сразу подводится пламя горелки на оставшееся время экспонирования (48 с), после чего повторно фиксируются характеристики горючести;

в) допустимость применения материала оценивается не по отдельным показателям (продолжительность остаточного горения, длина прогорания, продолжительность горения падающих капель), а по некоторому сводному индексу, рассчитываемому на основе отдельных показателей, например, по формулам, приведенным в [27].

Вариант “а”, практически аналогичный решению, принятому в [16], должен обеспечить снижение объема проводимых испытаний при первоочередном внедрении материала в изделия авиационной техники согласно требованиям п. (а)(1)(i) [15]. Однако он практически допускает к применению материалы, формально не соответствующие требованиям.

Решение вопроса по варианту “б” обеспечит фактическое повышение пожарной безопасности изделий, так как исключит возможность использования материалов, формально соответствующих требованиям в силу несовершенства используемой в настоящее время методики. Фактически этот вариант реализует процедуру, аналогичную методикам, при-

Таблица 4. Влияние продолжительности экспозиции пламенем горелки на характеристики горючести конструктивных элементов согласно требованиям авиационных норм

Марка материала или состав панели	Толщина образца, мм	Продолжительность экспозиции, с	Продолжительность остаточного горения, с	Длина прогорания, мм
Сотовая панель “Панпол”	10,1	12	0	4
		60	0	48
Сотовая панель EURO COMPOSITES с декоративным покрытием из поролона 3 мм и ткани Cork	14,9	12	12	70
		60	15	160
Сотовая панель EURO COMPOSITES с декоративным покрытием из ткани Gereva FR	13,4	12	0	2
		60	0	108
Монолитная панель: ВПС-39 + клей ВК-46Б + вспененный пластик	10,7	12	0	6
		60	19	46
Монолитная панель: КТМС-2 + клей ВКР-24 + пленка декоративная ППД	0,7	12	6	108
		60	3	130
Монолитная панель: КТМС-2 + самоклеящаяся пленка СДП	0,5	12	7	66
		60	0	92
Монолитная панель: СТП-520П + самоклеящаяся пленка СДП	0,5	12	10	51
		60	0	64
Монолитная панель: СТП-520 + ЛКП ВДАК-612	0,7	12	23	32
		60	0	80
Монолитная панель: СТ-ЭДИ + ЛКП ВЭ-46	7	12	0	9
		60	Более 60	290*
Монолитная панель: КТМС-1 + ЛКП ВЭ-46	0,5	12	3	22
		60	0	58
Монолитная панель: КМКС-1 с декоративным покрытием: с лицевой стороны — ткань обивочная Buckwheat Grospoint (Tapis) + клей ПК-10, с тыльной стороны — эмаль ЭП-140	2,8	12	57	77
		60	21	143
Монолитная панель: Kydex 65/65(d) + ЛКП “Interplan” (HSH)	2,1	12	0	48
		60	1	108
Монолитная панель: лист ПВХ “Симона” (Klonckner pentoplast) с наклеенной декоративной пленкой ОРАКАЛ 641 (Orafol Klebetechnik GmbH)	2	12	0	50
		60	5	125
Монолитная панель: лист ПВХ “Онгроформ” (Klonckner pentoplast) с наклеенной декоративной пленкой ОРАКАЛ 641 (Orafol Klebetechnik GmbH)	3	12	0	40
		60	3	70
Монолитная панель: Д-16 + ЛКП Redox Pur (Sikkens)	2,2	12	0	21
		60	1	68
Монолитная панель: Д-16 (1,2 мм) + липкая лента + ковер Casarella 850	10	12	2	16
		60	6	50
Монолитная панель состава: Витур Т-0533-90С (1,5 мм) + клей ВКР-24 + Д-16 (0,45 мм)	2	12	4	7
		60	0	102
Монолитная панель: Д-16 (1,5 мм) + Изолон (пенополиэтилен двухцветный)	10	12	16	75
		60	0	110
	15	12	2	60
		60	40	105
Монолитная панель: Д-16 (1 мм) + кожа натуральная перфорированная огнезащитная	2	12	15	4
		60	Более 60	106

меняемым для испытаний на горючесть (воспламеняемость) и изложенным в ряде стандартов: ГОСТ 28157–89, ГОСТ 28779–90 (ГОСТ Р 50695–94, МЭК 707–81), ГОСТ 26666.8–95.

Вариант “в” меняет сложившуюся систему квалификации материалов, поэтому его внедрение затруднено. В связи с вышеизложенным наиболее целесообразным решением представляется применение варианта “б”.

Выводы

На основании анализа и сопоставления данных по характеристикам горючести полимерных материалов авиационного назначения установлено следующее.

При применении 60-секундной экспозиции, в отличие от 12-секундного теста, регистрируемая длина прогорания образцов возрастает во всех случаях.

Установлено неоднозначное влияние времени экспозиции на продолжительность остаточного самостоятельного горения: увеличение экспозиции с 12 до 60 с может привести как к возрастанию продолжительности остаточного самостоятельного горения, так и к ее существенному снижению. Вследствие этого допустимость использования 60-секундного теста взамен 12-секундного при универсальном использовании материалов является спорной. Необходимо введение изменений в нормативную документацию (авиационные нормы) для устранения имеющихся неоднозначностей.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта 14-29-10186 “код офи-м”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sarkos G. Evolution of FAA Fire Safety R&D over the Years // Fifth International Triennial Fire & Cabin Safety Research Conference, 29 October – 1 November 2007, Atlantic City, NJ. URL : http://www.fire.tc.faa.gov/2007Conference/files/General_Fire/TueAM/SarkosFAAFire/SarkosFAAFirePres.pdf (дата обращения: 11.11.2014).
2. Нормы летной годности гражданских самолетов СССР. — 2-е изд. — М. : ЦАГИ, 1974. — 344 с.
3. Барботько С. Л. Пожаробезопасность авиационных материалов // Авиационные материалы и технологии. — 2012. — № 5. — С. 431–439.
4. Барботько С. Л., Кириллов В. Н., Шуркова Е. Н. Оценка пожарной безопасности полимерных композиционных материалов авиационного назначения // Авиационная промышленность. — 2013. — № 2. — С. 55–58.
5. Aircraft Materials Fire Test Handbook // DOT/FAA/AR-00/12. — 235 p.
6. Barbotko S. L. Ways of providing fire safety of aviation materials // Russian Journal of General Chemistry. — 2011. — Vol. 81, No. 5. — P. 1068–1074. doi: 10.1134/S1070363211050422.
7. Барботько С. Л., Кириллов В. Н., Шуркова Е. Н. Оценка пожарной безопасности полимерных композиционных материалов авиационного назначения // Авиационные материалы и технологии. — 2012. — № 3. — С. 56–63.
8. Барботько С. Л. Требования авиационных норм и методы оценки пожарной безопасности авиационных материалов: история, современное состояние и перспективы развития // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. — 2014. — № 3. — С. 23–33.
9. Mitina E. L., Barbot'ko S. L. Influence of fire retardants on the combustibility of decorative resins based on butadiene–styrene and butadiene rubber combination // Polymer Science. Series D. Glues and Sealing Materials. — 2012. — Vol. 5, No. 4. — P. 296–299. doi: 10.1134/S1995421212040107.
10. Швец Н. И., Застрогина О. Б., Барботько С. Л., Алексахин В. М. Фенолформальдегидное связующее пониженной горючести // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 5. — С. 26–32.
11. Barbot'ko S. L., Dement'eva L. A., Serezhnikov A. A. Combustibility of glass and carbon plastics based on glue prepregs // Polymer Science. Series. D. Glues and Sealing Materials. — 2009. — Vol. 2, No. 1. — P. 31–33. doi: 10.1134/S1995421209010067.
12. Бейдер Э. Я., Петрова Г. Н., Изотова Т. Ф., Барботько С. Л. Стеклопластики на термопластичной матрице // Труды ВИАМ. — 2013. — № 7. — Ст. 03. URL : <http://www.viam-works.ru/plugins/content/journal/uploads/articles/pdf/116.pdf> (дата обращения: 11.11.2014).
13. Гуляев И. Н., Власенко Ф. С., Зеленина И. В., Раскутин А. Е. Направления развития термостойких углепластиков на основе полиимидных и гетероциклических полимеров // Труды ВИАМ. — 2014. — № 1. — Ст. 04. URL : <http://www.viam-works.ru/plugins/content/journal/uploads/articles/pdf/636.pdf> (дата обращения: 11.11.2014).

14. Борцев А. В., Хрульков А. В., Халтурина Д. С. Изготовление низкопористого полимерного композиционного материала для применения в слабо- и средненагруженных конструкциях // Труды ВИАМ. — 2014. — № 7. — Ст. 03. URL : <http://www.viam-works.ru/plugins/content/journal/uploads/articles/pdf/682.pdf> (дата обращения 11.11.2014).
15. Авиационные правила. Часть 25. Нормы летной годности самолетов транспортной категории // Межгосударственный авиационный комитет. — М. : ОАО “Авиатиздат”. 2009. — 267 с.
16. Cambell S., Jensen M., Sattayatham P. Flammability Standardization Task Group — Final Reports: Federal Aviation Administration Draft Policy Memo, AMN-115-09-XXX, August 20, 2009 // Report FAA DOT/FAA/TC-12/10. — 2012. — 881 p.
17. Барботько С. Л., Изотова Т. Ф. Влияние структуры стеклопластика на тепловыделение при горении // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 9. — С. 17–21.
18. Барботько С. Л., Вольный О. С., Кириенко О. А., Шуркова Е. Н. Особенности испытаний авиационных материалов на пожароопасность. Часть 1. Испытания на горючесть — влияние толщины образца на регистрируемые характеристики // Пожаровзрывобезопасность. — 2015. — Т. 24, № 1. — С. 40–48.
19. Каблов Е. Н. ВИАМ: Продолжение пути // Наука в России. — 2012. — № 3. — С. 36–44.
20. История авиационного материаловедения. ВИАМ — 80 лет: годы и люди // Под. общ. ред. Е. Н. Каблова. — М. : ВИАМ, 2012. — 520 с.
21. Каблов Е. Н. Авиакосмическое материаловедение // Все материалы. Энциклопедический справочник. — 2008. — № 3. — С. 2–14.
22. Парахин И. В., Туманов А. С. Фенольно-каучуковый пенопласт марки ВРП-4 // Авиационные материалы и технологии. — 2014. — № 1. — С. 42–46.
23. Грязнов В. И., Петрова Г. Н., Юрков Г. Ю., Бузник В. М. Смесевые термозластопласты со специальными свойствами // Авиационные материалы и технологии. — 2014. — № 1. — С. 25–29.
24. Беляев А. А., Беспалова Е. Е., Романов А. М. Пожаробезопасные радиопоглощающие материалы для безэховых камер // Авиационные материалы и технологии. — 2013. — № 1. — С. 53–55.
25. Сытый Ю. В., Сагомонова В. А., Кислякова В. И., Большаков В. А. Новые вибропоглощающие материалы // Авиационные материалы и технологии. — 2012. — № 2. — С. 51–54.
26. Барботько С. Л., Воробьев В. Н. Пожаробезопасность авиационных материалов и элементов конструкций : справочник / Под общ. ред. Е. Н. Каблова. — М. : ВИАМ, 2007. — 543 с.
27. Барботько С. Л., Голиков Н. И. О комплексной оценке пожарной опасности материалов // Пожаровзрывобезопасность. — 2008. — Т. 17, № 6. — С. 16–24.

Материал поступил в редакцию 24 ноября 2014 г.

English

FEATURES THE TESTING OF AVIATION MATERIALS ON FIRE SAFETY.

Part 2. Test on flammability. Influence of exposure duration by burner flame

BARBOTKO S. L., Candidate of Technical Sciences, Chief of Laboratory “Research of Nonmetallic Materials on Climatic, Microbiological Resistance and Fire Safety”, All-Russian Science-Research Institute of Aviation Materials (VIAM) (Radio St., 17, Moscow, 105005, Russian Federation; e-mail address: slbarbotko@yandex.ru)

VOLNYY O. S., Leading Engineer of Laboratory “Research of Nonmetallic Materials on Climatic, Microbiological Resistance and Fire Safety”, All-Russian Science-Research Institute of Aviation Materials (VIAM) (Radio St., 17, Moscow, 105005, Russian Federation)

KIRIENKO O. A., Candidate of Chemical Sciences, Leading Research Associate of Laboratory “Research of Nonmetallic Materials on Climatic, Microbiological Resistance and Fire Safety”, All-Russian Science-Research Institute of Aviation Materials (VIAM) (Radio St., 17, Moscow, 105005, Russian Federation)

SHURKOVA E. N., Engineer of 2th category of Laboratory “Research of Nonmetallic Materials on Climatic, Microbiological Resistance and Fire Safety”, All-Russian Science-Research Institute of Aviation Materials (VIAM) (Radio St., 17, Moscow, 105005, Russian Federation)

ABSTRACT

According to requirements of aviation norms depending on functional purpose of material, samples at carrying out tests for combustibility are exhibited at vertical orientation by burner flame within 12 or 60 seconds. Often there is need of performance of qualification tests at both modes of exposure. For the purpose of reduction of volume of tests foreign researchers have makes the decision that 60-second tests are more rigid and compliance to this requirement automatically means also implementation of the requirement for 12-second dough.

Researches on influence of duration of exposure by flame was conducted at testing samples of polymeric materials and core panels on flammability characteristics (burn-out length, duration of residual independent burning) and the obtained data are analyzed. It is shown that at 60-second exposure test burn-out length always more than at 12-second. For thick materials (thickness more than 3 mm), as a rule, duration of residual independent burning at 60-second exposure are more than at 12-second.

However, for thin materials (up to 1 mm thick) duration of residual independent burning at 12-second exposure are more than at the 60-second. Thus, materials corresponding to requirements of tests for panels of walls of passenger cabin may not satisfy to norms of fire safety for materials of auxiliary rooms and cabin of pilots. Therefore, for thin materials application of rule about absorption of results 12-second tests by 60-second is inadmissible.

Keywords: flammability; residual burning; burn-out length; polymeric composite material; core panel; exposure duration.

REFERENCES

1. Sarkos G. Evolution of FAA Fire Safety R&D over the Years. *Fifth International Triennial Fire & Cabin Safety Research Conference, 29 October – 1 November 2007, Atlantic City, NJ*. Available at: http://www.fire.tc.faa.gov/2007Conference/files/General_Fire/TueAM/SarkosFAAFire/SarkosFAAFirePres.pdf (Accessed 11 November 2014).
2. *Norms of the flight validity for civil aircrafts of the USSR*. Second edition. Moscow, TsAGI Publ., 1974. 344 p. (in Russian).
3. Barbotko S. L. Pozharobezопасnost aviatsionnykh materialov [Fire safety of aviation materials]. *Aviatsionnyye materialy i tekhnologii — Aviation Materials and Technology*, 2012, no. 5, pp. 431–439.
4. Barbotko S. L., Kirillov V. N., Shurkova E. N. Otsenka pozharnoy bezопасnosti polimernykh kompozitsionnykh materialov aviatsionnogo naznacheniya [Assessment of fire safety of polymeric composite materials of aviation assignment]. *Aviatsionnaya promyshlennost — Aviation Industry*, 2013, no. 2, pp. 55–58.
5. *Aircraft Materials Fire Test Handbook*. DOT/FAA/AR-00/12. 235 p.
6. Barbotko S. L. Ways of providing fire safety of aviation materials. *Russian Journal of General Chemistry*, 2011, vol. 81, no. 5, pp. 1068–1074. doi: 10.1134/S1070363211050422.
7. Barbotko S. L., Kirillov V. N., Shurkova E. N. Otsenka pozharnoy bezопасnosti polimernykh kompozitsionnykh materialov aviatsionnogo naznacheniya [Assessment of fire safety of polymeric composite materials of aviation assignment]. *Aviatsionnyye materialy i tekhnologii — Aviation Materials and Technology*, 2012, no. 3, pp. 56–63.
8. Barbotko S. L. Trebovaniya aviatsionnykh norm i metody otsenki pozarnoy bezопасnosti aviatsionnykh materialov: istoriya, sovremennoye sostoyaniye i perspektivy razvitiya [Requirements of aviation norms and methods of assessment of fire safety of aviation materials: history, current state and development perspectives]. *Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MChS Rossii — Bulletin of Voronezh Institute of State Fire Service of Emercom of Russia*, 2014, no. 3, pp. 23–33.
9. Mitina E. L., Barbot'ko S. L. Influence of fire retardants on the combustibility of decorative resins based on butadiene–styrene and butadiene rubber combination. *Polymer Science. Series D. Glues and Sealing Materials*, 2012, vol. 5, no. 4, pp. 296–299. doi: 10.1134/S1995421212040107.
10. Shvets N. I., Zastrogina O. B., Barbotko S. L., Aleksashin V. M. Fenolformaldegidnoye svyazuyushcheye ponizhennoy goryuchesti [Reduced combustibility phenolic binder]. *Pozharovzryvobezопасnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 5, pp. 26–32.
11. Barbot'ko S. L., Dement'eva L. A., Serezhenkov A. A. Combustibility of glass and carbon plastics based on glue prepregs. *Polymer Science. Series D. Glues and Sealing Materials*, 2009, vol. 2, no. 1, pp. 31–33. doi: 10.1134/S1995421209010067.

12. Beyder E. Ya., Petrova G. N., Izotova T. F., Barbotko S. L. Stekloplastiki na termoplastichnoy matritse [Fibreglasses on thermoflexible matrix]. *Trudy VIAM — Proceedings of VIAM*, 2013, no. 7, art. 03. Available at: <http://www.viam-works.ru/plugins/content/journal/uploads/articles/pdf/116.pdf> (Accessed 11 November 2014).
13. Gulyaev I. N., Vlasenko F. S., Zelenina I. V., Raskutin A. E. Napravleniya razvitiya termostoykikh ug-leplastikov na osnove poliimidnykh i geterotsiklicheskikh polimerov [The directions of development heat-resistant carbonplastics on the basis of polyimide and heterocyclic polymers]. *Trudy VIAM — Proceedings of VIAM*, 2014, no. 1, art. 04. Available at: <http://www.viam-works.ru/plugins/content/journal/uploads/articles/pdf/636.pdf> (Accessed 11 November 2014).
14. Borshchev A. V., Khrulkov A. V., Khalturina D. S. Izgotovleniye nizkoporistogo polimernogo kompo-zitsionnogo materiala dlya primeneniya v slabo- i srednenagruzhennykh konstruktsiyakh [Manufacturing of low-porous polymeric composite material for application in weak and middle load designs]. *Trudy VIAM — Proceedings of VIAM*, 2014, no. 7, art. 03. Available at: <http://www.viam-works.ru/plugins/content/journal/uploads/articles/pdf/682.pdf> (Accessed 11 November 2014).
15. *Aviation rules. Chapter 25. Airworthiness norms for a transport category airplanes. Interstate Aviation Committee*. Ed. 3 with amendments 1–6. Moscow, Aviaizdat, 2009. 274 p. (in Russian).
16. Cambell S., Jensen M., Sattayam P. Flammability Standardization Task Group — Final Reports: Federal Aviation Administration Draft Policy Memo, AMN-115-09-XXX, 20 August 2009. *Report FAA, DOT/FAA/TC-12/10*, 2012. 881 p.
17. Barbotko S. L., Izotova T. F. Vliyaniye struktury stekloplastika na teplovydeleniye pri gorenii [The influence of fiberglass structure on heat release rate]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 9, pp. 17–21.
18. Barbotko S. L., Volnyy O. S., Kirienko O. A., Shurkova E. N. Osobennosti ispytaniy aviatsionnykh materialov na pozharoopasnost. Chast 1. Istyvaniya na goruchest — vliyaniye tolshchiny obraztsa na registriruyemye kharakteristiki [Features the testing of aviation materials on fire safety. Part 1. Test on flammability — influence of sample thickness on registered characteristics]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2015. vol. 24, no. 1, pp. 40–48.
19. Kablov E. N. VIAM: Prodolzheniye puti [VIAM: Way continuation]. *Nauka v Rossii — Science in the Russia*, 2012, no. 3, pp. 36–44.
20. Kablov E. N. (ed.). *Istoriya aviatsionnogo materialovedeniya. VIAM — 80 let: gody i lyudi* [History of aviation materials science. VIAM — 80 years: years and people]. Moscow, VIAM Publ., 2012. 520 p.
21. Kablov E. N. Aviakosmicheskoye materialovedeniye [Aerospace materials science]. *Vse materialy. Entsiklopedicheskiy spravochnik — All Materials. Encyclopedic Directory*, 2008, no. 3, pp. 2–14.
22. Parakhin I. V., Tumanov A. S. Fenolno-kauchukovyy penoplast marki VRP-4 [Phenolic-rubber polyfoam of the VRP-4 brand]. *Aviatsionnyye materialy i tekhnologii — Aviation Materials and Technology*, 2014, no. 1, pp. 42–46.
23. Gryaznov V. I., Petrova G. N., Yurkov G. U., Buznik V. M. Smesevyye termoelastoplasty so spetsialnymi svoystvami [Blenderized thermoelastoplastics with special properties]. *Aviatsionnyye materialy i tekhnologii — Aviation Materials and Technology*, 2014, no. 1, pp. 25–29.
24. Belyaev A. A., Bespalova E. E., Romanov A. M. Pozharobezopasnyye radiopogloshchayushchiye materialy dlya bezekhovyykh kamer [Fireproof radio absorbing materials for anechoic cameras]. *Aviatsionnyye materialy i tekhnologii — Aviation Materials and Technology*, 2013, no. 1, pp. 53–55.
25. Sytyy Yu. V., Sagomonova V. A., Kislyakova V. I., Bolshakov V. A. Novyye vibropogloshchayushchiye materialy [New vibro absorbing materials]. *Aviatsionnyye materialy i tekhnologii — Aviation Materials and Technology*, 2012, no. 2, pp. 51–54.
26. Barbotko S. L., Vorobyev V. N. *Pozharobezopasnost aviatsionnykh materialov i elementov konstruktsiy. Spravochnik* [Fire safety of aviation materials and elements of designs. Handbook]. Moscow, VIAM Publ., 2007. 543 p.
27. Barbotko S. L., Golikov N. I. O kompleksnoy otsenke pozharnoy opasnosti materialov [About complex assessment of fire danger of materials]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2008, vol. 17, no. 6, pp. 16–24.

Т. А. РУДАКОВА, канд. хим. наук, ст. научный сотрудник, Институт синтетических полимерных материалов им. Н. С. Ениколопова РАН (ИСПМ РАН) (Россия, 117393, г. Москва, ул. Профсоюзная, 70; e-mail: tetrudakova@yandex.ru)

Ю. М. ЕВТУШЕНКО, д-р хим. наук, ст. научный сотрудник, Институт синтетических полимерных материалов им. Н. С. Ениколопова РАН (ИСПМ РАН) (Россия, 117393, г. Москва, ул. Профсоюзная, 70; e-mail: evt-yuri@mail.ru)

Ю. А. ГРИГОРЬЕВ, научный сотрудник, Институт синтетических полимерных материалов им. Н. С. Ениколопова РАН (ИСПМ РАН) (Россия, 117393, г. Москва, ул. Профсоюзная, 70; e-mail: ggriha@mail.ru)

А. А. БАТРАКОВ, канд. техн. наук, ст. научный сотрудник, Национальный исследовательский университет "МЭИ" (НИУ "МЭИ") (Россия, 111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, 14; e-mail: batrakovaa@mail.ru)

УДК 536.2.022;541.11.118;544.427

ПУТИ СНИЖЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЕНООБРАЗОВАНИЯ В СИСТЕМЕ ПОЛИФОСФАТ АММОНИЯ – ПЕНТАЭРИТРИТ В ИНТУМЕСЦЕНТНЫХ СИСТЕМАХ

Рассмотрены пути снижения температуры пенообразования и особенности пенококсообразования типичного вспучивающегося огнезащитного покрытия, что необходимо для создания материалов с более высокой эффективностью. Методами ДСК, ТГА, ИКС, РЭС изучено поведение динамических моделей интумесцентных систем полифосфат аммония (ПФА) – пентаэритрит (ПЭр) при нагревании до 350 °С. Показано, что снижение температуры коксообразования интумесцентных систем возможно при увеличении соотношения ПФА:ПЭр от 3:1 до 4,2:1; при этом выделение летучих продуктов происходит преимущественно в области пенообразования. Установлено, что избыток ПФА способствует термическому разложению источников углерода при более низких температурах. Методами РЭС и ИК-спектроскопии охарактеризованы продукты термического разложения образцов при нагревании до 350 °С.

Ключевые слова: полифосфат аммония; пентаэритрит; интумесцентный состав; пенообразование; пенокок; летучие продукты.

Введение

Одним из наиболее эффективных видов огнезащитных покрытий (ОЗП) для изделий из металла, дерева и других материалов являются интумесцентные (вспучивающиеся при нагревании) композиции [1, 2]. В настоящее время наиболее подробно исследованы и разработаны ОЗП на основе полифосфата аммония (ПФА) и пентаэритрита (ПЭр). Эти компоненты являются ключевыми в композициях, поскольку от их соотношения во многом зависят свойства ОЗП. ПФА выполняет функцию вспенивающего агента и высокотемпературного связующего при формировании пенококка. ПЭр на начальной стадии газовыделения образует огнестойкий фосфорорганический полимер — прекурсор пенококка, а при повышении температуры становится источником диоксида углерода CO₂ и углерода [3]. Для повышения эксплуатационных свойств ОЗП используются различные функциональные добавки — диоксид титана, меламин, мочевины и др. [1].

Взаимодействие ПЭр с ПФА при повышенных температурах изучено в ряде работ [4–10]. Анали-

зируя представленные в литературе данные, авторы обзора [1] пришли к выводу, что в данных условиях протекают два процесса: а) отщепление от ПФА аммиака с последующей этерификацией и освобождением воды; б) фосфорилирование ПЭр по реакции поликонденсации с ПФА. В работе [11] показано, что поликонденсация может сопровождаться полиперэтерификацией фосфорорганического полимера. Автор работы [12] полагает, что выделение летучих продуктов связано с термодеструкцией ПЭр с выделением формальдегида и ацетальдегида, отрицая возможность образования фосфорорганических эфиров.

Полимерные и композиционные материалы находят все более широкое применение в качестве альтернативы металлам. Однако входящее в состав композитов полимерное связующее делает их горючими, а конструкции из них нетермостойкими. Этим обуславливается необходимость использования для этих материалов огнезащитных покрытий, в частности вспучивающихся.

Рассматривая типичные ОЗП, авторы [9] выделяют три основные стадии превращений в системе ПФА–ПЭр при их соотношении 3:1: при 280–350 °С образуется пенококс, при 350–430 °С пенококс разлагается, при 430–560 °С происходит образование новых углеродсодержащих продуктов. Очевидно, что температура формирования ОЗП на основе указанного соотношения ПФА и ПЭр не обеспечивает достаточно надежной защиты пластиков и композиционных материалов от пожара.

Математическое моделирование процесса работы вспучивающихся ОЗП [13–16] показало, что их огнезащитная эффективность в значительной степени зависит от условий формирования пенококса, кратности и температуры вспучивания. Для повышения эффективности ОЗП необходимо увеличить толщину слоя пенококса (кратность вспучивания), обеспечить его сохранность и снижение температуры вспучивания. Это особенно важно для конструкций из полимерных композитов [17].

Целью настоящей работы является изучение особенностей протекания реакций и формирования пенококса и оценка возможности реализации реакции ПФА с ПЭр при более низких температурах.

Экспериментальная часть

В работе использовали полифосфат аммония марки АРР-4 (форма II) фирмы “БТЭ”, пентаэритрит технический “в. с.” с температурой плавления $t_{пл} = 531 \div 532$ К (по ГОСТ 9286–2012) и *трис*-гидроксиэтилизоцианурат фирмы “BASF” с $t_{пл} = 406 \div 410$ К. Температуры плавления определяли на приборе Mettler DL 40 RC.

Кривые дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) и термогравиметрического анализа (ТГА) записывали на приборе STA 449F3 Jupiter фирмы NETZSCH, ИК-спектры — на Фурье-спектрофотометре ФТ-801 фирмы “Симекс”.

Рентгенофотозлектронные спектры (РЭС) записывали на сверхвысоковакуумном аналитическом модуле электронно-ионной спектроскопии (ЭИС) на базе платформы “НаноФаб 25”. Для облучения образцов использовали рентгеновский источник SPECS X-ray Source XR 50 Al/Mg (1486,6 эВ/1253,6 эВ) со спаренным анодом.

Обсуждение результатов

В литературе приводятся довольно противоречивые данные о фазовых переходах и термическом разложении ПФА в форме II [3, 6, 7, 10], однако полагают, что конечным продуктом деструкции ПФА при нагревании до 450 °С является фосфорная кислота [1].

При нагревании смеси ПФА и ПЭр выделяются аммиак и вода, что предполагает образование поли-

фосфорных эфиров в результате этерификации, с одной стороны, и гомоконденсационного процесса ПФА — с другой. Гомоконденсация, в свою очередь, должна обеспечить образование полимера, который бы обладал высокоэластическими свойствами при температуре формирования пены и последующего коксообразования. Действительно, учет высокоэластических свойств позволил авторам [18] предложить наиболее адекватную модель теплопереноса в интумесцентных системах.

Соотношению ПФА:ПЭр = 3:1 (масс. ч.) соответствует эквивалентное соотношение реагентов 4:2. Это означает, что в процессе взаимодействия реагентов образуются преимущественно фосфорорганические олигомеры линейного типа. Следует полагать, что увеличение мольной доли ПФА будет способствовать разветвлению образующегося фосфорорганического полимера. Этот эффект должен сопровождаться повышением вязкости расплава полимера в результате увеличения молекулярной массы и повышением адгезии расплава полимера к субстрату. Одновременно следует ожидать снижения температуры термоокислительного процесса в условиях повышенного содержания образующихся фосфорной кислоты и ее производных. Известно, что фосфорная кислота в ряде случаев используется для “мокрой” минерализации природных объектов для аналитических целей [19].

На рис. 1 представлены фотографии образцов в виде таблеток массой 0,1 г с различным соотношением ПФА и ПЭр после выдержки их в пламени газовой горелки в течение 1 мин на металлической подложке. Из рис. 1 видно, что кратность пены повышается с увеличением доли ПФА. Этот эффект очевиден потому, что ПФА является основным источником выделения газов, необходимых для формирования пены. Ранее было показано, что при соотношении ПФА и ПЭр 3:1 образуется эвтектика, температура плавления которой более чем на 30 °С ниже температуры плавления самого легкоплавкого компонента (ПФА), а при соотношении 1:1 температура плавления снижается на 65 °С [11]. Аналогичные результаты были получены ранее при изучении смеси ПФА:ПЭр = 1:1, причем снижение температуры оказалось еще более существенным [5]. Нами установлено, что при соотношении ПФА и ПЭр 4,2:1 температура плавления смеси на 5 °С выше, чем при их соотношении 3:1.

Учитывая существенное различие в кратности пены для сравнения характера пенообразования изучены два образца состава с соотношением ПФА и ПЭр 3:1 (образец № 1) и 4,2:1 (образец № 2).

На рис. 2 видно, что кривые ДСК изучаемых образцов существенно различаются. Эндотермические пики при 185 °С на обоих кривых относят к пере-

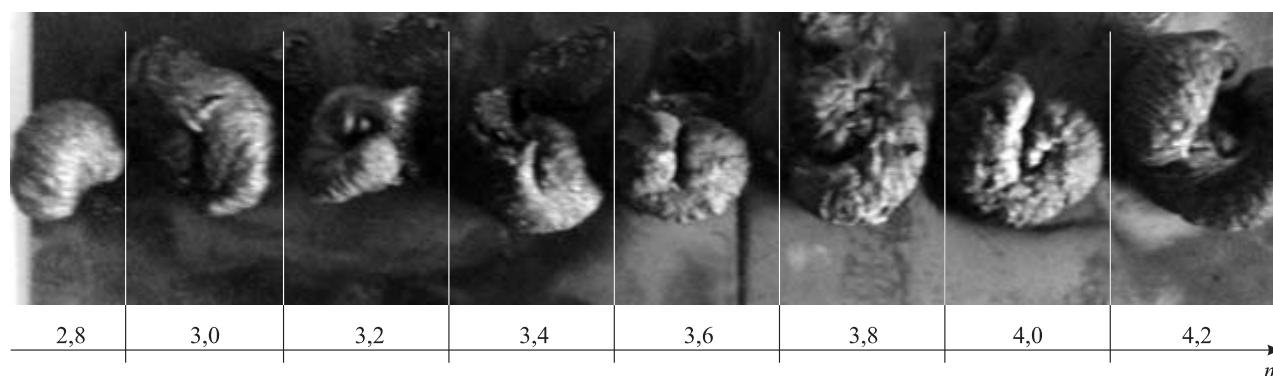


Рис. 1. Вид образцов с различным соотношением в них ПФА:ПЭр = 1: t после их термообработки

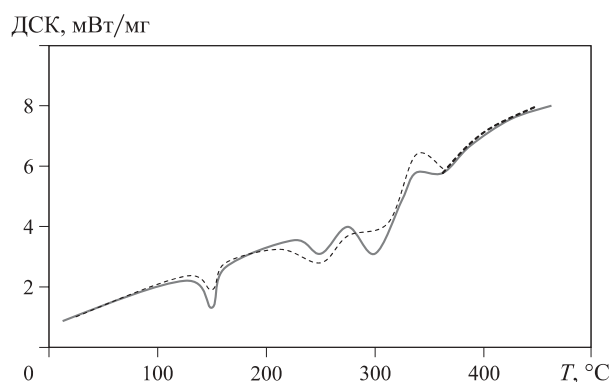


Рис. 2. Кривые ДСК смесей ПФА – ПЭр при их соотношении 3:1 (---) и 4,2:1 (—)

ходу тетрагональной модификации пентаэритрита в кубическую [10]. Комплексные пики для состава № 1 (252 °C, потеря массы $\Delta m = 8\%$) и № 2 (244 °C, $\Delta m = 5\%$) соответствуют плавлению эвтектики ПФА – ПЭр. Для состава № 2 характерен дополнительный эндотермический пик при 303 °C, который, по всей видимости, обусловлен избытком ПФА. Поскольку эндотермический пик плавления чистого ПФА обнаруживается при 354 °C, следует полагать, что образуется вторая эвтектика, плавление которой сопровождается интенсивным газовыделением ($\Delta m = 10\%$). Для образца № 1 соответствующая потеря массы несколько больше ($\Delta m = 13,7\%$). При нагревании образцов до 500 °C общая потеря массы составляет: для образца № 1 — $\Delta m = 28\%$, № 2 — $\Delta m = 26\%$.

В работе [4] на основании данных ДСК и ТГА представлена последовательность процессов пре-

вращения композиции на основе ПФА и ди-ПЭр: плавление → растворение в расплаве → растворение газов и паров в расплаве → конденсационно-коалесцентный рост пены → гелеобразование → синерезис и схлопывание пены.

Нами в сочетании с методами ДСК и ТГА разработаны и использованы методики визуального изучения последовательности превращения образцов композиций на полимеризационной плитке (рис. 3) и в трубчатой печи (см. таблицу). Из рис. 3 видно, что визуальное наблюдение дает возможность отслеживать процессы плавления, изменения цвета, гелеобразования и образования пены (см. таблицу), причем до образования пены наиболее удобно использовать полимеризационную плитку, а в области пенообразования — трубчатую печь.

При использовании полимеризационной плитки образец массой 0,1 г помещали в ее цилиндрическую ячейку и нагревали со скоростью 3–5 °C/мин при постоянном перемешивании стеклянной палочкой с момента начала плавления. В данном эксперименте нагревание образца осуществляли только со стороны его основания. Температуру контролировали ртутным термометром, встроенным в центр стальной плиты.

Для испытаний в трубчатой печи образцы композиции массой 0,1 г в виде таблетки диаметром 5 мм помещали в трехстенную кювету из алюминиевой фольги. Кювету располагали в непосредственной близости от хромель-алюмелевой термопары в центре печи. В этом случае нагревание образца осуществлялось со всех сторон.

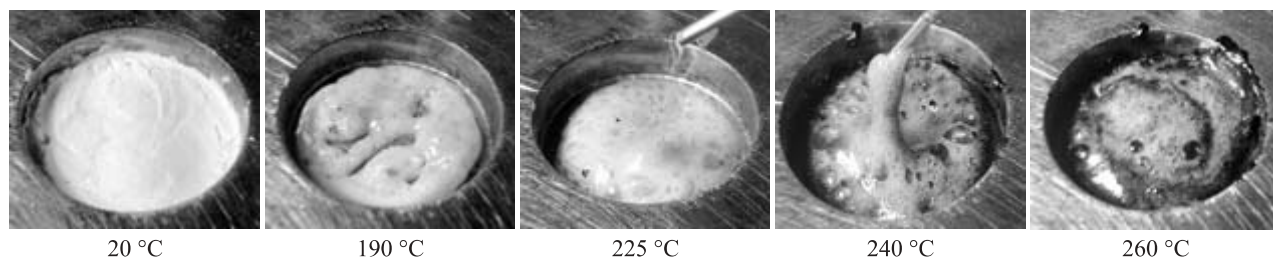


Рис. 3. Вид образца № 1 при нагревании его на полимеризационной плитке

Последовательность процессов превращения композиций при нагревании образцов на полимеризационной плитке и в трубчатой печи

Образец № 1 (3:1)			Образец № 2 (4,2:1)		
$t, ^\circ\text{C}$	Плитка	Печь	$t, ^\circ\text{C}$	Плитка	Печь
180	Плавление		190		Изменение цвета
225	Вспенивание	Плавление	200		Плавление
230		Вспенивание	220	Плавление	
235	Уменьшение пены		225		Изменение цвета
265	Изменение цвета	Уменьшение пены	240	Изменение цвета	Черный тиксо- тропный гель
270	Черный гель		245	Вспенивание	
280	Вспенивание геля	Вспенивание геля	250	Черный тиксотропный гель	
320	Черный тиксо- тропный гель		255		Вспенивание геля
325		Активное вспучивание	260	Повышение скорости вспенивание геля	
345	Прекращение вспенивания	Прекращение вспенивания	295	Прекращение вспенивания	Прекращение вспенивания

Из таблицы видно, что несмотря на различные способы нагревания образцов (на полимеризационной плитке и в трубчатой печи) результаты визуального наблюдения за образцами при одном и том же соотношении ПФА и ПЭр удовлетворительно коррелируют между собой. Однако при нагревании их на полимеризационной плитке наблюдение за пенообразованием затруднено, поэтому в этом случае предпочтительно использование трубчатой печи.

Характерной особенностью образца № 1 является выделение летучих в процессе его плавления при 225–230 °С. При этой температуре образец существует в виде бесцветного расплава, который не образует устойчивой пены. При дальнейшем повышении температуры пена исчезает, и только при 265–270 °С начинается процесс карбонизации (изменение цвета) и образование геля, который вспенивается при 280 °С. Максимальная скорость пенообразования наблюдается при 325 °С. Таким образом, пенообразование на первом этапе носит пассивный характер и не участвует в дальнейшем формировании устойчивой пены.

Сопоставление температур наблюдаемых процессов для образцов № 1 и 2 позволяет сделать вывод о значительном снижении температуры ряда процессов для последнего. При этом газовыделение из образца № 2 в процессе его плавления несколько меньше по сравнению с образцом № 1 (по данным ТГА 5 и 8 % соответственно). Хотя температура плавления образца № 2 по сравнению с № 1 в трубчатой печи повышается на 20 °С, вспенивание и карбонизация имеют место при более низких (на 25–30 °С) температурах, а максимальная скорость пенообра-

зования наблюдается при 320–325 °С (образец № 1) и 255–260 °С (образец № 2).

Нами не установлено каких-либо доказательств, свидетельствующих о разложении ПЭр на формальдегид и ацетальдегид при нагревании в присутствии ПФА. По мнению авторов [5], ПЭр способен возгоняться при нагревании только в отсутствие ПФА.

По данным РЭС вспененный образец № 1 (О — 49 %; С — 31 %; N — 3,7 %; Р — 15 %) представляет собой дисперсию углерода (64 %) и кислородсодержащих соединений углерода (36 %) в расплаве P_2O_5 (рис. 4,а) [20]. Однако спектр линии Р 2р носит довольно сложный характер. Интенсивность линии энергии связи P_2O_5 (134,8 эВ) составляет 85 %, а отнесение сигналов 137,07 эВ (9,3 %) и 139,87 эВ (4,9 %) затруднено ввиду аномально высокой энергии для связи Р–О (Р=О). Возможно, наличие этих сигналов связано с образованием связи $\text{P}\equiv\text{N}$. Для линии С 1s (рис. 4,б) получены два значения энергии связи — 285,1 эВ (64,0 %, графит) [16] и 286,2 эВ (36,0 %, С–ОН-связи непрореагировавшего ПЭр и углеводородных фрагментов, образующихся в результате термодеструкции).

В ИК-спектрах образцов присутствуют широкие полосы поглощения в области от 2000 до 3400 см^{-1} . Плечо в области 2350 см^{-1} отнесено к абсорбированному CO_2 , широкое плечо при 2700 см^{-1} — к карбоксильным группам окисленных фрагментов полимера (указанное отнесение подтверждается наличием сигнала карбонильной группы ν_{CO} при 1713 см^{-1}). Узкий интенсивный пик при 1402 см^{-1} отнесен к деформационным колебаниям δ_{NH} , широкий интенсивный сигнал при 997 см^{-1} — к валентным колебаниям

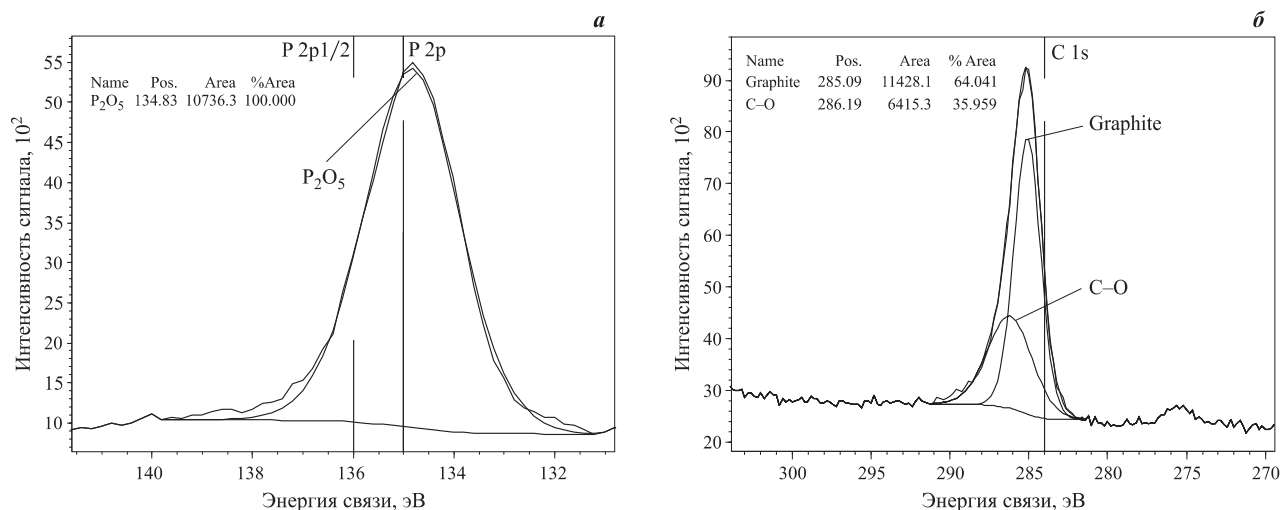


Рис. 4. Рентгенофотоэлектронные спектры образца № 1: а — линия P 2p; б — линия C 1s

ν_{PN} , а широкое плечо при 1250 см^{-1} — к валентным колебаниям связи ν_{PO} [21]. ИК-спектры образцов № 1 и 2 практически идентичны, что свидетельствует о достаточно схожих термохимических процессах.

Данные ИК-спектроскопии в целом соответствуют данным РЭС. Однако наличие широкой интенсивной полосы поглощения при 997 см^{-1} , отнесенной к колебаниям $\text{P}\equiv\text{N}$ -связи, не согласуется с присутствием соответствующих малоинтенсивных сигналов в РЭС. Эта особенность может быть объяснена рядом причин, однако для этого необходимы дальнейшие исследования. Образование нитридов (оксонитридов) имеет важное практическое значение при пенообразовании, поскольку в отличие от P_2O_5 указанные соединения довольно термостойки и не взаимодействуют с водой [23].

Выводы

Показано, что снижение температуры коксообразования интумесцентных систем возможно при уве-

личении соотношения ПФА и ПЭр от 3:1 до 4,2:1. При этом выделение летучих продуктов происходит преимущественно в области пенообразования. Избыток ПФА способствует термическому разложению источников углерода при более низких (на $25\text{--}30^\circ\text{C}$) температурах, и, как следствие, формирование пенококса наблюдается при температурах на $60\text{--}65^\circ\text{C}$ ниже, чем при соотношении ПФА:ПЭр = 3:1. Методами РЭС и ИК-спектроскопии охарактеризованы продукты термического разложения образцов при нагревании последних до 350°C . Показано, что основными компонентами продуктов термодеструкции являются P_2O_5 , аморфный углерод, продукты неполной деструкции фосфорорганического полимера и предположительно оксонитрид фосфора.

Представленные результаты могут использоваться при создании новых, более эффективных огнезащитных покрытий на основе полифосфата аммония и пентаэритрита.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ненахов С. А., Пименова В. П. Физикохимия вспенивающихся огнезащитных покрытий на основе полифосфата аммония // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 8. — С. 11–58.
2. Weil E. D. Fire-protective and flame-retardant coatings. A state-of-the-art review // J. Fire Sci. — 2011. — Vol. 29. — P. 259–296. doi: 10.1177/0734904110395469.
3. Levchik G. F., Selevitch A. F., Levchik S. V. et al. Thermal behaviour of ammonium polyphosphate — inorganic compound mixtures. Part I: Talk // Thermochimica acta. — 1994. — Vol. 239. — P. 41–49. doi: org/10.1016/0040-6031(81)85139-8.2.
4. Vandersall H. L. Intumescent coating systems. Their development and chemistry // J. Fire and Flamm. — 1971. — No. 2. — P. 97–140.
5. Camino G., Costa L., Trossarelli L. Study of mechanism of intumescence of fire retardant polymers. Part I: Thermal degradation of ammonium polyphosphate-pentaerythritol system // Polymer Degradation and Stability. — 1984. — Vol. 6. — P. 243–252.
6. Camino G., Costa L., Trossarelli L. Study of mechanism of intumescence of fire retardant polymers. Part II: Mechanism of action in polypropylene-ammonium polyphosphate-pentaerythritol mixtures // Polymer Degradation and Stability. — 1984. — Vol. 7. — P. 25–31.

7. Camino G., Costa L., Trossarelli L., Costanzi F., Pagliari A. Study of mechanism of intumescence of fire retardant polymers. Part IV: Mechanism of ester formation in ammonium polyphosphate-pentaerythritol mixtures // *Polymer Degradation and Stability*. — 1985. — Vol. 12. — P. 213–228.
8. Bourbigot S., Le Bras M., Delobel R. Carbonization mechanism resulting from intumescence association with the ammonium polyphosphate-pentaerythritol fire retardant system // *Carbon*. — 1993. — Vol. 31, No. 8. — P. 1219–1294.
9. Bourbigot S., Le Bras M., Delobel R. Carbonization mechanism resulting from intumescence. Part II. Association with an ethylene terpolymer and ammonium polyphosphate-pentaerythritol fire retardant system // *Carbon*. — 1995. — Vol. 33, No. 3. — P. 283–294.
10. Pagella C., Raffaghello F., De Faverly D. M. Differential scanning calorimetry of intumescent coatings // *Polymers Paint Colour Journal*. — 1998. — Vol. 188, No. 4402. — P. 16–18.
11. Евтушенко Ю. М., Григорьев Ю. А., Озерин А. Н., Страшинов П. В., Батраков А. А. Динамическая модель огнезащитного состава // *Химическая технология*. — 2014. — № 12. — С. 746–755.
12. Чернова Н. С. Химические превращения и механизм огнезащитного действия вспучивающихся композиций : автореф. дис. ... канд. техн. наук. — СПб, 2010.
13. Страхов В. Л., Гаращенко А. Н., Рудзинский В. П. Математическое моделирование работы и определение комплекса характеристик вспучивающейся огнезащиты // *Пожаровзрывобезопасность*. — 1997. — Т. 6, № 3. — С. 21–30.
14. Страхов В. Л., Гаращенко А. Н., Кузнецов Г. В., Рудзинский В. П. Тепломассообмен в тепло- и огнезащите с учетом процессов термического разложения, испарения-конденсации, уноса массы и вспучивания-усадки // *Математическое моделирование*. — 2000. — Т. 12, № 5. — С. 107–113.
15. Страхов В. Л., Гаращенко А. Н., Кузнецов Г. В., Рудзинский В. П. Математическое моделирование теплофизических и термохимических процессов при горении вспучивающихся огнезащитных покрытий // *Физика горения и взрыва*. — 2001. — № 2. — С. 43–47.
16. Гаращенко А. Н., Кульков А. А., Васин В. П. и др. Влияние состава и особенностей поведения вспучивающихся огнезащитных покрытий на их эффективность // В сб.: *Вопросы оборонной техники*. Сер. 15. — № 4. — С. 135–136.
17. Гаращенко А. Н., Суханов А. В., Гаращенко Н. А. и др. Пожаробезопасность конструкций из полимерных композиционных материалов // *Конструкции из композиционных материалов*. — 2010. — № 2. — С. 45–59.
18. Антонов А. В., Решетников И. С., Халтуринский Н. А. Горение коксообразующих полимерных систем // *Успехи химии*. — 1999. — Т. 68, № 7. — С. 663–673.
19. Бок Р. Методы разложения в аналитической химии. — М. : Химия, 1984. — 432 с.
20. Briggs D., Seah M. P. (eds.). *Practical surface analysis*. Vol. I. Auger and x-ray photoelectron spectroscopy. — 2nd ed. — New York : Wiley & Sons, 1990. — 657 p.
21. Singamsetty C. S. K., Pittman C. U., Booth G. L. et al. Surface characterization of carbon fibers using angle-resolved XPS and ISS // *Carbon*. — 1995. — Vol. 33, No. 5. — P. 587–595.
22. Гордон А., Форд Р. Спутник химика. — М. : Мир, 1976. — 541 с.
23. Некрасов Б. В. Основы общей химии. — М. : Химия, 1973. — Т. 1. — 656 с.

Материал поступил в редакцию 2 февраля 2015 г.

English

WAYS OF REDUCING THE TEMPERATURE OF FOAMING IN THE SYSTEM AMMONIUM POLYPHOSPHATE – PENTAERYTHRITOL IN INTUMESCENT SYSTEMS

RUDAKOVA T. A., Candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher,
N. S. Enicolopov Institute of Synthetic Polymer Materials, Russian Academy
of Sciences (Profsoyuznaya St., 70, Moscow, 117393, Russian Federation;
e-mail address: tetrudakova@yandex.ru)

YEVTUSHENKO Yu. M., Doctor of Chemical Sciences, Senior Researcher,
N. S. Enicolopov Institute of Synthetic Polymer Materials, Russian Academy
of Sciences (Profsoyuznaya St., 70, Moscow, 117393, Russian Federation;
e-mail address: evt-yuri@mail.ru)

GRIGORYEV Yu. A., Researcher, N. S. Enicolopov Institute of Synthetic Polymer Materials, Russian Academy of Sciences (Profsoyuznaya St., 70, Moscow, 117393, Russian Federation; e-mail address: ggricha@mail.ru)

BATRAKOV A. A., Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, National Research University "Moscow Power Engineering Institute" (NRU "MPEI") (Krasnokazarmennaya St., 14, Moscow, 111250, Russian Federation; e-mail address: batrakovaa@mail.ru)

ABSTRACT

Polymer and composite materials are increasingly used in technology as an alternative to metals. One of the key components of the composites is a polymeric binder, usually not having fire-resistant properties, there is a need to use the fire-protective coatings (FPC). However, the temperature of the coke formation known FPC quite high and does not provide reliable fire protection of polymers.

The aim of this work is to study the possible implementation of the response of the ammonium polyphosphate (APF) with pentaerythritol (PER) at lower temperatures and to study process flow.

It is established that the decrease in the temperature of the coke formation intumescent systems is possible by increasing the ratio APF:PER = 4,2:1. Thus, volatile products form in the fields of foaming. The excess of the APF promotes thermal decomposition of carbon sources at a lower temperature (25–30 °C lower) and as a consequence the formation of foam coke observed at 60–65 °C lower than when the ratio APF:PER = 3:1. Methods of XPS and IR spectroscopy characterized products of thermal decomposition of the samples when heated to 350 °C. It is shown that the main components of the products of thermal decomposition are P₂O₅, amorphous carbon, the products of incomplete degradation of phospho-organic polymer and presumably phosphorus oxinitride.

Keywords: ammonium polyphosphate; pentaerythritol; intumescent composition; foaming; char; volatile products.

REFERENCES

1. Nenakhov S. A., Pimenova V. P. Fizikokhimiya vspenivayushchikhsya ogneshchitnykh pokrytiy na osnove polifosfata ammoniya [Physical chemistry of foaming fire-retardant coatings based on ammonium polyphosphate]. *Pozharovzryvobesopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2010, vol. 19, no. 8, pp. 11–58.
2. Weil E. D. Fire-protective and flame-retardant coatings. A state-of-the-art review. *Journal of Fire Science*, 2011, vol. 29, pp. 259–296. doi: 10.1177/0734904110395469.
3. Levchik G. F., Selevitch A. F., Levchik S. V. et al. Thermal behaviour of ammonium polyphosphate — inorganic compound mixtures. Part I: Talk. *Thermochimica Acta*, 1994, vol. 239, pp. 41–49. doi: org/10.1016/0040-6031(81)85139-8.2.
4. Vandersall H. L. Intumescent coating systems. Their development and chemistry. *Journal of Fire and Flammability*, 1971, no. 2, pp. 97–140.
5. Camino G., Costa L., Trossarelli L. Study of mechanism of intumescence of fire retardant polymers. Part I: Thermal degradation of ammonium polyphosphate-pentaerythritol system. *Polymer Degradation and Stability*, 1984, vol. 6, pp. 243–252.
6. Camino G., Costa L., Trossarelli L. Study of mechanism of intumescence of fire retardant polymers. Part II: Mechanism of action in polypropylene-ammonium polyphosphate-pentaerythritol mixtures. *Polymer Degradation and Stability*, 1984, vol. 7, pp. 25–31.
7. Camino G., Costa L., Trossarelli L., Costanzi F., Pagliari A. Study of mechanism of intumescence of fire retardant polymers. Part IV: Mechanism of ester formation in ammonium polyphosphate-pentaerythritol mixtures. *Polymer Degradation and Stability*, 1985, vol. 12, pp. 213–228.
8. Bourbigot S., Le Bras M., Delobel R. Carbonization mechanism resulting from intumescence association with the ammonium polyphosphate-pentaerythritol fire retardant system. *Carbon*, 1993, vol. 31, no. 8, pp. 1219–1294.
9. Bourbigot S., Le Bras M., Delobel R. Carbonization mechanism resulting from intumescence. Part II. Association with an ethylene terpolymer and ammonium polyphosphate-pentaerythritol fire retardant system. *Carbon*, 1995, vol. 33, no. 3, pp. 283–294.
10. Pagella C., Raffaghello F., De Favary D. M. Differential scanning calorimetry of intumescent coatings. *Polymers Paint Color Journal*, 1998, vol. 188, no. 4402, pp. 16–18.

11. Yevtushenko Yu. M., Grigoryev Yu. A., Ozerin A. N., Rudakova T. A., Strashnov P. V., Batrakov A. A. Dinamicheskaya model ogneshchitnogo sostava [The dynamic model of the flame retardant composition]. *Khimicheskaya tekhnologiya — Chemical Technology*, 2014, no. 12, pp. 746–755.
12. Chernova N. S. Khimicheskiye prevrashcheniya i mekhanizm ogneshchitnogo deystviya vspuchivayushchikhsya kompozitsiy. Dis. dokt. tekhn. nauk [Chemical transformations and mechanism of flame retardant action intumescent compositions. Dr. techn. sci. diss.] Saint Petersburg, 2010. 125 p.
13. Strakhov V. L., Garashchenko A. N., Rudzinskiy V. P. Matematicheskoye modelirovaniye raboty i opredeleniye kompleksa kharakteristik vspuchivayushcheysya ogneshchity [Mathematical modeling and identification of the complex characteristics of intumescent fire protection]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 1997, vol. 6, no. 3, pp. 21–30.
14. Strakhov V. L., Garashchenko A. N., Kuznetsov G. V., Rudzinskiy V. P. Teplomassoobmen v teplo- i ogneshchite s uchetom protsessov termicheskogo razlozheniya, ispareniya-kondensatsii, unosa massy i vspuchivaniya-usadki [Heat and mass transfer in heat and fire protection taking into account the processes of thermal decomposition, evaporation-condensation, ash weight and swelling-shrinkage]. *Matematicheskoye modelirovaniye — Mathematical Modeling*, 2000, vol. 12, no. 5, pp. 107–113.
15. Strakhov V. L., Garashchenko A. N., Kuznetsov G. V., Rudzinskiy V. P. Matematicheskoye modelirovaniye teplofizicheskikh i termokhimicheskikh protsessov pri gorenii vspuchivayushchikhsya ogneshchitnykh pokrytiy [Mathematical modeling of thermophysical and thermochemical processes during combustion intumescent fire protective coatings]. *Fizika goreniya i vzryva — Physics of Combustion and Explosion*, 2001, no. 2, pp. 43–47.
16. Garashchenko A. N., Kulkov A. A., Vasin V. P. et al. Vliyaniye sostava i osobennostey povedeniya vspuchivayushchikhsya ogneshchitnykh pokrytiy na ikh effektivnost [The influence of the composition and behavior of intumescent fire retardant coatings on their effectiveness]. *Voprosy oboronnoy tekhniki — Proc. of Defence Technology*, seria 15, no. 4, pp. 135–136.
17. Garashchenko A. N., Sukhanov A. V., Garashchenko N. A. et al. Pozharobezopasnost konstruktsey iz polimernykh kompozitsionnykh materialov [Fire safety of constructions made of composite materials]. *Konstruktsii iz kompozitsionnykh materialov — Desine of Composit Materials*, 2010, no. 2, pp. 45–49.
18. Antonov A. V., Reshetnikov I. S., Khalturinskiy N. A. Gorenije koksoobrazuyushchikh polimernykh sistem [The combustion of the coke forming polymer systems]. *Uspekhi khimii — Successes of Chemistry*, 1999, vol. 68, no. 7, pp. 663–673.
19. Bock R. *A handbook of decomposition methods in analytical chemistry*. Weinheim, Chemie, 1979 (Russ. ed.: *Metody razlozheniya v analiticheskoy khimii*. Moscow, Khimia Publ., 1984. 432 p.).
20. Briggs D., Seah M. P. (eds.). *Practical surface analysis. Vol. I. Auger and x-ray photoelectron spectroscopy*. 2nd ed. New York, Willey & Sons, 1990. 657 p.
21. Singamsetty C. S. K., Pittman C. U., Booth G. L. et al. Surface characterization of carbon fibers using angle-resolved XPS and ISS. *Carbon*, 1995, vol. 33, no. 5, pp. 587–595.
22. Gordon A., Ford A. *The chemist companion*. New York — London — Sydney — Toronto, Wiley-Intersci. Publ., 1972 (Russ. ed.: Gordon A., Ford A. *Sputnik khimika*. Moscow, Mir Publ., 1976. 541 p.).
23. Nekrasov B. V. *Osnovy obshchey khimii* [Fundamentals of general chemistry]. Moscow, Mir Publ., 1973, vol. 1. 656 p.

М. М. КАЗИЕВ, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры пожарной безопасности в строительстве, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: kaziev01@bk.ru)

Е. В. ЗУБКОВА, адъюнкт Академии ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: zubkova.agps@yandex.ru)

В. И. БЕЗБОРОДОВ, научный сотрудник отдела обеспечения пожарной безопасности технологических установок, Оренбургский филиал ВНИИПО МЧС России (Россия, 460507, Оренбургская обл., пос. Пригородный, ул. Луговая, 6; e-mail: vladimirvniipo@mail.ru)

УДК 614.841.343

ЗАЩИТА ТРИПЛЕКСА ПРИ ПОЖАРЕ С ПОМОЩЬЮ ВОДЯНОГО ОРОШЕНИЯ

Дан анализ пожарной опасности триплекса и его поведения при пожаре. Отмечено преимущество использования водяного орошения в качестве защиты триплекса от разрушения в условиях пожара. Рассмотрено влияние водяного орошения на пожароустойчивость светопрозрачных конструкций с триплексом. Представлен обзор результатов испытаний триплекса в “малой огневой печи” и на крупномасштабной установке. Показана эффективность водяного орошения для повышения пожароустойчивости триплекса.

Ключевые слова: пожароустойчивость; стекло; пожар; взрыв; триплекс; крупномасштабные испытания; водяное орошение; распространение пожара; ламинированное стекло.

Одной из причин увеличения объемов использования стекла в строительстве является экономичность и возможность реализации оригинальных архитектурных решений. В особенности это касается высотных зданий и зданий с массовым пребыванием людей. При этом главным недостатком светопрозрачных конструкций является их низкая пожароустойчивость, обусловленная способностью стекла к быстрому разрушению при воздействии огня и высокой температуры на начальной стадии пожара. Разрушение сопровождается образованием крупных и мелких осколков, которые при падении с большой высоты представляют большую угрозу для людей. Кроме того, разрушение оконного остекления способствует быстрому развитию и распространению пожара по зданию.

Триплексы, состоящие из двух листов стекла, склеенных между собой с помощью высокопрочной полимерной пленки, обладают повышенной механической прочностью и защитой от УФ-излучения. Пленка как связующий элемент сдерживает конструкцию от разрушения, защищает от ультрафиолета и существенно предотвращает потери тепла из помещения.

Предположение о том, что наклеенная на стекло пленка повышает предел огнестойкости, не нашло подтверждения при исследованиях, которые были проведены во ВНИИПО и Академии ГПС МЧС России (рис. 1). Испытания показали, что полимерные пленки (независимо от их толщины), наклеенные на поверхность стекла, не только не увеличивают огне-

стойкость листового стекла, а напротив, повышают пожарную опасность композиций (пламенное горение на поверхности стекла, образование расплава пленок, выделение значительного количества дыма и токсичных продуктов при термическом разложении). Подобные явления наблюдаются и при сравнительных испытаниях опытных образцов многослойного стекла с различными клеевыми композициями (триплекс, стеклопакеты и т. п.) [1].

В связи с этим появилась острая необходимость защиты остекления от теплового воздействия. Учитывая, что практически все крупные здания оснащаются автоматическими системами водяного пожаротушения, предположили, что без значительных финансовых затрат можно обеспечить защиту светопрозрачных конструкций путем орошения их водой. Для подтверждения этого предположения нами проведены исследования по изучению эффективности данного способа огнезащиты [2–4]. С этой целью был выполнен ряд экспериментов на образцах триплекса 6-1-6 размером 370×270 мм в малой огневой печи (рис. 2). При этом рассмотрены несколько вариантов испытаний:

- без орошения;
- с орошением обогреваемой стороны;
- с орошением необогреваемой стороны;
- с водяным орошением (определение устойчивости триплекса к температурному “шоку”).

Испытания без орошения проводились при стандартном температурном режиме пожара [5]. Во вре-



Рис. 1. Образец листового стекла (4 мм) с полимерной пленкой, наклеенной с обогреваемой стороны, в начале испытания (а) и после выключения форсунок (б)

мя испытания на 5-й минуте пленка загоралась и выгорала в среднем за 6 мин. При этом горение происходило с выделением большого количества едкого дыма. Температура на поверхности на 20-й минуте превышала 350°C (рис. 3,а). Стоит отметить, что данная температура может спровоцировать распро-

странение пожара из-за лучистого излучения, от которого данное стекло не защищает.

При испытаниях с водяным орошением подача воды осуществлялась при помощи медной перфорированной трубки с расходом $0,05\text{ л/с}$. Данный расход подбирался из условия равномерного орошения образца. Испытания показали, что предельные значения показателей Е, I и W не достигаются на протяжении 45 мин, независимо от того, на какую сторону подается вода для орошения (обогреваемую или необогреваемую). Данный результат достигается за счет того, что вода препятствует выгоранию пленки (рис. 4), и образец сохраняет свою целостность. На 16-й минуте испытания при орошении со стороны нагрева температура на необогреваемой поверхности образца не превышает 200°C , а при орошении необогреваемой стороны — 70°C .

Наиболее эффективный способ орошения — это использование сплинклерных оросителей, так как они расходуют меньший объем воды по сравнению с другими системами пожаротушения, что актуально для высотных зданий. Сплинклерная система запускается после того, как происходит разрушение термического замка при достижении критической температуры, на которую рассчитан ороситель. Однако следует отметить, что возможно срабатывание оросителей после того, как стекло нагрелось свыше критических значений, поэтому были проведены испытания на определение устойчивости триплекса к температурному “шоку” (резкому перепаду температур). При проведении испытаний образец нагревали до температуры 300°C (на необогреваемой поверхности), а затем подавали воду на обогреваемую сторону. После орошения поверхности водой температура на ней снизилась до 45°C , образец сохранил свою целостность, термическое разложение пленки прекратилось. Критические значения пока-

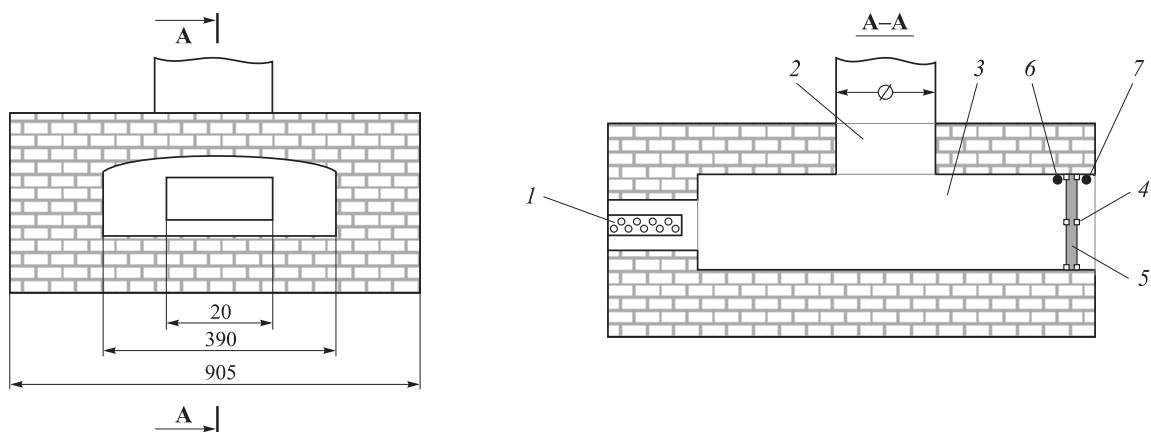


Рис. 2. Схема маломасштабной установки лаборатории УНЦ ППБС Академии ГПС МЧС России: 1 — газовая горелка; 2 — вытяжной трубопровод; 3 — огневая камера; 4 — проем для установки испытуемых образцов; 5 — образец; 6 — расположение перфорированной трубки при орошении обогреваемой стороны; 7 — расположение трубки при орошении необогреваемой стороны



Рис. 3. Образец триплекса 6-1-6 через 45 мин после испытания без водяного орошения (а) и с орошением (б)

зателей после подачи воды не наступали в течение 45 мин. Отсюда можно сделать вывод, что если по каким-либо причинам происходит поздний запуск системы, то это не может спровоцировать разрушение триплекса. Таким образом, водяное орошение является безопасным техническим решением для защиты триплекса, повышающим его пожароустойчивость.

Это подтверждают крупномасштабные испытания, проведенные в филиале ВНИИПО (г. Оренбург) [6], с водяным орошением и без него. В качестве образцов был взят триплекс 5-1-5 размером 1305×1605 мм. Орошение осуществлялось при помощи перфорированной трубки диаметром 25 мм.

При испытаниях были получены следующие результаты.

Испытания без водяного орошения показали, что предельные показатели потери теплоизолирующей способности (I) и величины теплового потока (W) наступали на 3-й минуте. При достижении предельных значений I и W испытания останавливались. Потери целостности (E) при этом не наступало (рис. 4). На 4-й минуте испытания температура на необогреваемой поверхности превышала 350 °С, величина теплового потока составляла 4,6 кВт/м².



Рис. 4. Образец триплекса 5-1-5 после испытания без орошения

Испытания с водяным орошением показали, что при орошении обогреваемой стороны с расходом 0,38 л/(м²·с) предельные состояния не наступают в течение 61 мин, величина теплового потока не превышает 1 кВт/м², а температура на поверхности — 70 °С (рис. 5,а). При испытании с водяным орошением необогреваемой стороны потеря целостности (появление щелей, в которые мог свободно проникать щуп диаметром 25 мм) наступала на 22-й минуте с начала огневого воздействия. Тепловой поток не превышал 1 кВт/м² (рис. 5,б). По характеру повреждений стекла видно, что первый слой сначала растрескался, а через некоторое время стали выпадать осколки большими фрагментами. При этом пленка в этом месте быстро выгорела, после чего второй слой стекла подвергся прямому воздействию теплового потока.

Различие полученных результатов можно объяснить тем, что при испытаниях вода подавалась на обогреваемую поверхность, при этом стандартный температурный режим пожара в огневой печи на протяжении всего времени испытаний снижался в среднем на 265–300 °С. Следует также отметить тот факт, что при орошении водой необогреваемой стороны увеличилась разность температур на обогреваемой и необогреваемой поверхностях стекла. Это также способствовало преждевременному разрушению и выгоранию пленки, так как она подвергалась непосредственно температурному воздействию. Следовательно, орошение необогреваемой стороны не может в полной мере снизить температуру на поверхности пленки и препятствовать ее выгоранию.

Таким образом, проведенные исследования показали, что водяное орошение триплекса повышает его пожароустойчивость с 3 до 45 мин и более при равномерном орошении поверхности. Наибольшая эффективность достигается при орошении обогреваемой стороны за счет более эффективной огнеза-



Рис. 5. Образец триплекса 5-1-5 после испытания с орошением обогреваемой стороны (начало испытания) (а) и необогреваемой стороны (б)

щиты пленки. Основной причиной повышения пожароустойчивости триплекса является то, что орошение препятствует термическому разложению пленки, обеспечивающей сохранение целостности. Водяное орошение снижает температуру на необо-

греваемой поверхности стекла с 350 до 70 °С и уменьшает величину теплового потока более чем в 2 раза. За счет многослойности конструкции и наличия полимерной пленки триплекс в результате термического “шока” не разрушается.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шевчук А. П., Харитонов В. С., Сочевец О. Н. Мнение специалистов ВНИИПО по вопросу огнестойкости светопрозрачных конструкций с полимерными пленками. URL : <http://www.brand-glass.ru/film.html> (дата обращения: 02.02.2015).
2. Казиев М. М., Зубкова Е. В. Поведение при пожаре и огнезащита светопрозрачных строительных конструкций // Вестник ВНИИИМАШ. — 2014. — Т. 16, № 1. — С. 54–55.
3. Richardson J. K., Oleszkiewicz I. Fire tests on window assemblies protected by automatic sprinklers // Fire Technology. — 1987. — Vol. 23, No. 2. — P. 115–132. doi: 10.1007/BF01040427.
4. Kim A. K., Loughheed G. D. The protection of glazing systems with dedicated sprinklers // Journal of Fire Protection Engineering. — 1990. — Vol. 2. — P. 49–59. doi: 10.1177/104239159000200202.
5. ГОСТ Р 53308–2009. Конструкции строительные. Светопрозрачные ограждающие конструкции и заполнения проемов. Методы испытаний на огнестойкость. — Введ. 01.01.2010. — М.: Изд-во стандартов, 2009.
6. Казиев М. М., Зубкова Е. В., Безбородов В. И. Эффективность водяного орошения для защиты листового и закаленного стекла // Технологии техносферной безопасности. — 2014. — Т. 58, № 6. URL : <http://ipb.mos.ru/ttb/2014-6/2014-6.html> (дата обращения: 02.02.2015).

Материал поступил в редакцию 17 февраля 2015 г.

English

WATER IRRIGATION FOR PROTECTION OF TRIPLEX AT FIRE

KAZIEV M. M., Candidate of Technical Sciences, Docent, Associate Professor of Safety in Building Construction Department, State Fire Academy of Emercom of Russian (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail address: kaziev01@bk.ru)

ZUBKOVA Ye. V., Postgraduate Student, State Fire Academy of Emercom of Russian (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail address: zubkova.agps@yandex.ru)

BEZBORODOV V. I., Researcher of Fire Safety of Technological Installations Department, Orenburg branch of All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia (Lugovaya St., 6, Prigorodnyy, Orenburg Region, 460507, Russian Federation; e-mail address: vladimirvniipo@mail.ru)

ABSTRACT

The efficiency and the possibility of the realization of the original architectural solutions are the reasons for the increased use of the glass in the construction area in nowadays. This particularly applies to the high-rise buildings and the buildings crowded with people. The low fire resistance is the main disadvantage of the translucent structures. In initial stage of fire it could lead to rapid destruction. The glass destruction forms large and small fragments that represents the great threat for people and the firefighters falling from high places. Besides the glass destruction assists in the rapid-fire spread. One way of improving the fire resistance of the translucent structures is to use the triplex. The triplex consists of two glasses, which are glued by the solid polymer films, but it was not proved experimentally. The result of the studies showed that the polymer films assist in the rapid-fire spread in building and along the facade systems particularly. Thermal decomposition of the films with the flame burning and the release of toxic products occurred under heating of the triplex. The surface temperature is higher than 350 °C. As a result the fire resistance (the structure collapse) of such structures is equal to 30 minutes (E30). Therefore, it is necessary to protect triplex from influence of high temperatures in case of increasing the fire resistance. An effective way of increasing the fire resistance of the triplex is water spray systems. As a results of the small and large scale fire tests it has been established that the fire resistance increased twice and the temperature decreased to 100–150 °C during water spray usage. The film saves the integrity during the time of fire tests (45 minutes). Thus the carried experiments showed that the water spray of the triplex lead to the increasing of the fire resistance from 3 to 45 minutes (EI45). The maximum effect could be achieved in case of steady water spray usage from the fire side.

Keywords: fire resistance; glass; fire; explosion; triplex; large-scale installation; spread of fire; laminated glass.

REFERENCES

1. Shevchuk A. P., Kharitonov V. S., Sochevets O. N. *Mneniye spetsialistov VNIPO po voprosu ognestoykosti svetoprozrachnykh konstruksiy s polimernymi plenkami* [Expert opinion on fire VNIPO translucent designs with polymer films]. Available at: <http://www.brandglass.ru/film.html> (Accessed 2 February 2015).
2. Kaziev M. M., Zubkova E. V. *Povedeniye pri pozhare i ognezashchita svetoprozrachnykh stroitelnykh konstruksiy* [Behavior in case of fire and fire protection translucent building structures]. *Vestnik VNIINMASH — Herald VNIINMASH*, 2014, vol. 16, no. 1, pp. 54–55.
3. Richardson J. K., Oleszkiewicz I. Fire tests on window assemblies protected by automatic sprinklers. *Fire Technology*, 1987, vol. 23, no. 2, pp. 115–132. doi: 10.1007/BF01040427.
4. Kim A. K., Loughheed G. D. The protection of glazing systems with dedicated sprinklers. *Journal of Fire Protection Engineering*, 1990, vol. 2, pp. 49–59. doi: 10.1177/104239159000200202.
5. *State standard 53308–2009. Building constructions. Translucent walling and fill openings. Methods of test for fire resistance*. Moscow, Izdatelstvo standartov, 2009 (in Russian).
6. Kaziev M. M., Zubkova E. V., Bezborodov V. I. *Effektivnost vodyanogo orosheniya dlya zashchity listovogo i zakalennogo stekla* [Effectiveness of water irrigation for protection sheet and tempered glass]. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti — Technologies of Technosphere Safety*, 2014, vol. 58, no. 6. Available at: <http://ipb.mos.ru/ttb/2014-6/2014-6.html> (Accessed 2 February 2015).

А. Н. КУЛЕПАНОВ, заместитель начальника по учебной работе, Уральский институт ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22)

Е. Ю. ПОЛИЩУК, канд. техн. наук, начальник кафедры расследования пожаров, Уральский институт ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22; e-mail: epyur@ya.ru)

И. А. ЕФИМОВ, канд. юрид. наук, доцент кафедры расследования пожаров, Уральский институт ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22)

УДК 343.132.1:614.841.2.001.2

НОВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ В ОБУЧЕНИИ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ РАССЛЕДОВАНИЯ ПОЖАРОВ

Дана информация о средстве преодоления объективных ограничений, существующих в системе подготовки и повышения квалификации специалистов органов дознания ГПН ФПС и судебно-экспертных подразделений ФПС образовательными учреждениями МЧС России, путем внедрения новых технологий подготовки специалистов в области расследования пожаров с применением симулятора в виде комнаты виртуальной реальности. Показано, что применение виртуального симулятора позволяет преодолеть ряд проблем процессуального и технического характера, возникающих в образовательном процессе по вопросам организации осмотра места происшествия. Показано также, что создание моделей мест пожара на основе панорамных фотоизображений реальных пожаров позволяет избежать применения условных допущений, возникающих при макетировании или разработке компьютерных приложений виртуальной реальности.

Ключевые слова: пожар; расследование; виртуальный симулятор; 3D; подготовка; специалист; эксперт; происшествие.

Установление непосредственных технических причин пожара и правильная правовая квалификация их имеют важнейшее значение в системе профилактики пожаров. При этом необходимо отметить, что первоначальная проверка по большинству пожаров, независимо от причины, относится к компетенции органов государственного пожарного надзора и судебно-экспертных учреждений МЧС России. Именно от своевременности и качества действий пожарных дознавателей и специалистов ИПЛ зависит, будут установлены истинные причины пожара и виновное лицо или нет.

Теоретические основы расследования пожаров в СССР и России были заложены в середине XX века Б. В. Мегорским [1]. Общепринятый методический подход к решению задачи установления причин пожара начинается с производства осмотра места пожара (ОМП), выявления и фиксации следов очага пожара, условий, способствовавших возникновению и развитию горения. Несмотря на множество научных исследований [2, 3], направленных на развитие объективных методов исследования на месте пожара, призванных повысить точность установления очаговой зоны, в большинстве случаев в основе выводов о причинах пожаров лежит субъективная точка зрения. Анализ практики деятельности органов дознания и судебно-экспертных подразделений показывает также, что зачастую имеют место нарушение

процессуальных требований при выборе и закреплении вещественных доказательств. Дознаватели, а нередко и специалисты, оказываются неспособны провести грамотное описание термических поражений в протоколе ОМП, не выходя за пределы компетенции [4].

Указанные недостатки возникают в том числе и вследствие объективных ограничений, существующих в системе подготовки и повышения квалификации специалистов для пожарной охраны образовательными учреждениями МЧС России. К таким объективным ограничениям можно отнести отсутствие возможности включения в практикум по дисциплинам “Экспертиза пожаров”, “Пожарно-техническая экспертиза” и “Расследование пожаров” посещения реальных пожаров. Создание учебных полигонов частично решает данную проблему, но неспособно в полной мере подготовить обучающихся к возникновению нестандартных ситуаций, ведь на реальном пожаре, как известно, признаки очага пожара обычно проявляются не столь очевидно, как в учебных пособиях, искусственно созданных обстановках или на специально подобранных преподавателями иллюстрационных материалах.

Преодоление указанных недостатков возможно, с нашей точки зрения, при одновременном использовании традиционных учебных полигонов, предна-

значенных для отработки обучающимися навыков проведения инструментальных исследований, а также изъятия и упаковки вещественных объектов на месте происшествия, и виртуальных симуляторов-тренажеров.

Применение различных тренажеров в настоящее время получило чрезвычайно широкое распространение [5]. Объектами моделирования в тренажерах, как правило, становятся в первую очередь процессы, обучение которым на реальных объектах может привести к тяжелым последствиям, или процессы, воспроизведение которых при обучении затруднено или невозможно [6]. Осмотр места пожара в полной мере можно отнести к таким процессам, поскольку:

1) место пожара представляет потенциальную опасность для обучающихся вследствие возможных обрушений строительных конструкций, выноса напряжения на конструкции и т. д.;

2) доступ посторонних лиц на место происшествия ограничен;

3) отсутствует возможность спланировать выезд на место пожара в рамках учебного процесса.

Симулятор “Осмотр места пожара”, созданный в Уральском институте ГПС МЧС России в виде комнаты виртуальной реальности, позволяет преодолеть данные ограничения и обеспечивает возможность максимального погружения обучающихся в реальную обстановку. Концепция этого учебного симулятора полностью исключает возможность преподавателя вмешиваться в формирование следовой картины места пожара. Панорамное фотоизображение реального объекта, формируемое вокруг обучающегося шестью проекторами на пяти проекционных плоскостях, позволяет создать эффект присутствия на месте происшествия. Каждая из проекционных плоскостей имеет размеры 2,2×2,2 м (рис. 1), что обеспечивает нахождение внутри комнаты виртуальной реальности не менее двух человек (рис. 2).

К преимуществам использования виртуального симулятора “Осмотр места пожара” в процессе обучения специалистов в области расследования пожаров относятся:

- высокая эффективность формирования у курсантов, студентов и слушателей профессиональной компетенции в сфере производства осмотра места пожара и фиксации его результатов;
- моделирование различных мест пожаров, включая зону горения, задымления, теплового воздействия и прилегающую территорию;
- моделирование различных мест пожаров в зависимости от сформированной следовой картины, отражающей визуальные признаки термического воздействия на ограждающие конструкции, с учетом степени компетенции курсантов, студентов и слушателей;



Рис. 1. Общий вид виртуального симулятора “Осмотр места пожара”



Рис. 2. Осмотр обучающимися виртуального места происшествия

- возможность создания неограниченного количества вариантов моделей мест пожаров посредством формирования фонда панорамных снимков;
- сочетание индивидуальных и групповых форм обучения, использование виртуального симулятора “Осмотр места пожара” при организации самостоятельного обучения.

В настоящее время ведется работа по совершенствованию возможностей виртуального симулятора “Осмотр места пожара”, а также по увеличению числа виртуальных моделей мест пожаров.

В дальнейшем для совершенствования эффективности использования данного симулятора необходимо:

- увеличить количество панорамных снимков, которые будут использоваться в виртуальном симуляторе с дифференциацией их в зависимости от объекта осмотра;
- акцентировать внимание обучающихся на индивидуальных признаках термического воздействия, позволяющих выдвинуть версии причин пожара, на расположении очага пожара и путей распространения горения;
- предусмотреть возможность моделирования мест происшествий, связанных с чрезвычайными ситуациями природного и техногенного характера;
- разработать модели ситуаций для проведения занятий по формированию навыков психологической устойчивости.

Практические занятия с использованием виртуального симулятора дают возможность каждому обучающемуся работать на отдельной модели, чем достигается индивидуализация обучения [7–10]. Использование комнаты виртуальной реальности позволяет обеспечить формирование следующих важных практических навыков, необходимых дознавателю ГПН ФПС или специалисту при расследовании дел, связанных с пожарами:

- оформление протокола осмотра места пожара;
- выявление признаков очага пожара и условий, способствовавших развитию горения;
- производство фото- и видеофиксации следственных действий в соответствии с требованиями криминалистической фото- и видеосъемки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мегорский Б. В. Методика установления причины пожаров. – М. : Стройиздат, 1966. — 347 с.
2. Толстых В. И. Пожарно-технические методы установления причин пожаров автотранспортных средств: дис.... канд. техн. наук. — СПб. : СПбГУ ГПС МЧС России, 2004. — 120 с.
3. Лебедев К. Б. Выявление следов больших переходных сопротивлений после пожара на строящихся и эксплуатируемых объектах : дис. ... канд. техн. наук. — СПб. : СПбГУ ГПС МЧС России, 2002. — 174 с.
4. Богатищев А. И., Карпов С. Ю. Практическая подготовка слушателей по обращению с технико-криминалистическими средствами расследования пожаров // Технологии техносферной безопасности. Интернет-журнал. — 2009. — Вып. 4. URL : <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2009-4/06-04-09.ttb.pdf> (дата обращения: 06.12.2014).
5. Дзюбенко О. Л., Коженков А. О. Применение виртуальных симуляторов в обучении курсантов военного вуза // Психология, социология и педагогика. — 2012. — № 7. URL : <http://psychology.snauka.ru/2012/07/942> (дата обращения: 06.12.2014).
6. Коровин В. М. Основные принципы, методы и формы обучения курсантов в высшем военном учебном заведении : монография. — Воронеж : ВПЭ, 1999. — 244 с.
7. Psotka J. Educational games and virtual reality as disruptive technologies // Educational Technology & Society. — 2013. — Vol. 16, No. 2. — P. 69–80.
8. Andolsek D. L. Virtual reality in education and training // International Journal of Instructional Media. — 1995. — Vol. 22, No. 2. — P. 145–155.
9. Dale L. L. Virtualization technologies in information systems education // Journal of Information Systems Education. — 2009. — Vol. 20, No. 3. — P. 339–348.
10. Dunston Ph. S., Arns L. L., McGlothlin J. D. An immersive virtual reality mock-up for design review of hospital patient rooms // Proceedings of International Conference on Construction Applications of Virtual Reality, October 22–23, 2007. Available at: http://www.engr.psu.edu/convr/proceedings/papers/01_Dunston_submission_45.pdf (Accessed 6 December 2014).

Материал поступил в редакцию 21 января 2015 г.

English

NEW IN FIRE INVESTIGATION EDUCATING

KULEPANOV A. N., Deputy Head for Educational Work, Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation)

POLISHCHUK E. Yu., Candidate of Technical Sciences, Head of Fire Investigation Department, Ural State Fire Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation; e-mail address: epyr@ya.ru)

EFIMOV I. A., Candidate of Juridical Sciences, Associate Professor of Fire Investigation Department, Ural State Fire Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation)

ABSTRACT

The article provides some information about the creation of virtual simulator “Inspection of the fire scene” in the Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia. The simulator presented in the form of a fire scene of virtual reality makes it possible to overcome some objective limitations which do exist in the system of training and raising the level of specialists’ skills in the field of fire investigation and expertise. The main advantage of the virtual simulator is the ability of creation of an indefinitely large database of real fires without the involvement of outside experts. The advantages of using a virtual simulator “Inspection of the fire” in the process of training specialists in the field of fire investigation is the high efficiency of formation of cadets and students of professional competence in the field of production and inspection of fire fixation of the results, the possibility of modeling different locations of fires, including the combustion zone, smoke and the surrounding area, creating different places depending on the fires generated trace picture of the visual signs of thermal effects on the building envelope, to the extent that the competence of cadets, students and trainees. Virtual simulator allows you to combine individual and group forms of education, as well as used in the organization of self-study. The concept of this training simulator eliminates the possibility of the teacher to intervene in the formation of trace pattern fire places.

Keywords: fire; investigation; virtual simulator; 3D; education; specialist; expert; crime scene.

REFERENCES

1. Megorskiy B. V. *Metodika ustanovleniya prichiny pozharov* [The methodology for determining the causes of fires]. Moscow, Stroyizdat, 1966. 347 p.
2. Tolstykh V. I. *Pozharno-tehnicheskiye metody ustanovleniya prichin pozharov avtotransportnykh sredstv. Dis. kand. tekhn. nauk* [Fire-technical methods for determination of the cause of fire vehicles. Cand. techn. sci. diss.]. St. Petersburg, St. Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia Publ., 2004. 120 p.
3. Lebedev K. B. *Vyyavleniye sledov bolshikh perekhodnykh soprotivleniy posle pozhara na stroyashchikhsya i ekspluatiruyemykh ob'yektakh. Dis. kand. tekhn. nauk* [Detection of traces of large resistance after a fire at building and operating facilities. Cand. techn. sci. diss.]. St. Petersburg, St. Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia Publ., 2002. 174 p.
4. Bogatishchev A. I., Karpov S. Yu. *Prakticheskaya podgotovka slushateley po obrashcheniyu s tekhniko-kriminalisticheskimi sredstvami rassledovaniya pozharov* [Practical training on handling technical and forensic tools for the investigation of fires]. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti. Internet zhurnal — Technologies of Technosphere Safety. Internet journal*, 2009, Issue 4. Available at: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2009-4/06-04-09.ttb.pdf> (Accessed 6 December 2014).
5. Dzyubenko O. L., Kozhenkov A. O. *Primeneniye virtualnykh simulyatorov v obuchenii kursantov voyennogo vuza* [The use of virtual simulators in the training of cadets of the military university]. *Psikhologiya, sotsiologiya i pedagogika — Psychology, Sociology, and Pedagogy*, 2012, no. 7. Available at: <http://psychology.snauka.ru/2012/07/942> (Accessed 6 December 2014).
6. Korovin V. M. *Osnovnyye printsipy, metody i formy obucheniya kursantov v vysshem voyennom uchebno-m zavedenii: monografiya* [Basic principles, methods, and forms of teaching students in the higher military educational institution. Monograph]. Voronezh, Voronezh Institute of Radio Electronics Publ., 1999. 244 p.
7. Psotka J. Educational games and virtual reality as disruptive technologies. *Educational Technology & Society*, 2013, vol. 16, no. 2, pp. 69–80.
8. Andolsek D. L. Virtual reality in education and training. *International Journal of Instructional Media*, 1995, vol. 22, no. 2, pp. 145–155.
9. Dale L. L. Virtualization technologies in information systems education. *Journal of Information Systems Education*, 2009, vol. 20, no. 3, pp. 339–348.
10. Dunston Ph. S., Arns L. L., McGlothlin J. D. An immersive virtual reality mock-up for design review of hospital patient rooms. *Proceedings of International Conference on Construction Applications of Virtual Reality, October 22–23, 2007*. Available at: http://www.engr.psu.edu/convr/proceedings/papers/01_Dunston_submission_45.pdf (Accessed 6 December 2014).



СибБезопасность

Международная выставка «Охрана и пожарная безопасность»

23 – 25 сентября 2015

Россия, Новосибирск

Место проведения: МВК «Новосибирск Экспоцентр»

Получите электронный билет на сайте

www.sips-siberia.ru

РЕКЛАМА

Генеральный
информационный
партнер



Генеральный
Интернет-партнер



Стратегический
информационный
партнер



ITE Сибирь

E-mail: sips@sibfair.ru

Телефон: (383) 363-00-63, 363-00-36

Р. С. ВОЛКОВ, младший научный сотрудник кафедры автоматизации теплоэнергетических процессов, Энергетический институт Национального исследовательского Томского политехнического университета (Россия, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 30; e-mail: romanvolkov@tpu.ru)

А. О. ЖДАНОВА, аспирант кафедры автоматизации теплоэнергетических процессов, Энергетический институт Национального исследовательского Томского политехнического университета (Россия, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 30; e-mail: zhdanovaao@tpu.ru)

П. А. СТРИЖАК, д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры автоматизации теплоэнергетических процессов, Энергетический институт Национального исследовательского Томского политехнического университета (Россия, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 30; e-mail: pavelspa@tpu.ru)

А. Е. КУЗНЕЦОВ, канд. техн. наук, начальник отдела, Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России (Россия, 143912, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12; e-mail: ae.kuznetsov@yandex.ru)

Е. А. МОСКВИЛИН, канд. техн. наук, начальник сектора, Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России (Россия, 143912, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12; e-mail: moskvilin-ru@mail.ru)

УДК 614.842.61:536.4

О РОЛИ РАСПЫЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ПРИ ТУШЕНИИ ПОЖАРОВ

Дан анализ эффективности применения современных распылительных устройств, используемых при тушении типичных пожаров. Рассмотрены физические особенности процессов ликвидации пожаров с использованием различных распылительных устройств и систем. Выделены характерные закономерности распыления тушащих средств с использованием авиации. Рассмотрены перспективные направления развития распылительных устройств для систем пожаротушения.

Ключевые слова: вода; капли; пароводяной поток; испарение; пламя; пожары; тушение.

Введение

В 2009 г. в России пожарами уничтожены площади, сопоставимые с теми, на которых могли бы проживать 130 тыс. чел. [1]. При этом на долю городских пожаров, как правило, приходится около 70 % всех пожаров, происходящих в России [2]. Одним из самых значимых неблагоприятных экологических последствий пожаров является загрязнение “воздушного бассейна” [2–7].

Современные этапы развития человечества сопровождаются быстрым ростом производительности и количества техногенных объектов [8]. В результате отклонения параметров производственных процессов от нормативных (вследствие износа оборудования, человеческого фактора и других причин) в коммунально-бытовой сфере и на предприятиях могут возникать аварии, пожары или взрывы [8, 9]. Материалы, используемые в производственной сфере, чрезвычайно разнообразны по своему химическому составу [8], поэтому пожары, происходящие в промышленном секторе, имеют серьезное влияние на окружающую среду [8].

Наибольший ущерб от пожаров и взрывов отмечен в сфере энергетики [10], а также на объектах нефтегазодобычи и переработки нефти. В период с ноября 2001 по май 2004 гг. в горнопромышленном комплексе произошло 57 аварий [11] (рис. 1). При этом необходимо отметить, что аварии на промышленных объектах порождают возможность негативного воздействия на людей и окружающую природную среду [8] и, как следствие, являются одной из основных причин экологического риска.

Летом 2010 г. природными пожарами были охвачены почти 22 субъекта Российской Федерации [12], полностью уничтожены огнем 127 населенных объектов [12]. Тяжелое засушливое лето 2010 г. во многом схоже с летом 1938 г., когда в Удмуртской Республике выгорели не только леса, но и несколько населенных пунктов [13].

В государственном докладе о состоянии защиты населения и территорий России от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера за 2012 г. отмечалась сложная лесопожарная обстановка в ряде субъектов страны [14]. По сведениям [14]

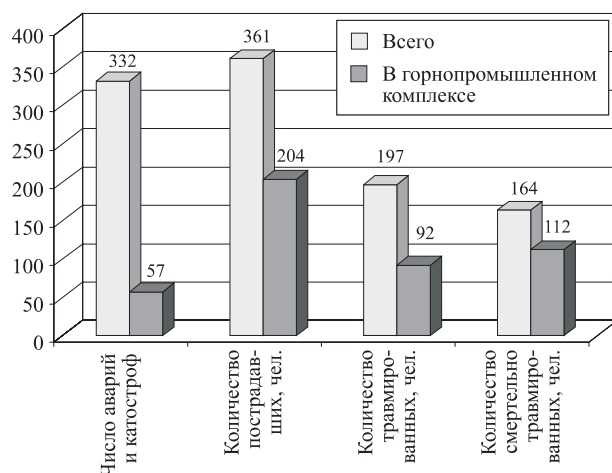


Рис. 1. Диаграмма аварийности и травматизма на предприятиях, подконтрольных Госгортехнадзору РФ, за период 11.2001–05.2004 гг. [11]

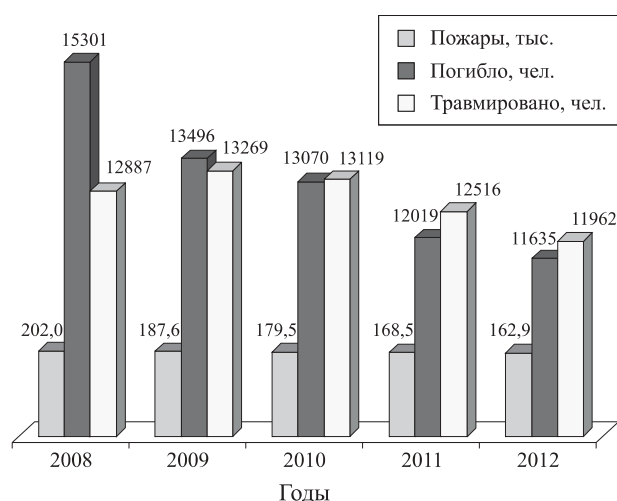


Рис. 2. Диаграмма распределения количества пожаров и их последствий за период 2008–2012 гг. [14]

в 2012 г. на территории России произошло 20,2 тыс. лесных пожаров. Из общего количества лесных пожаров 43,8 % произошли по вине граждан [14]. По сравнению с 2011 г. площадь земель, охваченная лесными пожарами, увеличилась на 692,8 тыс. га [14].

Несмотря на устойчивую положительную динамику снижения числа пожаров (городских и лесных) с 2008 по 2012 гг. (рис. 2), одним из приоритетных направлений в области обеспечения комплексной безопасности объектов инфраструктуры промышленного и социально-бытового назначения является оснащение их системами мониторинга для обеспечения безопасности от угроз природного и техногенного характера [14]. Одна из ключевых задач состоит в повышении эффективности существующих и разработке новых способов пожаротушения. Последнее существенно зависит от эффективности работы непосредственно распылительных устройств и систем.

Современные технологии распыления тушащих жидкостных составов

Применение вертолетов для тушения пожаров в условиях городской застройки не является единичным случаем (особенно в последние годы [15]). В то же время в [15] установлено, что типичное выливание воды из подвесной емкости вертолетной техники на крыши горящих зданий сопровождается ущербом, который сопоставим с самим пожаром.

При тушении пожаров непосредственно внутри зданий и сооружений практически не применяется авиация. В таких случаях, как правило, используется, например, способ тушения жидкостными составами с применением стационарных (спринклерных или дренчерных) установок или мобильных технических средств (пожарных машин, реже вертолетов) [16], имеющих трубопроводное соединение с источниками огнетушащих веществ (резервуар) и распылительные головки. Подача огнетушащего вещества в очаг пожара может осуществляться через вскрытый оконный проем (что характерно для мобильных технических средств) [16]. Причем уже использованное тушащее жидкое вещество собирается, фильтруется и вновь подается в резервуар или в систему пожарного водоснабжения здания для повторного применения [16].

Подача огнетушащего вещества при тушении лесных пожаров и пожаров в высотных зданиях [17] осуществляется при помощи одного или нескольких вертолетов, соединенных между собой гибкими шлангами [17]. Чтобы избежать наматывания шланга на винт и лопасти вертолета, на любую неподвижную часть его крепится труба с отверстиями для фиксации шланга [17].

Для тушения лесных пожаров активно применяются авиационные методы [18–20]. Становление авиационной службы по охране лесов началось в конце 30-х гг. XX столетия [21], а уже к началу 80-х гг., например, в Байкальском регионе лесной авиации принадлежали ведущие позиции в деле обнаружения пожаров и борьбы с ними [21].

Известны результаты экспериментальных исследований по тушению лесных пожаров осадками, искусственно вызываемыми из мощных кучевых облаков, для чего применяется легкомоторная авиация [22].

Известны также результаты анализа использования авиации для сбора информации об обстановке на месте лесного пожара и передачи ее пожарным командам в процессе его тушения [20]. Кроме того, рассматриваются основные проблемы и перспективы внедрения беспилотных систем, а также тенденции развития беспилотной авиации микро- и мини-классов [20].

Эффективность применения авиации при тушении крупных лесных пожаров довольно часто оце-

нивается на основе результатов как численных, так и экспериментальных исследований. Например, в [23] приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований параметров сброса воды самолетом Ил-76 МД, оборудованным выливным авиационным прибором. Проведена оценка пространственного и поверхностного распределения сбрасываемой жидкости в диапазоне летно-технических характеристик самолета Ил-76 [23]. Исследован дисперсный состав капель воды, достигающих поверхности земли [23].

Особое внимание уделяется, как правило, конструкциям вертолетов, используемых для пожаротушения [24–28]. Применение на практике способа, описанного в [24], обеспечивает увеличение скорости струи огнетушащего вещества (ОТВ). При этом повышаются ее тушащие свойства, что делает возможным более глубокое проникновение струи внутрь горящего слоя. Вертолетное устройство пожаротушения [24] снабжено дополнительным соплом, установленным на конце выносной штанги и связанным с источником подачи воздуха. При этом внутри дополнительного сопла размещен поворотный ствол и, по крайней мере, один вертикальный пожарный ствол, направленный вниз и установленный внутри ометаемой площади винта [24]. Применение нескольких вертикальных стволов позволяет дополнительно создать “защитную рубашку” из струи ОТВ, что существенно увеличивает ее диаметр [24].

Для тушения лесных пожаров предложен способ, предусматривающий применение вертолетов с соосно вращающимися винтами (типа КА), создающими мощнейший нисходящий поток воздуха [25]. Для реализации данного способа [25] вертолет подцепляет специальный конический корпус с соответствующими устройствами (рис. 3). Мощный нисходящий поток воздуха от вертолета [25] в виде смерча, устремляясь через конический корпус, сдувает и гасит пламя на своем пути. Использование данного способа [25] позволяет сэкономить значительное количество топлива за счет двойного использования мощности вертолета. Кроме того, отпадает необходимость в челночных рейсах [25], что также является преимуществом данного способа.

Применение способа [26] позволяет повысить эффективность процесса тушения лесных пожаров при минимально возможных временных затратах. Этот способ предусматривает оснащение вертолета емкостью для воды и специализированным приспособлением для ее подачи в очаг возгорания. Емкость соединяется гибким шлангом с нагнетательным патрубком насоса на передвижном оборудовании, с помощью которого она заполняется водой [26]. Высокая эффективность процесса тушения достигается

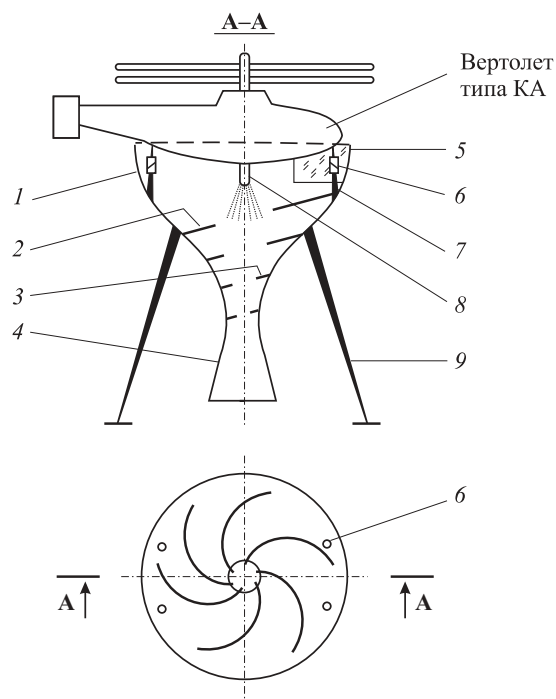


Рис. 3. Схема устройства “Смерч” для тушения пожаров [25]: 1 — верхняя собирающая круглая стенка корпуса; 2 — спираль для закручивания воздуха; 3 — спираль для закручивания воздуха в сужающейся части корпуса; 4 — сопло Лавала; 5 — прозрачная часть стенки корпуса для обзора местности; 6 — автосцепка; 7 — стойка с нижней частью автосцепки; 8 — поддерживающие корпус стойки

при ограниченном числе используемого для пожаротушения оборудования [26].

Способом, предложенным в [27], предусматривается размещение в фюзеляже противопожарного вертолета резервуаров с ОТВ и устройства для выпуска тушащей жидкости под давлением. В основном резервуаре установлена ограничительная пластина, которая может вертикально перемещаться по неподвижным направляющим [27]. Головная часть фюзеляжа вертолета горизонтально разделена на верхний отсек с кабиной экипажа и нижний отсек для оператора, который управляет устройством выпуска жидкости, находящимся в передней части нижнего отсека [27].

Для объектов, расположенных вдали от водоемов, предложен способ пожаротушения без использования воды [28]. Вертолет для тушения пожара оснащен компрессором с ресивером для сжатого воздуха, соединенным через воздушную заслонку с воздушным рукавом [28]. На конце последнего установлена емкость из огнестойкого материала с ОТВ, которая снабжена сифонной трубкой и воздушным соплом, связанным с емкостью через импульсный клапан с дистанционным управлением. Клапан обеспечивает создание многократно повторяющихся кратковременных взрывных выхлопов сжатого воздуха

с впрыснутыми в него порциями диспергированного тушащего вещества [28].

Известны также результаты анализа возможности повышения эффективности тушения пожаров за счет улучшения огнетушащих свойств “мелкораспыленной” или тонкораспыленной воды [29]. Степень однородности отрицательно заряженных капель воды оптимального размера повышается вдвое при предварительной обработке воды постоянным магнитным полем [29]. Изменение некоторых физических параметров воды (вязкость, теплота испарения, поверхностное натяжение и т. п.) под воздействием магнитного поля происходит вследствие нарушений связей между молекулами и перестройки структуры воды, что положительно влияет на процесс ликвидации пламени [29]. Отрицательно заряженные капли воды в потоке притягиваются положительно заряженным фронтом пламени, что обеспечивает более глубокое проникновение их в зону горения [29].

Кроме того, можно отметить способ получения тонкораспыленной воды в специально разработанном модульном устройстве для тушения пожара в замкнутых объемах [30].

Вопросам исследования пожаротушения тонкораспыленной водой посвящено достаточно много работ. Можно выделить труды научных коллективов, и в частности их сотрудников: Н. П. Копылова, И. И. Петрова, А. Л. Чибисова, С. Г. Цариченко, Д. В. Полякова, Ю. С. Еремина [31, 32], Е. А. Кудрявцева, А. С. Чирко, А. Л. Душкина, В. В. Матушкина, А. В. Карпышева, С. Е. Ловчинского, Н. Н. Рязанцева [33–35], Д. А. Корольченко, В. Ю. Громового, О. О. Ворогушина [36–38], Динь Конг Хынга, А. Я. Корольченко, А. С. Охроменко [39], В. Н. Семенова, С. И. Кочнева, М. Д. Сегаль [40, 41], В. В. Соковикова, А. Н. Тугова, В. В. Гришина, В. Н. Камышева [42], В. И. Гергель, А. Ю. Андрюшкина, М. Т. Пелеха, О. С. Кочетова, М. О. Старевой [43–45].

Известны результаты исследований особенностей и закономерностей процессов пожаротушения тонкораспыленной водой [43, 35]. Так, например, в [43] представлены способы формирования высокодисперсных капель и их транспортирования в очаг горения, а также способ формирования тонкораспыленной струи распылением воды в высокоскоростном газовом потоке. Экспериментальные исследования [35] характеристик струй тонкораспыленной воды при жидкостном и газожидкостном способах распыления показали возможность использования тонкораспыленной воды при локальном и объемном пожаротушении [35].

Известны результаты анализа применения тонкораспыленной воды для тушения пожара в разных по функциональному назначению высотных зданиях [38, 46]. В [38] обоснована возможная эффектив-

ность использования системы пожаротушения тонкораспыленной водой. Применение предложенного в [46] способа предполагает распыление воды равномерно по всему объему помещения с орошением стен и всех поверхностей находящихся в нем объектов. Последующие импульсные подачи осуществляются в случае возобновления пожара.

Предлагаемая в способе тушения пожаров распыленной водой технология [47], помимо противопожарной обороны (рис. 4), может быть использована в технологических целях, например для покрытия жидкостью больших площадей с равномерным распределением ее по поверхности. Поток струи распыленной воды из сопла распылителя формируется разбиением ее послойно на пленочные потоки посредством “тарелочек” [47]. Затем эти пленочные потоки растягиваются за счет увеличения площади поверхности каждой тарелочки и под действием скоростного напора дробятся на капли, что позволяет получать широкий угол раскрытия распыленной струи воды и, следовательно, большую площадь орошения при равномерном распределении ее по поверхности [47]. Проведенные исследования показали [47], что для ликвидации возгораний твердых веществ наиболее эффективна вода с размером капель порядка 300–600 мкм, а при тушении жидких нефтепродуктов или других горючих жидкостей — 50–150 мкм. Указанные диапазоны размеров капель соответствуют тонкораспыленной воде.

Можно выделить также способы тушения пожаров, заключающиеся в подаче струи распыленной воды непосредственно на горящую поверхность [48, 49]. Струя формируется с переменной по сечению дисперсностью с таким расчетом, чтобы в центральные области очага горения направлялась часть струи с наименьшей дисперсностью, а в периферийные — с наибольшей. При этом изменение дисперсности по сечению струи происходит равномерно [48, 49], а телесный угол ее факела уменьшается до минимального размера. Таким образом, при использовании предлагаемых способов тушения [48, 49] орошаемая поверхность горения охлаждается равномерно, что позволяет ликвидировать горение за относительно короткий интервал времени.

Известны способы повышения эффективности технологий пожаротушения, в которых за счет добавления в воду солей и иных специализированных примесей, а также предварительного нагрева воды обеспечивается повышение огнетушащих свойств жидкостей [50–53]. В соответствии со способом, описанным в [50], в очаг горения подают водный раствор солей калия в виде объемного аэрозольного потока с размером частиц 5–80 мкм. Отличительной особенностью способа, предложенного в [51], является подача в зону горения под давлением распы-

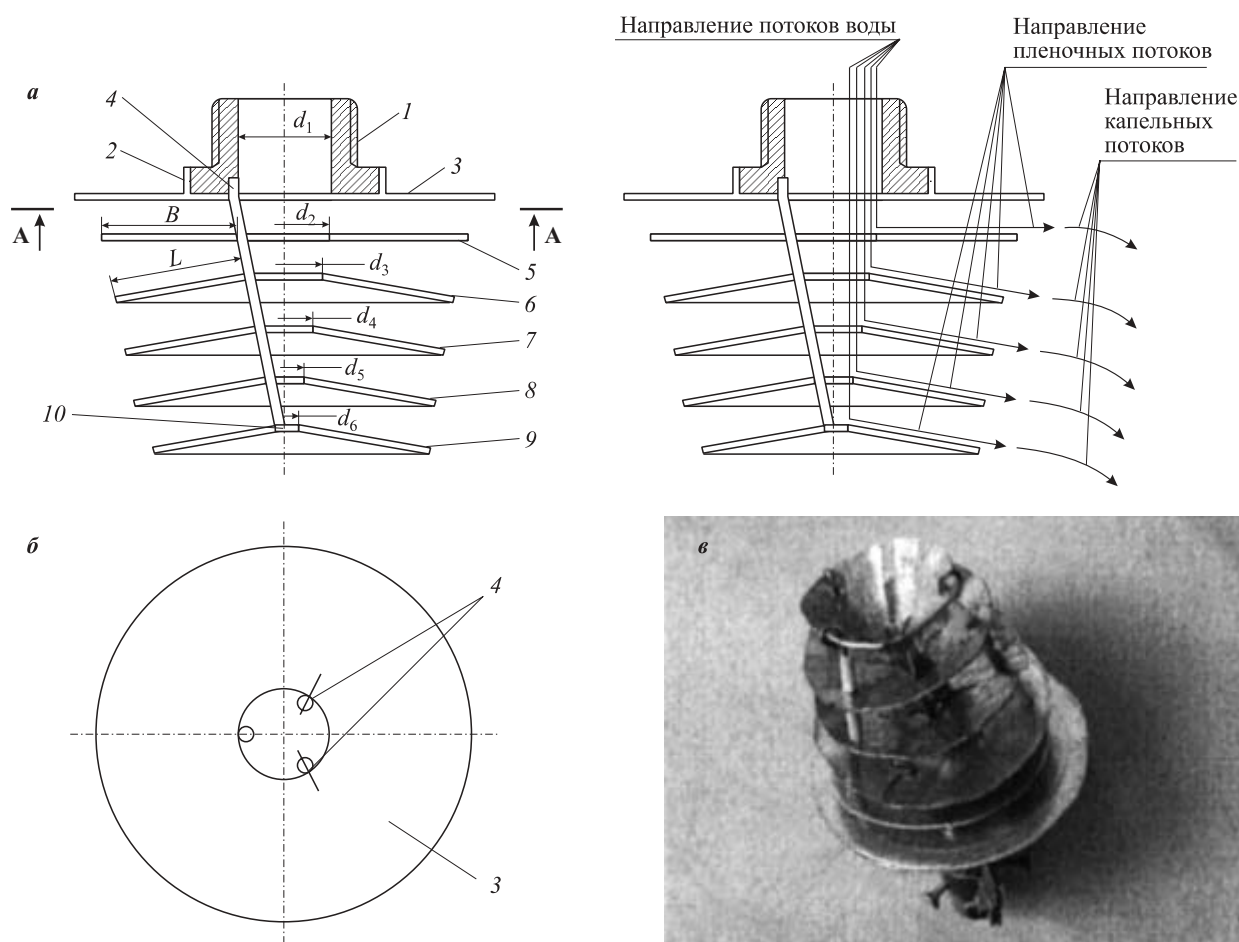


Рис. 4. Схема устройства для создания потока тонкораспыленной воды со схемой распределения направлений потоков воды (а), поперечное сечение устройства между отбойником и первой тарелочкой (б), макет тарелочного распылителя (в) [47]: 1 — сопло; 2 — каркас; 3 — отбойник; 4 — спицы; 5 — тарелочка в виде плоского круглого диска с отверстием-диафрагмой в центре диска; 6–9 — тарелочки в виде усеченного конуса; 10 — доньшко тарелочки 9; B — толщина кольца первой тарелочки 5; L — образующая тарелочек в виде усеченного конуса ($L = B$); d_1 — диаметр входного отверстия; d_2 – d_6 — диаметры отверстий-диафрагм тарелочек 6–9 соответственно

ленной воды, насыщенной до предельной растворимости солью, ингибирующей горение. Проведена также экспериментальная оценка [52] применения метода, основанного на анализе частиц солевого остатка, сформированного в результате испарения капель при распылении модельных водных растворов NaCl. Важно подчеркнуть, что объемная подача капельного потока в очаг горения при реализации полидисперсного распыления воды [31] позволяет повысить ее огнетушащую способность за счет оптимального соотношения мелких и крупных капель в потоке, доставляемом в очаг горения. Установлено, что повышению огнетушащей способности воды способствует также добавление в нее веществ, имеющих щелочную природу [31].

В особо сложных случаях тушения пожаров для обеспечения расширения возможностей пожарной техники используют терморазогрев воды до экстремальной температуры [54]. Вначале вода предварительно нагревается путем пропускания ее через нагревательное устройство, а затем подается в очаг

возгорания [54]. Мощная длинная струя дает возможность тушить очаг возгорания со значительно-го расстояния. В способе, представленном в [55], вставка для подогрева воды, имеющая горелку, позволяет достичь нагрева воды до температуры, которая обеспечивает не только ликвидацию возможного обледенения рукава, но и подачу воды в очаг пожара с температурой не ниже 120 °С (что позволяет выполнять пожаротушение в зонах с пониженными температурами окружающей среды). Специфика тушения пожара заключается в образовании пара в зоне горения (при подаче перегретой воды) [55].

В [56] исследованы процессы нагрева и испарения одиночной капли жидкости. Приведено сравнение результатов расчетов с известными данными измерений для двух жидкостей (вода и ацетон) с существенно отличающейся скоростью испарения при разных температурах и влажности окружающей среды, а также скорости набегающего потока. Получено удовлетворительное согласие расчетных и опытных данных, таких как среднееобъемная температура, диа-

метр и скорость осаждения капель (крупнодисперсных (1–3 мм) и мелкодисперсных (0,04–0,06 мм)).

Анализ современных технологий распыления жидкостных составов позволяет сделать заключение о многообразии способов подачи последних при ликвидации пожаров. Однако применение каждого из предложенных способов позволяет решать довольно ограниченный круг задач. В рассмотренных способах пожаротушения акценты делаются, как правило, на методы распыления жидкостных тушащих составов, реализацию локального сброса больших масс воды, использование мощности нисходящего потока воздуха. Кроме того, большое внимание уделяется улучшению свойств ОТВ, применяемых для тушения и ликвидации пожаров. Одной из основных задач при повышении эффективности реализации рассмотренных способов и устройств пожаротушения является экономия тушащих жидкостных составов. Избыточная подача тушащей жидкости не только отрицательно влияет на результат ликвидации возгораний, но и влечет за собой большой материальный ущерб (сопоставимый с ущербом от пожара).

Перспективные технологии распыления жидкостных тушащих составов

Одной из наиболее перспективных технологий тушения пожаров можно считать применение полидисперсных пароводяных потоков. Численные [57–75] и экспериментальные [76–91] исследования процесса испарения капель типичных водяных флегматизаторов горения в процессе движения их через продукты сгорания позволили установить оптимальные (с точки зрения полного испарения) размеры капель для разных высот пламени. В [57] установлено, что для эффективного вытеснения продуктов сгорания водяными парами и снижения температуры в зоне горения следует измельчать капли воды до характерных размеров менее 1 мм. Например, для тушения пожаров при высоте помещения до 3 м [57] размеры капель не должны превышать 300 мкм. В [58] выявлено существенное влияние предшествующих капель на интенсивность испарения последующих при движении через высокотемпературные газы. Установлено также, что масштабы этого влияния определяются расстояниями между последовательно движущимися каплями (рис. 5).

Результаты численного моделирования [64, 65] показали, что для эффективного снижения температуры в следе “водяного снаряда” (большой совокупности сбрасываемых в зону горения водяных капель) целесообразно последовательное и параллельное распыление капель. Выявлено также [64], что при возрастании массы воды, используемой для тушения пожара, необходимо существенно увеличивать расстояния между соседними каплями, что

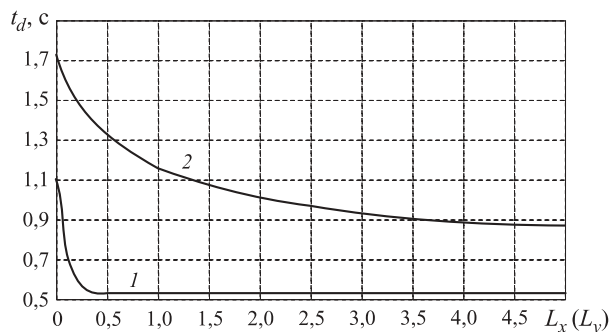


Рис. 5. Зависимость времени полного испарения капель воды от параметров L_x и L_y при $H_d = 0,5$ мм, $L_d = 1$ мм: 1 — $t_d = f(L_x)$ при $L_y = 70$; 2 — $t_d = f(L_y)$ при $L_x = 1$ [58]

позволит повысить эффективность использования тушащей жидкости. Численные исследования влияния условий распыления и структуры струи воды на температуру и концентрацию продуктов сгорания в зоне ее действия позволили установить несколько важных соотношений [70]. В частности, определены значения параметров, характеризующих расположение капель в струе, при котором достигаются минимальные температуры и концентрации продуктов сгорания в зоне распыления в условиях максимально возможной полноты испарения воды. В [71] установлены интегральные характеристики испарения капель воды при прохождении через высокотемпературные продукты сгорания.

Результаты численных исследований [72] показали, что менее 1 % жидкости “водяного снаряда” испаряется при его движении в зоне пламени с высокой температурой (около 1100 К). Экспериментальные исследования позволили установить параметры распыления воды, при которых обеспечивается практически полное ее испарение [81, 82]. Кроме того, экспериментально исследовано влияние начальной скорости движения капель распыленной воды на интегральные характеристики испарения в области высокотемпературных продуктов сгорания [83–85]. Установлено, что изменение скоростей движения капель воды в типичном для практики диапазоне 0,5–2 м/с незначительно влияет на интенсивность испарения воды [84]. В связи с этим в типичных распылительных системах основное внимание следует уделять размерам и концентрации капель в струе воды.

Экспериментальные исследования [86, 87, 89] позволили установить (с использованием высокоскоростной измерительной системы) интегральные характеристики испарения (размеры, масса, концентрация) капель пресной воды и воды с типичными примесями солей. В [87] определено влияние содержания в тушащей жидкости примесей солей на полноту ее испарения.

На рис. 6,а и 6,б показано, что при прохождении распыленной жидкостью высокотемпературной

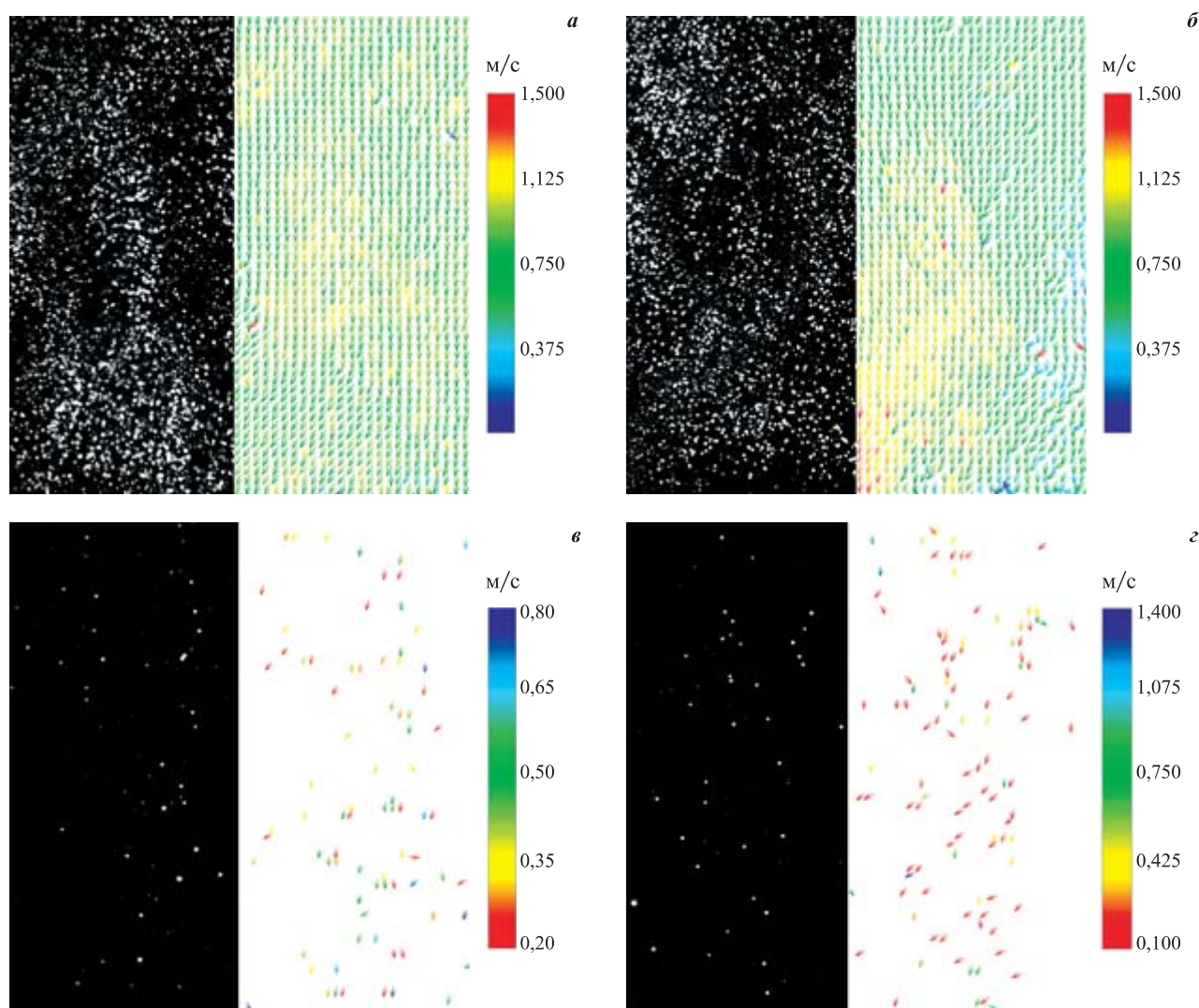


Рис. 6. Видеogramмы и поля скоростей “трассирующих” частиц жидкости: *а, б* — на входе в канал соответственно составов 1 (H_2O — 99,5 %, TiO_2 — 0,5 %) и 2 (H_2O — 97 %, TiO_2 — 0,5 %, NaCl — 2,5 %); *в, г* — на выходе из канала соответственно составов 1 и 2 [87]

зоны пламени наблюдается значительное снижение общей концентрации капель относительно начальной (рис. 6, *а* и 6, *б*), что говорит о достаточно высокой скорости их испарения [87]. Установлено [89, 90], что при малых размерах капель воды присутствие солей (относительная массовая концентрация от 0 до 10 %) незначительно влияет на интенсивность парообразования в пламенной зоне горения и, соответственно, на эффективность тушения пожаров. Проанализировано также [90] влияние начальной температуры воды и концентрации в ней примесей солей на интенсивность ее испарения в зоне пламени при движении в виде достаточно крупных монолитных капель (средний радиус более 1 мм) и капель тонкораспыленной воды (средний радиус менее 0,35 мм). Кроме того, установлено [90], что предварительный нагрев воды на 30–40 К приводит к существенному (около 15–25 %) уменьшению массы жидкости в зоне пламени как для потоков тонкораспылен-

ной жидкости, так и для монолитных, достаточно больших капель.

В результате экспериментальных исследований [91] выявлено, что существенное влияние на процесс испарения капель при прохождении через высокотемпературные продукты сгорания оказывают различные инородные включения. На рис. 7 приведены типичные видеogramмы поведения одиночных капель воды (условный радиус $R_d = 3$ мм), содержащих твердые включения — углеродистые частицы размером от 50 до 500 мкм [91]. Из рис. 7, *б* и 7, *в* видно, что при размерах твердых включений $L_m > 200$ мкм частицы в форме неправильных многоугольников хаотичным образом ориентированы относительно друг друга, но достаточно равномерно распределены в каплях жидкости [91]. Это можно объяснить, в первую очередь, их перемещениями в каплях воды вследствие конвекции. При $L_m \leq 70$ мкм следует отметить достаточно равные удаления час-



Рис. 7. Видеogramмы капель воды ($R_d = 3$ мм) с включениями углеродистых частиц: а — $L_m = 50 \div 70$ мкм; б — $L_m = 250 \div 300$ мкм; в — $L_m = 450 \div 500$ мкм; 1 — капля; 2 — углеродистые частицы [91]

тиц относительно друг друга и близкие формы последних (см. рис. 7,а) [91]. Исследованиями установлено [91], что для повышения эффективности использования воды в зоне пламени целесообразно специально вводить твердые включения в состав тушащей жидкости.

Рассмотренные в настоящей работе результаты теоретических и экспериментальных исследований показывают, что избыточная подача тушащей жидкости в течение длительного времени позволит ликвидировать возгорание, но повлечет за собой высокий расход тушащих средств [72, 90], что является нецелесообразным. Установлено также, что измельчение капель воды до малых размеров может привести к их уносу высокотемпературными продуктами сгорания или к полному испарению [57, 84]. Следует учитывать и состав тушащей жидкости, в частности примеси и включения, так как их наличие может существенно влиять на процесс тушения [91]. Важны также не только состав и масса тушащей жидкости,

но и концентрация капель в газокapельном потоке, их размеры, расстояние между ними и другие, рассмотренные в настоящей работе факторы.

Заключение

В заключение можно сделать вывод о целесообразности использования при тушении пожаров полидисперсных парокapельных жидкостных смесей, состав и параметры капель которых можно варьировать в зависимости от высоты пламени, характерных температур и других характеристик пожара. В связи с этим можно предположить, что одним из важнейших перспективных направлений развития распылительных устройств и систем пожаротушения должна стать реализация подхода последовательно-параллельной подачи капель в зону горения.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект 14-39-00003).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дешевых Ю. И. За год пожары уничтожают в России целый город со всей инфраструктурой // Безопасность. Достоверность. Информация. — 2010. — № 89. — С. 10–11.
2. Гармышев В. В., Хисматулин С. Р., Тимофеева С. С. Загрязнение атмосферы от пожаров в городских муниципальных образованиях Сибирского федерального округа // Вестник Иркутского государственного технического университета. — 2013. — № 3 (74). — С. 48–53.
3. Брушлинский Н. Н., Исаева Л. К., Маринов С. И. Управление экологическим риском при пожарах // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. — 1992. — № 2. — С. 28–39.
4. Бурканов А. К., Егоров И. Г., Волохов В. В. Пожары: влияние на окружающую среду. Обзорная информация. — М.: ВНИИПО, 1992. — 18 с.
5. Гармышев В. В. Оценка экологического риска пожаров в городских агломерациях (на примере г. Иркутска): дис. ... канд. техн. наук. — Иркутск, 2003. — 155 с.
6. Исаева Л. К., Серков Б. Б. Экологические последствия загрязнения воздуха при пожарах в жилых зданиях // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. — 1992. — № 2. — С. 39–49.
7. Копылов Н. П., Рыжков А. М., Хасанов И. Р. Взаимодействие пожаров с атмосферой // Юбилейный сборник трудов Всероссийского научно-исследовательского института противопожарной обороны. — М.: ВНИИПО МВД России, 1997. — С. 137–157.
8. Аносова Е. Б., Кулайшин С. А. Проблемы оценки экологического риска пожаров и аварий на промышленных объектах // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. — 2013. — № 2 (24). — С. 92–94.
9. Исаева Л. К. Пожары и окружающая среда. — М.: Изд. Дом “Калан”, 2001. — 222 с.

10. Феоктистова О. Г. Некоторые вопросы мониторинга антропогенной опасности на предприятиях ГА // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. — 2008. — № 127. — С. 152–156.
11. Пахомов В. П., Рудакова Л. В. Техногенные катастрофы горнопромышленного характера // Экономика региона. — 2006. — № 2. — С. 23–36.
12. Царев В. А. Экономический ущерб, нанесенный природными пожарами в России в 2010 году // Лесотехнический журнал. — 2012. — № 3. — С. 147–155.
13. Орехов П. М. Борьба с лесными пожарами на территории Вавожского района Удмуртской Республики (исторический аспект) // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. — 2012. — № 3 (32). — С. 63–65.
14. Государственный доклад о состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2012 году. URL : http://www.mchs.gov.ru/activities/Grazhdanskaja_zashhita/Gosudarstvennij_doklad_o_sostojanii_zashh (дата обращения: 01.12.2014).
15. Семёнов В. Ю. Использование вертолетов при тушении пожаров в городских условиях // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. — 2012. — № 1. — С. 76–79.
16. Пат. 2470684 Российская Федерация. А62С 3/00 (2006.01). Способ тушения пожара в зданиях и сооружениях с закрытыми объемами / Гомонай М. В. — № 2011138847/12; заявл. 23.09.2011; опубл. 27.12.2012, Бюл. № 36.
17. Пат. 2392022 Российская Федерация. МПК А62С 3/02 (2006.01), В64Д 1/16 (2006.01). Способ тушения лесных пожаров и пожаров в высотных зданиях при помощи вертолетов / Абызбаев И. И. — № 2008133066/12; заявл. 11.08.2008; опубл. 20.06.2010, Бюл. № 17.
18. Москвилев Е. А. Применение авиации для тушения лесных пожаров // Пожарная безопасность. — 2009. — № 1. — С. 89–92.
19. Пиджаков А. Ю., Решетский Ф. Н., Гаврилова О. В. Применение авиации МЧС России при тушении лесных пожаров // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. — 2011. — № 1. — С. 68–71.
20. Коршунов Н. А., Котельников Р. В. Борьба с лесными пожарами: информационное обеспечение с помощью авиасредств // Пожарная безопасность. — 2008. — № 1. — С. 125–129.
21. Пашков К. И. Проблемы становления лесоохранной авиации в Байкальском регионе (конец 1930-х – 1980-е годы) // Известия Иркутской государственной экономической академии. — 2011. — № 4. — С. 231–233.
22. Козлов В. Н., Окунев С. М., Лихачев А. В., Щербаков А. П. Тушение лесных пожаров искусственно вызванными осадками // Труды Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова. — 2003. — № 552. — С. 152–163.
23. Хасанов И. Р., Москвилев Е. А. Авиационные методы тушения крупных лесных пожаров // Проблемы горения и тушения пожаров на рубеже веков : материалы XV научно-практической конференции. — М. : ВНИИПО, 1999. — Ч. 2. — С. 391–392.
24. Пат. 2248916 Российская Федерация. МПК В64Д 1/18, А62С 27/00. Вертолет для борьбы с пожарами / Лебедев Ю. А., Лепешинский И. А., Орестов И. А., Михеев С. В., Касьянников В. А., Головин В. В. — № 2003119655/11; заявл. 03.07.2003; опубл. 27.03.2005, Бюл. № 9.
25. Пат. 2252050 Российская Федерация. МПК А62С 3/02. Способ тушения пожаров “Смерч” / Цой В. Ч. — № 2003127486/12; заявл. 10.09.2003; опубл. 20.05.2005, Бюл. № 14.
26. Пат. 2465936 Российская Федерация. МПК А62С 27/00 (2006.01). Способ тушения лесных пожаров и комплекс для его осуществления / Тарасов Ю. Д. — № 2011133755/12; заявл. 10.08.2011; опубл. 10.11.2012, Бюл. № 31.
27. Пат. 2347596 Российская Федерация. МПК А62С 31/28 (2006.01), В64Д 1/16 (2006.01), В64Д 33/04 (2006.01), В65Д 88/34 (2006.01). Противопожарный вертолет / Паяссис Р. — № 2005137371/11; заявл. 05.08.2004; опубл. 27.02.2009, Бюл. № 6.
28. Пат. 2451625 Российская Федерация. МПК В64Д 1/16 (2006.01). Вертолет для тушения пожара / Парамошко В. А. — № 2011116827/11; заявл. 27.04.2011; опубл. 27.05.2012, Бюл. № 15.
29. Пат. 2457877 Российская Федерация. МПК А62С 13/00 (2006.01), А62С 3/00 (2006.01). Способ тушения пожара мелкораспыленной водой / Крысов П. В., Ефремов С. Л., Пышный А. Р., Сахачкин С. Г. — № 2011105663/12; заявл. 15.02.2011; опубл. 10.08.2012, Бюл. № 22.
30. Бондарь А. А., Решетов А. П., Иванов А. Ю. Математическое моделирование времени тушения пожаров тонкораспыленной водой по результатам эксперимента в замкнутых объемах // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. — 2012. — № 1. — С. 82–88.

31. Пат. 2403927 Российская Федерация. МПК А62С 2/00 (2006.01), А62С 37/08 (2006.01). Способ тушения пожара распыленной водой с добавками / Баратов А. Н., Забегаев В. И., Цариченко С. Г. — № 2008141350/12; заявл. 17.10.2008; опубл. 20.11.2010, Бюл. № 32.
32. *Гергель В. И., Цариченко С. Г., Поляков Д. В.* Пожаротушение тонкораспыленной водой установками высокого давления оперативного применения // *Пожарная безопасность*. — 2006. — № 2. — С. 125–132.
33. *Чирко А. С., Карпышев А. В., Душкин А. Л., Матушкин В. В., Сегаль М. Д.* Повышение противопожарной защиты подземных объектов мегаполисов на основе передовых технологий генерации электробезопасных потоков тонкораспыленной воды // *Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций*. — 2006. — № 5. — С. 29–34.
34. *Душкин А. Л., Карпышев А. В., Сегаль М. Д.* Оптимизация параметров потоков тонкораспыленных огнетушащих веществ // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2010. — Т. 19, № 1. — С. 39–44.
35. *Копылов Н. П., Чибисов А. Л., Душкин А. Л., Кудрявцев Е. А.* Изучение закономерностей тушения тонкораспыленной водой модельных очагов пожара // *Пожарная безопасность*. — 2008. — № 4. — С. 45–58.
36. *Корольченко Д. А.* Изменение характеристик горения горючей жидкости при тушении тонкораспыленной водой // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2012. — Т. 21, № 5. — С. 79–80.
37. *Корольченко Д. А., Громовой В. Ю., Ворогушин О. О.* Применение тонкораспыленной воды для тушения пожаров в высотных зданиях // *Вестник МГСУ*. — 2011. — Т. 2, № 1. — С. 331–335.
38. *Корольченко Д. А., Громовой В. Ю., Ворогушин О. О.* Применение тонкораспыленной воды для тушения пожаров в высотных зданиях // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2011. — Т. 20, № 9. — С. 54–57.
39. *Динь Конг Хынг, Корольченко А. Я., Охроменко А. С.* Пожаротушение тонкораспыленной водой в отсеках высотного здания // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2013. — Т. 22, № 3. — С. 63–66.
40. *Карпышев А. В., Душкин А. Л., Глухов И. С., Сегаль М. Д.* Использование тонкораспыленной воды для повышения противопожарной защиты атомных электростанций // *Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций*. — 2006. — № 5. — С. 34–44.
41. *Карпышев А. В., Душкин А. Л., Рязанцев Н. Н., Афанасьев А. А., Матушкин В. В., Сегаль М. Д.* Разработка высокоэффективного универсального огнетушителя на основе генерации струй тонкораспыленных огнетушащих веществ // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2007. — Т. 16, № 2. — С. 69–73.
42. *Сокоиков В. В., Тугов А. Н., Гришин В. В., Камышев В. Н.* Автоматическое водяное пожаротушение с применением тонкораспыленной воды на электростанциях // *Энергетик*. — 2008. — № 6. — С. 37–38.
43. *Андрюшкин А. Ю., Пелех М. Т.* Эффективность пожаротушения тонкораспыленной водой // *Проблемы управления рисками в техносфере*. — 2012. — Т. 21, № 1. — С. 64–69.
44. *Андрюшкин А. Ю., Пелех М. Т.* Получение тонкораспыленной воды газодинамическим распылением // *Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России*. — 2012. — № 1. — С. 53–58.
45. Пат. 2472552 Российская Федерация. МПК А62С 35/02 (2006.01). Установка для тушения пожара тонкораспыленной водой / Кочетов О. С., Стареева М. О. — № 2011142392/12; заявл. 20.10.2011; опубл. 20.01.2013, Бюл. № 2.
46. Пат. 2370292 Российская Федерация. МПК А62С 3/00 (2006.01), А62С 35/02 (2006.01), А62С 27/00 (2006.01). Способ пожаротушения в помещениях и устройство для его осуществления / Барсуков В. Д., Басалаев С. А., Голдаев С. В., Минькова Н. П. — № 2007127397/12; заявл. 17.07.2007; опубл. 20.10.2009, Бюл. № 29.
47. Пат. 2415688 Российская Федерация. МПК А62С 31/00 (2006.01). Способ получения тонкораспыленной воды и устройство для его реализации / Петров И. И., Забегаев В. И. — № 2009149734/12; заявл. 30.12.2009; опубл. 10.04.2011, Бюл. № 10.
48. Пат. 1247019 СССР. МПК А62С 1/06. Способ тушения пожаров водой / Маслак В. Г., Королев Ю. С. — № 3840937/29-12; заявл. 09.01.85; опубл. 30.07.86, Бюл. № 28.
49. Пат. 1789234 СССР. МПК А62С 2/00. Способ тушения пожара распыленной водой / Маслак В. Г., Королев Ю. С., Пургин Б. А. — № 4847228/12; заявл. 03.07.90; опубл. 23.01.93, Бюл. № 3.
50. Пат. 2396095 Российская Федерация. МПК А62С 3/00 (2006.01). Способ тушения пожара / Коробейничев О. П., Шмаков А. Г., Чернов А. А., Куценогий К. П., Макаров В. И., Копылов С. Н., Баратов А. Н. — № 2009105727/12; заявл. 18.02.2009; опубл. 10.08.2010, Бюл. № 22.
51. Пат. 2050866 Российская Федерация. МПК А62С 3/00. Способ тушения пожара и установка пожаротушения / Кононов Б. В., Пак З. П. — Заявл. 04.09.92; опубл. 27.12.95.

52. Ишиматов А. Н., Ворожцов Б. И. Метод исследования тонкодисперсного распыления жидкостей // Оптика атмосферы и океана. — 2012. — Т. 25, № 7. — С. 653–656.
53. Саламов А. А. Современная система пожаротушения “водяной туман” высокого давления // Энергетик. — 2012. — № 3. — С. 16–18.
54. Пат. 2372122 Российская Федерация. МПК A62C 5/00 (2006.01). Способ тушения пожаров и устройство для его осуществления / Каплан А. Л., Каришин А. В., Жуйков Д. А., Илюшин А. В. — № 2006130584/12; заявл. 24.08.2006; опубл. 10.11.2009, Бюл. № 31.
55. Пат. 2030194 Российская Федерация. МПК A62C3 3/00. Устройство для тушения пожара перегретой водой / Роев В. В., Алешков М. В., Степанов К. Н., Пряничников В. А., Коровин Г. К., Шарилов А. В., Нестеров В. М. — № 5067910/12; заявл. 06.10.92; опубл. 10.03.95.
56. Снегирёв А. Ю., Сажин С. С., Талалов В. А., Савин М. В. Апробация модели теплообмена и испарения капель диспергированной жидкости // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Физико-математические науки. — 2011. — Т. 2, № 122. — С. 48–59.
57. Волков Р. С., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Численная оценка оптимальных размеров капель воды в условиях ее распыления средствами пожаротушения в помещениях // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 5. — С. 74–78.
58. Стрижак П. А. Численное исследование условий испарения совокупности капель воды при движении в высокотемпературной газовой среде // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 8. — С. 26–31.
59. Андреев Г. Г., Глушков Д. О., Панин В. Ф., Стрижак П. А. Тепломассоперенос при взаимодействии диспергированного флегматизатора горения с высокотемпературными продуктами сгорания // Бутлеровские сообщения. — 2012. — № 8. — С. 86–94.
60. Стрижак П. А. Численный анализ процесса испарения капли, движущейся в струе воды через высокотемпературные продукты сгорания // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 9. — С. 17–22.
61. Волков Р. С., Высокоморная О. В., Стрижак П. А. Численное исследование условий взаимодействия диспергированного флегматизатора горения с высокотемпературными продуктами сгорания // Безопасность труда в промышленности. — 2012. — № 10. — С. 74–79.
62. Глушков Д. О., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Численное исследование тепломассопереноса при движении “тангема” капель воды в высокотемпературной газовой среде // Тепловые процессы в технике. — 2012. — № 12. — С. 531–538.
63. Vysokomornaya O. V., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Heat and mass transfer in the process of movement of water drops in a high-temperature gas medium // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. — 2013. — Vol. 86, No. 1. — P. 62–68.
64. Жданова А. О., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Влияние распределения капель воды в “водяном снаряде” на температуру в его следе // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 2. — С. 9–17.
65. Высокоморная О. В., Марков А. О., Назаров М. Н., Стрижак П. А., Янов С. Р. Численное исследование влияния условий распыления воды на температуру в следе “водяного снаряда” // Известия Томского политехнического университета. — 2013. — Т. 322, № 4. — С. 24–31.
66. Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Влияние формы капли воды на результаты математического моделирования ее испарения при движении через высокотемпературные продукты сгорания // Тепловые процессы в технике. — 2013. — № 6. — С. 254–261.
67. Strizhak P. A. Influence of droplet distribution in a “water slug” on the temperature and concentration of combustion products in its wake // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. — 2013. — Vol. 86, No. 4. — P. 895–904.
68. Стрижак П. А. Численный анализ диффузионно-конвективных процессов тепломассопереноса при движении капель воды через высокотемпературные продукты сгорания // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 7. — С. 11–21.
69. Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Оценка эффективности использования теплоты испарения воды при тушении лесных пожаров // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 9. — С. 57–63.
70. Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Влияние структуры распыленной воды на температуру и концентрацию продуктов горения // Пожарная безопасность. — 2013. — № 4. — С. 47–53.
71. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Numerical investigation of the influence of convection in a mixture of combustion products on the integral characteristics of the evaporation of a finely atomized water drop // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. — 2014. — Vol. 87, No. 1. — P. 103–111.
72. Жданова А. О., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Эффективность использования теплоты парообразования при воздействии “водяным снарядом” на пламя // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. — 2013. — № 6. — С. 82–91.

73. Жданова А. О., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Роль дисперсности воды, сбрасываемой авиацией в зону горения лесных массивов // Безопасность труда в промышленности. — 2014. — № 1. — С. 43–49.
74. Жданова А. О., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Влияние температуры в следе “водяного снаряда” на условия термического разложения типичного лесного горючего материала // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. — 2014. — № 1. — С. 48–55.
75. Glushkov D. O., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Numerical investigation of water droplets shape influence on mathematical modeling results of its evaporation in motion through a high-temperature gas // Mathematical Problems in Engineering. — 2014. — Article ID 920480. — 8 p.
76. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. The motion of a manifold of finely dispersed liquid droplets in the counter-flow of high temperature gases // Technical Physics Letters. — 2014. — Vol. 40, No. 6. — P. 499–502.
77. Высокоморная О. В., Захаревич А. В., Стрижак П. А. Экспериментальная оценка изменения размеров и скоростей движения капель воды при их перемещении в области высокотемпературных продуктов сгорания // Тепловые процессы в технике. — 2014. — Т. 6, № 5. — С. 214–220.
78. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Evaporation of single droplets and dispersed liquid flow in motion through high temperature combustion products // High Temperature. — 2014. — Vol. 52, No. 4. — P. 568–575.
79. Волков Р. С., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Анализ влияния начальной температуры распыленной воды на интегральные характеристики ее испарения при движении через зону “горячих” газов // Инженерно-физический журнал. — 2014. — Т. 87, № 2. — С. 436–444.
80. Волков Р. С., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Экспериментальное исследование влияния начальной температуры распыленной воды на интенсивность ее испарения при движении через пламя // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 3. — С. 12–21.
81. Волков Р. С., Высокоморная О. В., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Экспериментальное исследование закономерностей испарения тонкораспыленной воды при движении через высокотемпературные продукты сгорания // Бутлеровские сообщения. — 2013. — Т. 35, № 9. — С. 38–46.
82. Волков Р. С., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Особенности испарения двух капель воды, движущихся последовательно через высокотемпературные продукты сгорания // Теплофизика и аэромеханика. — 2014. — Т. 21, № 2. — С. 269–272.
83. Волков Р. С., Забелин М. В., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Влияние начальной скорости движения капель распыленной жидкости на интенсивность их испарения в области высокотемпературных продуктов сгорания // Безопасность труда в промышленности. — 2014. — № 3. — С. 35–40.
84. Волков Р. С., Забелин М. В., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Влияние размеров и скоростей ввода капель воды в зону горения на эффективность ее использования при тушении пожаров в помещениях // Тепловые процессы в технике. — 2014. — № 4. — С. 157–163.
85. Волков Р. С., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Экспериментальное исследование полноты испарения распыленной воды при ее движении через пламя // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 10. — С. 15–24.
86. Волков Р. С., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. О некоторых физических закономерностях испарения распыленной воды при движении через высокотемпературные продукты сгорания // Известия Томского политехнического университета. — 2013. — Т. 323, № 2. — С. 201–207.
87. Волков Р. С., Жданова А. О., Стрижак П. А. Экспериментальное исследование интегральных характеристик испарения типичных распыленных тушащих жидкостей при их движении через пламя // Безопасность труда в промышленности. — 2013. — № 12. — С. 33–37.
88. Волков Р. С., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Влияние начальных параметров распыленной воды на характеристики ее движения через встречный поток высокотемпературных газов // Журнал технической физики. — 2014. — Т. 84, № 7. — С. 15–23.
89. Волков Р. С., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Экспериментальное исследование интегральных характеристик испарения пресной и соленой воды при движении через пламя // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — 2014. — № 2. — С. 18–23.
90. Волков Р. С., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Экспериментальное исследование влияния начальной температуры воды и содержания в ней примесей солей на интенсивность испарения в зоне пламени при подаче в виде крупных монолитных капель и тонкораспыленной струи // Пожарная безопасность. — 2014. — № 2. — С. 93–98.
91. Волков Р. С., Забелин М. В., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Влияние твердых включений в каплях жидкости на интенсивность парообразования в зоне пламени // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 5. — С. 10–17.

Материал поступил в редакцию 8 декабря 2014 г.

ABOUT THE ROLE OF ATOMIZING DEVICES UNDER THE EXTINGUISHING OF FIRES

VOLKOV R. S., Low Researcher of Automation Thermal and Power Processes Department, Institute of Power Engineering, National Research Tomsk Polytechnic University (Lenina Avenue, 30, Tomsk, 634050, Russian Federation; e-mail address: romanvolkov@tpu.ru)

ZHDANOVA A. O., Postgraduate Student of Automation Thermal and Power Processes Department, Institute of Power Engineering of National Research Tomsk Polytechnic University (Lenina Avenue, 30, Tomsk, 634050, Russian Federation; e-mail address: zhdanovaao@tpu.ru)

STRIZHAK P. A., Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of Automation Thermal and Power Processes Department, Institute of Power Engineering, National Research Tomsk Polytechnic University (Lenina Avenue, 30, Tomsk, 634050, Russian Federation; e-mail address: pavelspa@tpu.ru)

KUZNETSOV A. E., Candidate of Technical Sciences, Head of Department, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia (VNIPO, 12, Balashikha, Moscow Region, 143912, Russian Federation; e-mail address: ae.kuznetsov@yandex.ru)

MOSKVIN E. A., Candidate of Engineering Sciences, Head of Section, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia (VNIPO, 12, Balashikha, Moscow Region, 143912, Russian Federation; e-mail address: moskvilin-ru@mail.ru)

ABSTRACT

Main attention in the real paper is given to problems of examination modern treatment by supplied of the extinguishing liquid compositions in fire areas, in particular, the effectiveness improvement problem of the methods and fire extinguishment mechanisms by using of liquid flows.

Modern atomization technologies of the extinguishing liquid compositions were separated. Main promising atomization technologies of the extinguishing liquid compositions were analyzed. The analysis of theoretical and experimental researches was carried out in the field of droplets evaporation liquid compositions in the flames. It was showed that over feeding of the extinguishing liquid during a long time interval will allow to put out of eliminate the ignition, however, it will cause a strong flow of the it is inappropriate.

It was found that not only composition and mass of the extinguishing liquid are important, but concentration of droplets in the gas-droplet flow, its sizes, distance between them its and other analysed factors.

Keywords: water; droplets; vapor-water flow; evaporation; flame; fires; extinguishment.

REFERENCES

1. Deshevyykh Yu. I. Za god pozhary unichtozhayut v Rossii tselyy gorod so vsey infrastrukturoy [During a year the fires destroy in Russia the whole city with all infrastructure]. *Bezopasnost. Dostovernost. Informatsiya — Safety. Reliability. Information*, 2010, no. 89, pp. 10–11.
2. Garmyshev V. V., Khismatulin S. R., Timofeeva S. S. Zagryazneniye atmosfery ot pozharov v gorodskikh munitsipalnykh obrazovaniyakh Sibirskogo federalnogo okruga [Atmospheric pollution due to fires in urban municipal centers of Siberian federal district]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta — Bulletin of National Research Irkutsk State Technical University*, 2013, no. 3 (74), pp. 48–53.
3. Brushlinskiy N. N., Isaeva L. K., Marinov S. I. Upravleniye ekologicheskim riskom pri pozharakh [The control of ecological risk at the fires]. *Problemy bezopasnosti i chrezvychaynykh situatsiy — Problems of Safety and Emergency Situations*, 1992, no. 2, pp. 28–39.
4. Burkanov A. K., Yegorov I. G., Volokhov V. V. *Pozhary: vliyaniye na okruzhayushchuyu sredu. Obzornaya informatsiya* [Fires: environmental influence. Survey information]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 1992. 18 p.
5. Garmyshev V. V. Otsenka ekologicheskogo riska pozharov v gorodskikh aglomeratsiyakh (na primere g. Irkutsk). Dis. kand. tekhn. nauk [Environmental risk assessment of the fires in metropolitan agglomeration (on the example of Irkutsk). Cand. techn. sci. diss.]. Irkutsk, 2003. 155 p.

6. Isaeva L. K., Serkov B. B. Ekologicheskiye posledstviya zagryazneniya vozdukha pri pozharakh v zhi-lykh zdaniyakh [Ecological consequence of ground-level concentration at the fires in apartment buildings]. *Problemy bezopasnosti i chrezvychaynykh situatsiy — Problems of Safety and Emergency Situations*, 1992, no. 2, pp. 39–49.
7. Kopylov N. P., Ryzhkov A. M., Khasanov I. R. Vzaimodeystviye pozharov s atmosferoy [Cooperation of the fires with the atmosphere]. *Yubileynyy sbornik trudov Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta protivopozharnoy oborony* [Anniversary collection of the works of the All-Russian Research Institute for Fire Protection]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 1997, pp. 137–157.
8. Anosova Ye. B., Kulayshin S. A. Problemy otsenki ekologicheskogo riska pozharov i avariyn na promyshlennyykh ob'yektakh [Problems of ecological risk of industrial fires and accidents]. *Vektor nauki Tolyattinskogo gosudarstvennogo universiteta — Vector of Science of the Tolyatti State University*, 2013, no. 2 (24), pp. 92–94.
9. Isaeva L. K. *Pozhary i okruzhayushchaya sreda* [Fires and environment]. Moscow, Kalan Publ., 2001. 222 p.
10. Feoktistova O. G. Nekotoryye voprosy monitoringa antropogennoy opasnosti na predpriyatiyakh GA [Some questions of anthropogenous danger monitoring at the civil aviation enterprises]. *Nauchnyy vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta grazhdanskoj aviatsii — Scientific Bulletin of the Moscow State Technical University of Civil Aviation*, 2008, no. 127, pp. 152–156.
11. Pakhomov V. P., Rudakova L. V. Tekhnogennyye katastrofy gornopromyshlennogo kharaktera [Catastrophes formed by a technical reaction of the character of mining industries]. *Ekonomika regiona — Region Economy*, 2006, no. 2, pp. 23–36.
12. Tsarev V. A. Ekonomicheskiy ushcherb, nanesennyy prirodnyimi pozharemi v Rossii v 2010 godu [The economic disbenefit superimposed by the natural fires in Russia in 2010]. *Lesotekhnicheskij zhurnal — Forestry Engineering Journal*, 2012, no. 3, pp. 147–155.
13. Orekhov P. M. Borba s lesnymi pozharemi na territorii Vavozhskogo rayona Udmurtskoy Respubliki (istoricheskiy aspekt) [Forest fire management in the territory of Vavozh district, Udmurt Republic (historical aspect)]. *Vestnik Izhevskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii — Bulletin of the Izhevsk State Agricultural Academy*, 2012, no. 3 (32), pp. 63–65.
14. The state report on the status of protection of population and territories of the Russian Federation from emergency situations of natural and technogenic character in 2012 (in Russian). Available at: http://www.mchs.gov.ru/activities/Grazhdanskaja_zashchita/Gosudarstvennij_doklad_o_sostojanii_zash (Accessed 1 December 2014).
15. Semyenov V. Yu. Ispolzovaniye vertoletov pri tushenii pozharov v gorodskikh usloviyakh [The use of helicopters in fire-fighting in urban environments]. *Vektor nauki Tolyattinskogo gosudarstvennogo universiteta — Vector of Science of the Tolyatti State University*, 2012, no. 1, pp. 76–79.
16. Gomonay M. V. *Sposob tusheniya pozhara v zdaniyakh i sooruzheniyakh s zakrytymi obyemami* [Method of fire fighting in buildings and structures with closed volume]. Patent RU, no. 2470684, publ. 27.12.2012.
17. Abyzbaev I. I. *Sposob tusheniya lesnykh pozharov i pozharov v vysotnykh zdaniyakh pri pomoshchi vertoletov* [Method to fight forest fires and fires in high buildings using helicopters]. Patent RU, no. 2392022, publ. 20.06.2010.
18. Moskvilov Ye. A. Primeneniye aviatsii dlya tusheniya lesnykh pozharov [Aviation usage for the suppression of forest fires]. *Pozharnaya bezopasnost — Fire Safety*, 2009, no. 1, pp. 89–92.
19. Pidzhakov A. Yu., Reshetskii F. N., Gavrilova O. V. Primeneniye aviatsii MChS Rossii pri tushenii lesnykh pozharov [Russian Emergency Ministry Aviation usage during the suppression of forest fires]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MChS Rossii — Bulletin of St. Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia*, 2011, no. 1, pp. 68–71.
20. Korshunov N. A., Kotelnikov R. V. Borba s lesnymi pozharemi: informatsionnoye obespecheniye s pomoshchyu aviasredstv [Forest fire fighter: information support by means of aviameans]. *Pozharnaya bezopasnost — Fire Safety*, 2008, no. 1, pp. 125–129.
21. Pashkov K. I. Problemy stanovleniya lesookhrannoy aviatsii v Baykalskom regione (konets 1930-kh – 1980-ye gody) [Problems of establishing forest service aviation in Baikal region (late 1930–1980)]. *Izvestiya Irkutskoy gosudarstvennoy ekonomicheskoy akademii — Izvestiya of Irkutsk State Economics Academy*, 2011, no. 4, pp. 231–233.

22. Kozlov V. N., Okunev S. M., Likhachev A. V., Shcherbakov A. P. Tusheniye lesnykh pozharov iskustvenno vyzvannymi osadkami [Extinguishment of forest fires by artificially induced rainfall]. *Trudy Glavnoy geofizicheskoy observatorii im. A. I. Voyeykova — Works of the Main Geophysical Observatory of A. I. Voyeykov*, 2003, no. 552, pp. 152–163.
23. Khasanov I. R., Moskvilin Ye. A. Aviatsionnyye metody tusheniya krupnykh lesnykh pozharov [Aviation methods of extinguishment of large forest fires]. *Materialy XV nauchno-prakticheskoy konferentsii “Problemy goreniya i tusheniya pozharov na rubezhe vekov”* [Materials of XV Research-and-practice conference “Problems of burning and suppression of the fires at the turn of the century”]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 1999, part. 2, pp. 391–392.
24. Lebedev Yu. A., Lepeshinskiy I. A., Orestov I. A., Mikheev S. V., Kasyannikov V. A., Golovin V. V. Vertolet dlya borby s pozharemi [Fire-fighting helicopter]. Patent RU, no. 2248916, publ. 27.03.2005.
25. Tsoy V. Ch. Sposob tusheniya pozharov “Smerch” [Fire extinguishing method “Smerch”]. Patent RU, no. 2252050, publ. 20.05.2005.
26. Tarasov Yu. D. Sposob tusheniya lesnykh pozharov i kompleks dlya yego osushchestvleniya [Method of extinguishing forest fires and complex for its realization]. Patent RU, no. 2465936, publ. 10.11.2012.
27. Payassis R. Protivopozharnyy vertolet [Water bomber helicopter]. Patent RU, no. 2347596, publ. 27.02.2009.
28. Paramoshko V. A. Vertolet dlya tusheniya pozhara [Fire helicopter]. Patent RU, no. 2451625, publ. 27.05.2012.
29. Krysov P. V., Yefremov S. L., Pyshnyy A. R., Sakhatkiy S. G. Sposob tusheniya pozhara melkoraspylennoy vodoy [Method of extinguishing fire with finely pulverised water]. Patent RU, no. 2457877, publ. 10.08.2012.
30. Bondar A. A., Reshetov A. P., Ivanov A. Yu. Matematicheskoye modelirovaniye vremeni tusheniya pozharov tonkoraspylennoy vodoy po rezultatam eksperimenta v zamknutykh obyemakh [Mathematical modelling of time of suppression of fires thin the sprayed water (TSW) by results of experiment in the closed volumes] *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MChS Rossii — Bulletin of St. Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia*, 2012, no. 1, pp. 82–88.
31. Baratov A. N., Zabegaev V. I., Tsarichenko S. G. Sposob tusheniya pozhara raspylennoy vodoy s dobavkami [Method of fire extinguishing by means of dispersed water with additives]. Patent RU, no. 2403927, publ. 20.11.2010.
32. Gergel V. I., Tsarichenko S. G., Polyakov D. V. Pozharotusheniye tonkoraspylennoy vodoy ustanovkami vysokogo davleniya operativnogo primeneniya [Fire extinguishing by finely dispersed water from high-pressure installations of on-line application]. *Pozharnaya bezopasnost — Fire Safety*, 2006, no. 2, pp. 125–132.
33. Chirko A. S., Karpyshev A. V., Dushkin A. L., Matushkin V. V., Segal M. D. Povysheniye protivopozharnoy zashchity podzemnykh obyektov megapolisov na osnove peredovykh tekhnologiy generatsii elektrobezopasnykh potokov tonkoraspylennoy vody [Fire precautions protection increase of underground facility of megalopolises on the basis of trendsetting technologies of generation of electrical safety flows of water spray]. *Problemy bezopasnosti i chrezvychaynykh situatsiy — Problems of Safety and Emergency Situations*, 2006, no. 5, pp. 29–34.
34. Dushkin A. L., Karpyshev A. V., Segal M. D. Optimizatsiya parametrov potokov tonkoraspylennykh ognetushashchikh veshchestv [Optimization of flow parameters of fine-sprayed fire extinguishing substances]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2010, vol. 19, no. 1, pp. 39–44.
35. Kopylov N. P., Chibisov A. L., Dushkin A. L., Kudryavtsev Ye. A. Izucheniye zakonornostey tusheniya tonkoraspylennoy vodoy modelnykh ochagov pozhara [Studying of standardized fire source extinguishment regularities by water spray]. *Pozharnaya bezopasnost — Fire Safety*, 2008, no. 4, pp. 45–58.
36. Korolchenko D. A. Izmeneniye kharakteristik goreniya goryuchey zhidkosti pri tushenii tonkoraspylennoy vodoy [Changes in burning characteristics of the combustible liquid during suppression by finely atomized water]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 5, pp. 79–80.
37. Korolchenko D. A., Gromovoy V. Yu., Vorogushin O. O. Primeneniye tonkoraspylennoy vody dlya tusheniya pozharov v vysoznykh zdaniyakh [Fire extinguishing in tall buildings by using water mist systems]. *Vestnik MGSU — Vestnik MGSU*, 2011, vol. 2, no. 1, pp. 331–335.
38. Korolchenko D. A., Gromovoy V. Yu., Vorogushin O. O. Primeneniye tonkoraspylennoy vody dlya tusheniya pozharov v vysoznykh zdaniyakh [Fire extinguishing in tall buildings by using water mist systems]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 9, pp. 54–57.

39. Dinh Cong Hung, Korolchenko A. Ya., Okhromenko A. S. Pozharotusheniye tonkoraspylennoy vodoy v otsekakh vysotnogo zdaniya [The Influence of water mist fire-extinguishing in case of fire in high-rise building]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 3, pp. 63–66.
40. Karpyshev A. V., Dushkin A. L., Glukhov I. S., Segal M. D. Ispolzovaniye tonkoraspylennoy vody dlya povysheniya protivopozharnoy zashchity atomnykh elektrostantsiy [Use of water spray for increase of fire-suppression protection of nuclear power plants]. *Problemy bezopasnosti i chrezvychaynykh situatsiy — Problems of Safety and Emergency Situations*, 2006, no. 5, pp. 34–44.
41. Karpyshev A. V., Dushkin A. L., Ryazantsev N. N., Afanasyev A. A., Matushkin V. V., Segal M. D. Razrabotka vysokoeffektivnogo universalnogo ognetyashitelya na osnove generatsii struy tonkoraspylennykh ognetyashchikh veshchestv [Development of the high efficiency all-purpose extinguisher on the basis of generation of sprayed fire-fighting agent jets]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2007, vol. 16, no. 2, pp. 69–73.
42. Sokovikov V. V., Tugov A. N., Grishin V. V., Kamyshev V. N. Avtomaticheskoye vodyanoye pozharotusheniye s primeneniym tonkoraspylennoy vody na elektrostantsiyakh [Automated water fire-fighting system with use of water spray at power plants]. *Energetik — Power Engineer*, 2008, no. 6, pp. 37–38.
43. Andryushkin A. Yu., Pelekh M. T. Effektivnost pozharotusheniya tonkoraspylennoy vodoy [Efficiency of the stewing fire by sprayed water]. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere — Risk Management Problems in the Technosphere*, 2012, vol. 21, no. 1, pp. 64–69.
44. Andryushkin A. Yu., Pelekh M. T. Polucheniye tonkoraspylennoy vody gazodinamicheskimi raspyleniyem [Production of the water spray by the gasdynamic atomization]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MChS Rossii — Bulletin of St. Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia*, 2012, no. 1, pp. 53–58.
45. Kochetov O. S., Stareeva M. O. Ustanovka dlya tusheniya pozhara tonkoraspylennoy vodoy [Plant for fire fighting with water mist]. Patent RU, no. 2472552, publ. 20.01.2013.
46. Barsukov V. D., Basalaev S. A., Goldaev S. V., Minkova N. P. Sposob pozharotusheniya v pome-shcheniyakh i ustroystvo dlya yego osushchestvleniya [Method of fire extinction indoors and device for method implementation]. Patent RU, no. 2370292, publ. 20.10.2009.
47. Petrov I. I., Zabegaev V. I. Sposob polucheniya tonkoraspylennoy vody i ustroystvo dlya yego realizatsii [Method of obtaining finely dispersed water and device for its realisation]. Patent RU, no. 2415688, publ. 10.04.2011.
48. Maslak V. G., Korolev Yu. S. Sposob tusheniya pozharov vodoy [Method of fires suppression by water]. Patent SU, no. 1247019, publ. 30.07.86.
49. Maslak V. G., Korolev Yu. S., Purgin B. A. Sposob tusheniya pozhara raspylennoy vodoy [Method of fires suppression by atomized water]. Patent SU, no. 1789234, publ. 23.01.93.
50. Korobeynichenov O. P., Shmakov A. G., Chernov A. A., Kutsenogiy K. P., Makarov V. I., Kopylov S. N., Baraton A. N. Sposob tusheniya pozhara [Method for fire extinguishing]. Patent RU, no. 2396095, publ. 10.08.2010.
51. Kononov B. V., Pak Z. P. Sposob tusheniya pozhara i ustanovka pozharotusheniya [Fire extinguishing method and apparatus]. Patent RU, no. 2050866, publ. 27.12.1995.
52. Ishmatov A. N., Vorozhtsov B. I. Metod issledovaniya tonkodispersnogo raspyleniya zhidkostey [The method for the study of fine liquid atomization]. *Optika atmosfery i okeana — Atmospheric and Oceanic Optics*, 2012, vol. 25, no. 7, pp. 653–656.
53. Salamov A. A. Sovremennaya sistema pozharotusheniya “vodyanoy tuman” vysokogo davleniya [“Water fog” — modern high pressure fire extinguishing system]. *Energetik — Power Engineer*, 2012, no. 3, pp. 16–18.
54. Kaplan A. L., Karishin A. V., Zhuykov D. A., Ilyushin A. V. Sposob tusheniya pozharov i ustroystvo dlya yego osushchestvleniya [Method to extinguish fire and relevant device]. Patent RU, no. 2372122, publ. 10.11.2009.
55. Roenko V. V., Aleshkov M. V., Stepanov K. N., Pryanichnikov V. A., Korovin G. K., Sharikov A. V., Nesterov V. M. Ustroystvo dlya tusheniya pozhara peregretoy vodoy [Device for extinguishing fire with superheated water]. Patent RU, no. 2030194, publ. 10.03.95.
56. Snegiryev A. Yu., Sazhin S. S., Talalov V. A., Savin M. V. Aprobatsiya modeli teploobmena i ispare-niya kapel dispergirovannoy zhidkosti [Approbation of heat exchange and evaporation of dispersed liquid droplets]. *Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekh-nicheskogo universiteta. Fiziko-matematicheskiye nauki — St. Petersburg State Polytechnical Univer-sity Journal. Physics and Mathematics series*, 2011, vol. 2, no. 122, pp. 48–59.

57. Volkov R. S., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Chislennaya otsenka optimalnykh razmerov kapel vody v usloviyakh yeye raspyleniya sredstvami pozharotusheniya v pomeshcheniyakh [Numerical estimation of optimum sizes for water drops at the conditions of its dispersion by firefighting devices at place-ments]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 5, pp. 74–78.
58. Strizhak P. A. Chislennoye issledovaniye usloviy ispareniya sovokupnosti kapel vody pri dvizhenii v vysokotemperaturnoy gazovoy srede [Numerical investigation of evaporation conditions for set of water drops at the moving after high temperature gas mixture]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 8, pp. 26–31.
59. Andreev G. G., Glushkov D. O., Panin V. F., Strizhak P. A. Teplomassoperenos pri vzaimodeystvii dispergirovannogo flegmatizatora goreniya s vysokotemperaturnymi produktami sgoraniya [Heat and mass transfer in the interaction of the dispersed burning phlegmatizer with high-temperature combustion products]. *Butlerovskiyе soobshcheniya — Butlerov Communications*, 2012, no. 8, pp. 86–94.
60. Strizhak P. A. Chislennyy analiz protsessa ispareniya kapli, dvizhushcheyasya v struye vody cherez vysokotemperaturnyye produkty sgoraniya [The numerical analysis of the droplet evaporation process moving in the fire jet through the high-temperature combustion products]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 9, pp. 17–22.
61. Volkov R. S., Vysokomornaya O. V., Strizhak P. A. Chislennoye issledovaniye usloviy vzaimodeystviya dispergirovannogo flegmatizatora goreniya s vysokotemperaturnymi produktami sgoraniya [Numerical investigation of the cooperation conditions between the dispersed combustion phlegmatizer and the high-temperature combustion products]. *Bezopasnost truda v promyshlennosti — Safety of Work in the Industry*, 2012, no. 10, pp. 74–79.
62. Glushkov D. O., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Chislennoye issledovaniye teplomassoperenosa pri dvizhenii “tandema” kapel vody v vysokotemperaturnoy gazovoy srede [Numerical research of heat and mass transfer when moving of “tandem” of water droplets in the high-temperature gas area]. *Teplovyye protsessy v tekhnike — Thermal Processes in Equipment*, 2012, no. 12, pp. 531–538.
63. Vysokomornaya O. V., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Heat and mass transfer in the process of movement of water drops in a high-temperature gas medium. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 2013, vol. 86, no. 1, pp. 62–68.
64. Zhdanova A. O., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Vliyaniye raspredeleniya kapel vody v “vodyanom snaryade” na temperaturu v yego slede [Influence of water droplets distribution in the “water shell” on temperature in follow movement]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 2, pp. 9–17.
65. Vysokomornaya O. V., Markov A. O., Nazarov M. N., Strizhak P. A., Yanov S. R. Chislennoye issledovaniye vliyaniya usloviy raspyleniya vody na temperaturu v slede “vodyanogo snaryada” [Numerical research of waterspray conditions influence on temperature in the trace of “water shell”]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta — Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2013, vol. 322, no. 4, pp. 24–31.
66. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Vliyaniye formy kapli vody na rezultaty matematicheskogo modelirovaniya yeye ispareniya pri dvizhenii cherez vysokotemperaturnyye produkty sgoraniya [Influence of a water droplet shape on mathematical modeling results of its evaporation when moving through high-temperature combustion products]. *Teplovyye protsessy v tekhnike — Thermal Processes in Equipment*, 2013, no. 6, pp. 254–261.
67. Strizhak P. A. Influence of droplet distribution in a “water slug” on the temperature and concentration of combustion products in its wake. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 2013, vol. 86, no. 4, pp. 895–904.
68. Strizhak P. A. Chislennyy analiz diffuzionno-konvektivnykh protsessov teplomassoperenosa pri dvizhenii kapel vody cherez vysokotemperaturnyye produkty sgoraniya [Numerical analysis of diffusion and convection heat and mass transfer processes at the moving of water drops through high combustion products]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 7, pp. 11–21.
69. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Otsenka effektivnosti ispolzovaniya teploty ispareniya vody pri tushenii lesnykh pozharov [Evaluation of efficiency using water evaporation heat at the forest fire quenching]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 9, pp. 57–63.
70. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Vliyaniye struktury raspyslennoy vody na temperaturu i kontsentratsiyu produktov goreniya [Influence of water spray structure on the temperature and concentration of combustion products]. *Pozharnaya bezopasnost — Fire Safety*, 2013, no. 4, pp. 47–53.

71. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Numerical investigation of the influence of convection in a mixture of combustion products on the integral characteristics of the evaporation of a finely atomized water drop. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 2014, vol. 87, no. 1, pp. 103–111.
72. Zhdanova A. O., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Effektivnost ispolzovaniya teploty paroobrazovaniya pri vozdeystvii “vodyanym snaryadom” na plamya [Efficiency of evaporation heat using at the fire fighting by typical “water shell”]. *Problemy bezopasnosti i chrezvychaynykh situatsiy — Problems of Safety and Emergency Situations*, 2013, no. 6, pp. 82–91.
73. Zhdanova A. O., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Rol dispersnosti vody, sbrasyvayemoy aviatsiyey v zonu goreniya lesnykh massivov [Role of water dispersibility dropping by aircraft in the combustion area of forest massifs]. *Bezopasnost truda v promyshlennosti — Safety of Work in the Industry*, 2014, no. 1, pp. 43–49.
74. Zhdanova A. O., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Vliyaniye temperatury v slede “vodyanogo snaryada” na usloviya termicheskogo razlozheniya tipichnogo lesnogo goryuchego materiala [Influence of temperature in a trace of “a water shell” on the thermal decomposition conditions of typical forest fuel material]. *Problemy bezopasnosti i chrezvychaynykh situatsiy — Problems of Safety and Emergency Situations*, 2014, no. 1, pp. 48–55.
75. Glushkov D. O., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Numerical investigation of water droplets shape influence on mathematical modeling results of its evaporation in motion through a high-temperature gas. *Mathematical Problems in Engineering*, 2014, Article ID 920480. 8 p.
76. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. The motion of a manifold of finely dispersed liquid droplets in the counterflow of high temperature gases. *Technical Physics Letters*, 2014, vol. 40, no. 6, pp. 499–502.
77. Vysokomornaya O. V., Zakharevich A. V., Strizhak P. A. Eksperimentalnaya otsenka izmeneniya razmerov i skorostey dvizheniya kapel vody pri ikh peremeshchenii v oblasti vysokotemperaturnykh produktov sgoraniya [Experimental estimation change of the sizes and motion velocities of water droplets when moving in the area of high-temperature combustion products]. *Teplovyye protsessy v tekhnike — Thermal Processes in Equipment*, 2014, vol. 6, no. 5, pp. 214–220.
78. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Evaporation of single droplets and dispersed liquid flow in motion through high temperature combustion products. *High Temperature*, 2014, vol. 52, no. 4, pp. 568–575.
79. Volkov R. S., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Analiz vliyaniya nachalnoy temperatury raspylennoy vody na integralnyye kharakteristiki yeye ispareniya pri dvizhenii cherez zonu “goryachikh” gazov [Analysis of the effect exerted by the initial temperature of atomized water on the integral characteristics of its evaporation during motion through the zone of “hot” gases]. *Inzhenerno-fizicheskiy zhurnal — Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 2014, vol. 87, no. 2, pp. 450–458.
80. Volkov R. S., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Eksperimentalnoye issledovaniye vliyaniya nachalnoy temperatury raspylennoy vody na intensivnost yeye ispareniya pri dvizhenii cherez plamya [Experimental investigation of initial temperature for sprayed water influence on the evaporation intensity at the moving through flame]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, no. 3, pp. 12–21.
81. Volkov R. S., Vysokomornaya O. V., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Eksperimentalnoye issledovaniye zakonornostey ispareniya tonkoraspylennoy vody pri dvizhenii cherez vysokotemperaturnyye produkty sgoraniya [Experimental research of evaporation regularities for pulverized water moving through high-temperature combustion products]. *Butlerovskiyee soobshcheniya — Butlerov Communications*, 2013, vol. 35, no. 9, pp. 38–46.
82. Volkov R. S., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Osobennosti ispareniya dvukh kapel vody, dvizhushchikhsya posledovatelno cherez vysokotemperaturnyye produkty sgoraniya [Evaporation features of two water droplets when moving in tandem through high-temperature combustion products]. *Teplofizika i aeromekhanika — Thermophysics and Aeromechanics*, 2014, vol. 21, no. 2, pp. 269–272.
83. Volkov R. S., Zabelin M. V., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Vliyaniye nachalnoy skorosti dvizheniya kapel raspylennoy zhidkosti na intensivnost ikh ispareniya v oblasti vysokotemperaturnykh produktov sgoraniya [Influence of initial velocity of the movement of the mist spray droplets on intensity of its evaporation in the area of high-temperature combustion products]. *Bezopasnost truda v promyshlennosti — Safety of Work in the Industry*, 2014, no. 3, pp. 35–40.
84. Volkov R. S., Zabelin M. V., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Vliyaniye razmerov i skorostey vvoda kapel vody v zonu goreniya na effektivnost yeye ispolzovaniya pri tushenii pozharov v pomeshcheniyakh [Influence of the sizes and velocities of input of water droplets in a combustion area on efficiency of its use at suppression of the compartment fires]. *Teplovyye protsessy v tekhnike — Thermal Processes in Equipment*, 2014, vol. 23, no. 4, pp. 157–163.

85. Volkov R. S., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Eksperimentalnoye issledovaniye polnoty ispareniya raspynennoy vody pri yeye dvizhenii cherez plamya [Experimental investigation of evaporation integrity for sprayed water at moving through flame] *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 10, pp. 15–24.
86. Volkov R. S., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. O nekotorykh fizicheskikh zakonomernostyakh ispareniya raspynennoy vody pri dvizhenii cherez vysokotemperaturnyye produkty sgoraniya [About some physical regularities of the atomized water evaporation when moving through high-temperature combustion products]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta — Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2013, vol. 323, no. 2, pp. 201–207.
87. Volkov R. S., Zhdanova A. O., Strizhak P. A. Eksperimentalnoye issledovaniye integralnykh kharakteristik ispareniya tipichnykh raspynennykh tushashchikh zhidkostey pri ikh dvizhenii cherez plamya [Experimental investigation of integral evaporation characteristics of the typical sprayed extinguishing liquids at its movement through a flame]. *Bezopasnost truda v promyshlennosti — Safety of Work in the Industry*, 2013, no 12, pp. 33–37.
88. Volkov R. S., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Vliyaniye nachalnykh parametrov raspynennoy vody na kharakteristiki yeye dvizheniya cherez vstrechnyy potok vysokotemperaturnykh gazov [Influence of the initial parameters of spray water on the characteristics of its motion through a counter flow of high-temperature gases]. *Zhurnal tekhnicheskoy fiziki — Technical Physics*, 2014, vol. 84, no. 7, pp. 15–23.
89. Volkov R. S., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Eksperimentalnoye issledovaniye integralnykh kharakteristik ispareniya presnoy i solenoy vody pri dvizhenii cherez plamya [Experimental investigation of integrated evaporation characteristics for fresh and salty water at moving through the flame]. *Pozhary i chrezvychaynyye situatsii: predotvrashcheniye, likvidatsiya — Fire and Emergencies: Prevention, Elimination*, 2014, no. 2, pp. 18–23.
90. Volkov R. S., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Eksperimentalnoye issledovaniye vliyaniya nachalnoy temperatury vody i sodержaniya v ney primesey soley na intensivnost ispareniya v zone plameni pri podache v vide krupnykh monolitnykh kapel i tonkoraspynennoy strui [Experimental investigation into influence of initial water temperature and salt mixture on the evaporation intensity in a flame zone during discharge of large monolithic drops and water spray]. *Pozharnaya bezopasnost — Fire Safety*, 2014, no. 2, pp. 93–98.
91. Volkov R. S., Zabelin M. V., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Vliyaniye tverdykh vklyucheniy v kaplyakh zhidkosti na intensivnost paroobrazovaniya v zone plameni [Influence of solid inclusions in liquid drops on evaporation intensity in the flame]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 5, pp. 10–17.

Д. А. КОРОЛЬЧЕНКО, канд. техн. наук, заведующий кафедрой комплексной безопасности в строительстве Московского государственного строительного университета (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: ICA_kbs@mgsu.ru)

А. Ф. ШАРОВАРНИКОВ, д-р техн. наук, профессор кафедры комплексной безопасности в строительстве Московского государственного строительного университета (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: ICA_kbs@mgsu.ru)

УДК 614.842.615

ТУШЕНИЕ ПЛАМЕНИ ГИДРОФОБНЫХ МАТЕРИАЛОВ ВОДНЫМИ РАСТВОРАМИ СМАЧИВАТЕЛЕЙ

Показано, что важнейшим условием эффективного тушения водой является способность водного раствора смачивать и растекаться по поверхности горящего изделия. Введение в водный раствор поверхностно-активных веществ — смачивателей делает его гидрофобным и повышает тем самым его смачивающую способность. Приведены параметры смачивания гидрофобной ткани водными растворами лаурилсульфата натрия. Сделаны предположения о зависимости средней толщины смачивающего слоя на твердой поверхности от интенсивности подачи воды. Выявлены характерные точки на кривых зависимости капиллярного давления от концентрации, такие как концентрация инверсии смачивания и максимальные значения капиллярного давления гидрофобной ткани.

Ключевые слова: смачиватель; гидрофобный материал; смачивающая способность растворов; концентрация инверсии смачивания; оптимальный режим тушения.

Тушение пожаров гидрофобных материалов, таких как изделия из резины, полимерные материалы, тюки хлопка, необработанные ткани, хранящиеся на складах, требуют повышенного расхода воды на тушение и последующую пропитку и увлажнение дисперсных изделий [1]. Вода подается на горящее изделие в виде струй грубого распыла, поскольку необходимо не только потушить пламя, но и охладить раскаленную поверхность твердого материала [2].

Важнейшим условием эффективного тушения водой является способность водного раствора смачивать и растекаться по поверхности горящего изделия [3]. Для повышения смачивающего действия водных растворов в их состав добавляют смачиватели — поверхностно-активные вещества (ПАВ) различной природы [4].

Выбор веществ, добавки которых позволяют обеспечить способность водного раствора смачивать гидрофобные материалы, базируется на определении поверхностной активности водных растворов на границе с воздухом и гидрофобным материалом. Поскольку измерение поверхностного натяжения твердой поверхности на границе с водным раствором очень сложно, в качестве гидрофобного материала используют гептан — жидкость с низким поверхностным натяжением [5].

Показателем смачивающего действия водного раствора является величина краевого угла смачивания ϕ (град) раствором твердой поверхности [6]. Чем меньше угол смачивания, тем больше площадь,

занимаемая каплей воды и тем тоньше ее слой на твердой поверхности [7].

Вода без добавок будет стекать на землю в виде ручейков, практически не участвуя в процессе тушения и не препятствуя распространению пламени. В силу этого поверхность будет оставаться практически сухой, несмотря на то что по ней протекала вода.

Если горячая поверхность материала сплошная, непористая, например как у резины или синтетических материалов, то при краевом угле смачивания, близком к нулю, капля жидкости будет растекаться по ней, образуя слой некоторой минимальной толщины.

Величина краевого угла смачивания определяется природой поверхности и составом водного раствора. Вода без добавок не смачивает поверхность “гидрофобных” материалов, таких как резина, хлопок, торф и уголь, зато хорошо смачивает хлопчатобумажную ткань, бумагу и дерево.

При введении в водные растворы ПАВ они концентрируются на границе раздела *вода — твердое тело*, делая природу поверхностного слоя воды гидрофобной. Это обусловлено тем, что молекулы ПАВ, выстраиваясь на поверхности частокотлом, образуют плотный мономолекулярный слой, в котором молекулы ориентированы гидрофобными конусами к твердой поверхности. В результате такая жидкость будет хорошо смачивать “родственную” теперь ей твердую поверхность [8].

Таблица 1. Параметры смачивания гидрофобной ткани разной толщины водными растворами ЛСН

Параметр	Значение параметра для слоя глубиной l , мм						
	1,0	2,0	3,0	4,0	6,0	7,0	8,0
Время смачивания τ , с	4	8	12	16	40	52	76
Скорость смачивания U_s , мм/мин	15,0	15,0	15,0	15,0	9,0	7,8	6,0
$\sqrt{\tau}$, с ^{1/2}	2,0	2,8	3,5	4,0	6,3	7,2	8,7

При попадании жидкости на пористую поверхность (например, ткани) процессу растекания будет предшествовать капиллярная пропитка материала водой. Для таких горючих материалов, как торф или хлопок, растекание в чистом виде проявится только на завершающей стадии тушения, поэтому определяющим в данном случае будет капиллярное смачивание.

Условием капиллярного смачивания, так же как и растекания, является значение краевого угла смачивания менее 90° . Только в этом случае появится движущая сила смачивания — капиллярное давление, и жидкость под действием атмосферного давления будет впитываться в поры твердого материала, причем усилие будет тем выше, чем меньше размер пор. Добавление в раствор молекул ПАВ-смачивателей резко уменьшает краевой угол смачивания ϕ жидкостью твердой поверхности, поэтому мениск внутри капилляра формируется вогнутым в сторону канала, свободного от раствора [9, 10].

Скорость растекания капли при условии, что $\phi \leq 90^\circ$, определяется величиной коэффициента растекания f_σ , который рассчитывается по формуле

$$f_\sigma = \sigma_\tau - (\sigma_{\tau\kappa} + \sigma_{\kappa\sigma} \cos \phi),$$

где σ_τ , $\sigma_{\tau\kappa}$ — поверхностное и межфазное натяжение твердого тела, мН/м;

$\sigma_{\kappa\sigma}$ — поверхностное натяжение на границе *раствор – воздух*, мН/м.

Смачивающую способность растворов проверяют по методике, описанной в ГОСТ Р 50588–2012. Она определяется временем, в течение которого происходит протекание раствора через гидрофобную ткань. Для увеличения толщины слоя материала в устройство поочередно устанавливают различное число кружков ткани, укладывая их вплотную в прижимное устройство. Параметры смачивания гидрофобной ткани водными растворами лаурилсульфата натрия (ЛСН) представлены в табл. 1.

При контакте твердой поверхности с водным раствором на границе раздела фаз формируется угол смачивания, от величины которого зависит капиллярное давление ΔP (Па), определяемое по формуле Лапласа

$$\Delta P = 2\sigma_{\kappa\sigma} \cos \phi / r, \quad (1)$$

где r — средний радиус капилляров, мм.

В зависимости от величины угла смачивания в капиллярах формируется вогнутый или выпуклый мениск жидкости. Под вогнутым мениском жидкости в порах гидрофобной ткани давление ниже атмосферного, поэтому под действием капиллярного давления раствор перемещается в толщу пористой системы. С учетом формулы Лапласа глубина смачивания l (м) будет определяться по формуле

$$l = \left(\frac{\sigma R \cos \phi}{2\eta} \right)^{1/2} \tau^{1/2}, \quad (2)$$

где R — радиус кривизны мениска, м;

η — коэффициент вязкости, Па·с;

τ — время смачивания, с.

Скорость смачивания найдем, преобразовав формулу (2):

$$U_s = A / \tau^{1/2}, \quad (3)$$

где

$$A = \left(\frac{\sigma R \cos \phi}{\eta} \right)^{1/2}. \quad (4)$$

Из формулы (3) следует, что скорость смачивания будет снижаться со временем или с глубиной пропитки:

$$U_s = \frac{1}{l} \frac{\sigma R \cos \phi}{2\eta}. \quad (5)$$

Зависимость параметров смачивания гидрофобной ткани водными растворами ЛСН от их концентрации показана в табл. 2.

Вода практически не смачивает поверхность торфа, хлопка, угля и резинотехнических изделий. Соответственно, краевой угол смачивания водой этих материалов больше 90° , поэтому самопроизвольное смачивание и пропитка таких материалов, называемых гидрофобными, невозможны [11]. Если в качестве модели гидрофобного высокодисперсного ма-

Таблица 2. Скорость и время смачивания гидрофобной ткани водными растворами ЛСН различной концентрации

Параметр	Значение параметра при концентрации раствора ЛСН, % масс.				
	0,065	0,070	0,075	0,150	0,300
Время смачивания τ , с	200	100	51	10	4
Скорость смачивания U_s , мм/мин	0,3	0,6	1,2	6,0	21,5

териала взять необработанную хлопковую ткань — саржу, то можно рассмотреть количественную картину влияния добавок смачивателей — ПАВ на характер взаимодействия раствора с гидрофобной поверхностью.

Без добавок смачивателей капля или слой раствора будет находиться на поверхности ткани, практически ее не смачивая. На модели пористой системы (рис. 1) показаны условия, при которых капля воды смачивает (фрагмент А) и не смачивает (фрагмент В) капилляры пористой гидрофобной ткани. Как видно из рис. 1, по мере увеличения концентрации ПАВ форма капли будет меняться, а угол смачивания будет постепенно уменьшаться от 180° до 90° и менее.

При уменьшении угла смачивания до 90° и менее происходит качественное изменение состояния капли: она постепенно начинает растекаться по поверхности ткани и одновременно впитываться, проникая в ее поры. При низкой концентрации ПАВ время прохождения раствором слоя ткани толщиной 0,5 мм составляет 100...300 с, т. е. скорость пропитки очень мала — примерно 0,0002 мм/с (0,2 мкм/с).

При больших концентрациях смачивателя угол смачивания достигает 10° ... 15° , при этом скорость смачивания возрастает на 2...3 порядка, достигая 0,02...0,05 мм/с.

Постепенное увеличение содержания ПАВ в растворе ведет к изменению характера смачивания, а именно к инверсии смачивания. При этом если концентрация ПАВ меньше концентрации инверсии смачивания (КИС), раствор выталкивается из пор гидрофобной ткани, а если больше КИС, жидкость самопроизвольно, под действием капиллярного давления, затекает в капилляры пористой системы. Таким образом, величина КИС является минимальной концентрацией смачивателя, при которой еще происходит смачивание ткани, но с очень низкой скоростью.

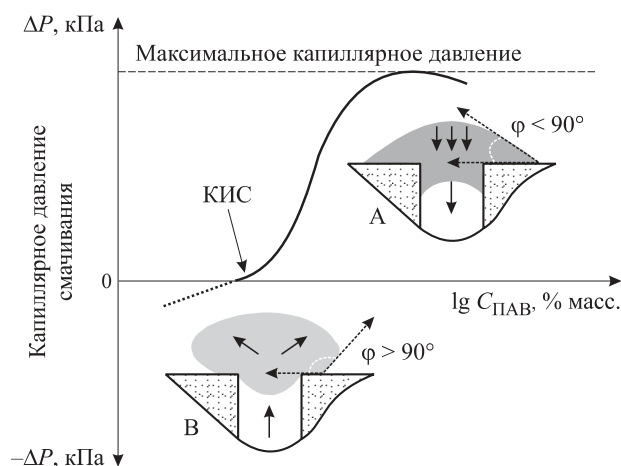


Рис. 1. Влияние концентрации ПАВ $C_{\text{ПАВ}}$ на характер смачивания гидрофобной поверхности водными растворами: А — смачивание есть; В — смачивание отсутствует

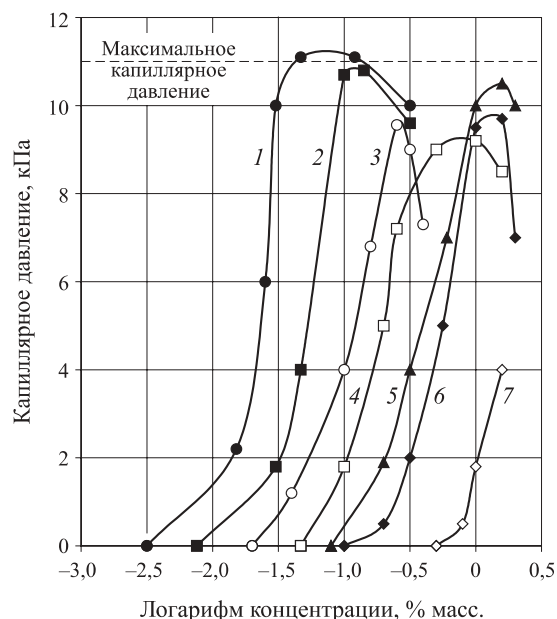


Рис. 2. Зависимость капиллярного давления смачивания водных растворов от содержания добавок ПАВ различной природы: 1 — нонилфенол $C_9H_{19}C_6H_4O(C_2H_4O)_7OH$; 2 — нонилфенол $C_9H_{19}C_6H_4O(C_2H_4O)_{10}OH$; 3 — ЛСН; 4 — катионное фторированное ПАВ с тримерным радикалом (тример); 5 — вторичные алкилсульфаты натрия (ВАСН) C_8-C_{12} ; 6 — катионное углеводородное ПАВ цетилапиридиний хлорид (ЦПХ); 7 — изонилфенол $C_6H_{13}(C_3H_7)C_6H_4O(C_2H_4O)_7OH$

Характерная зависимость капиллярного давления смачивания водного раствора от содержания ПАВ приведена на рис. 2.

Капиллярное давление смачивания гидрофобной ткани определяли на экспериментальной установке (рис. 3), схема которой принципиально не отличается от установки, использованной для определения капиллярного давления в пене различной кратности [3].

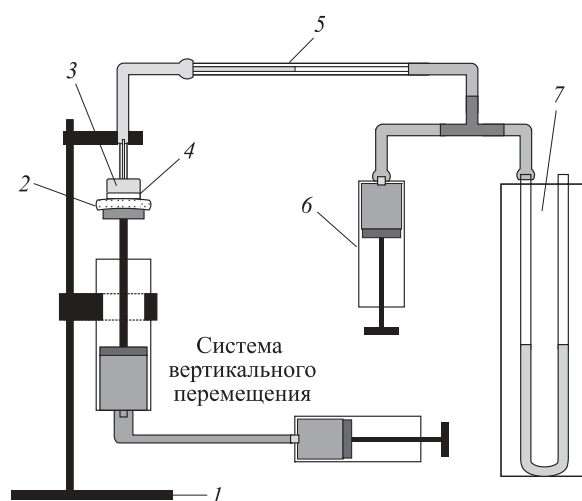


Рис. 3. Схема установки для измерения капиллярного давления смачивания гидрофобной ткани водными растворами смачивателей: 1 — держатель; 2 — гидрофобный материал; 3 — испытуемый раствор; 4 — ячейка с пористым фильтром; 5 — измерительный капилляр; 6 — измерительный шприц; 7 — манометр водяной

Для приведения в соприкосновение гидрофобной ткани с измерительным датчиком вертикально перемещали плунжер шприца, соединенного с аналогичным шприцем, с помощью которого регулируется положение ткани.

При соприкосновении пористого датчика с гидрофобной тканью раствор из датчика через пористый фильтр вытягивается капиллярами ткани. Чем меньше краевой угол смачивания, тем большее давление развивается в капиллярах ткани. Сообщающаяся с датчиком линия раствора, установленная до испытаний в определенную позицию в измерительном стеклянном капилляре, начинает перемещаться в сторону датчика. Экспериментатор, перемещая плунжер в измерительном шприце, возвращает положение жидкости в капилляре в исходное положение, создавая в водном растворе небольшое разрежение. Водяной манометр при этом показывает капиллярное давление, которое соответствует заданной концентрации смачивателя.

Участок экспериментальной кривой зависимости капиллярного давления от концентрации смачивателя получен путем компенсации внешним давлением капиллярного давления смачивания раствора в порах ткани.

Результаты экспериментальных измерений, представленных на рис. 2, показывают, что наилучшей смачивающей способностью обладают оксиэтилированные нонилфенолы с числом оксигрупп 7–10. Все кривые имеют характерную S-образную форму, начиная с определенной концентрации, которая обусловлена смачивающей способностью молекул ПАВ по отношению к гидрофобной поверхности. На первом участке по мере увеличения концентрации ПАВ в водном растворе капиллярное давление сначала медленно, а затем быстро повышается, достигая максимального значения — 10–12 кПа. Дальнейшее увеличение концентрации ПАВ во всех исследованных системах ведет к резкому снижению капиллярного давления. Полученные результаты могут быть объяснены с использованием формулы Лапласа (1). В соответствии с этой формулой такая зависимость экспериментальных кривых обусловлена изменением краевого угла смачивания от 90° в начале кривой, где $\cos\varphi = 0$, до 0° в области, где капиллярное давление достигает максимума, а $\cos\varphi = 1$. Различие в величинах максимального капиллярного давления, наблюдаемое при использовании различных растворов, может быть обусловлено в соответствии с формулой Лапласа различным поверхностным натяжением водных растворов.

В табл. 3 приведены результаты расчета смачивающей способности и критических концентраций мицеллообразования (ККМ), которые определяли по изомерам поверхностного натяжения. Вещества в

Таблица 3. Смачивающая способность гидрофобной ткани растворами ПАВ

ПАВ	ККМ, % масс.	КИС		ω , моль ⁻¹	$C_{кр}/ККМ$
		% масс.	моль/л		
ПОЭ	0,012	0,046	0,66	118,0	3,80
ЛСН	0,230	0,125	4,30	18,0	0,54
ВАСН	0,400	0,186	0,20	7,7	0,47
ЦПХ	0,050	0,250	7,30	2,0	5,00

табл. 3 расположены в порядке убывания смачивающей способности. Как видно из табл. 3, наилучшей смачивающей способностью обладают полиоксэтилированные алкилфенолы (ПОЭ), а катионные соединения (цетилпиридинийхлорид) имеют самую высокую концентрацию инверсии смачивания и наихудшую смачивающую способность ω . Одновременно со снижением смачивающей способности ω уменьшается и концентрация инверсии смачивания ткани.

Сопоставление числовых значений критической концентрации ПАВ $C_{кр}$ и ККМ показывает, что растворы ЛСН и ВАСН начинают смачивать ткань при концентрациях, которые наполовину меньше критической концентрации мицеллообразования, т. е. пропитка обеспечивается молекулярной адсорбцией. Для ПОЭ и ЦПХ смачивание наблюдается при концентрации в 4...5 раз выше ККМ и реализуется за счет адсорбции мицеллярных комплексов ПАВ. Несмотря на одинаковый “мицеллярный механизм” смачивания, ПОЭ обладают резко выраженной смачивающей способностью ($\omega = 118$ моль⁻¹) в отличие от ЦПХ ($\omega = 2,0$ моль⁻¹).

По абсолютному значению КИС можно определить оптимальное содержание ПАВ в растворе смачивателя, используемого для пропитки горючих высокодисперсных систем (например, торфа, хлопка и тканых материалов). Впитывание раствора в капилляры дисперсной системы будет продолжаться до тех пор, пока содержание ПАВ обеспечивает угол смачивания жидкости $\varphi < 90^\circ$, что реализуется при условии $C_{ПАВ} > C_{кр}$. Чем выше дисперсность материала, тем больше его удельная площадь поверхности. По мере пропитки раствор теряет молекулы ПАВ, которые адсорбируются на поверхности гидрофобной ткани, способствуя ее смачиванию и протеканию воды вглубь ткани. Чем большую площадь поверхности предстоит смочить, тем выше должна быть исходная концентрация смачивателя.

Для проведения огневых испытаний по тушению гидрофобных материалов использовали струи воды грубого распыла со средним размером капель около 100 мкм. Капли такого размера практически не испаряются в зоне горения и взаимодействуют

непосредственно с горящей поверхностью твердого материала [12]. В этой ситуации очень важна роль смачивателя в обеспечении длительного контакта водного раствора с раскаленной поверхностью, что способствует отъему тепла с нее за счет испарения капель.

При описании модели процесса тушения твердых горючих материалов (ТГМ) водой грубого распыла приняты следующие исходные положения:

- растекание капли по поверхности ТГМ происходит под действием силы поверхностного натяжения, т. е. масса капли невелика, ее диаметр составляет порядка 1,5 мм;
- основная часть капель воды испаряется при непосредственном контакте с поверхностью ТГМ;
- условием тушения является образование на всей горящей поверхности ТГМ слоя воды с минимальной толщиной h_0 (м);
- средняя толщина водного слоя на поверхности ТГМ к моменту тушения зависит от интенсивности подачи воды.

Степень покрытия водой горящей поверхности ТГМ θ представлена формулой

$$\theta = S/S_0, \quad (6)$$

где S_0 , S — площадь исходной поверхности горения и поверхности, покрытой слоем воды, м^2 .

Тушение достигается при условиях: $\theta = 1$ и $\tau = \tau_t$ (где τ_t — время тушения, с).

Уравнение материального баланса воды, поданной на тушение:

$$\underbrace{q \Delta \tau}_{\text{[поступление воды]}} = \underbrace{\theta S_0 U \Delta \tau}_{\text{[испарение]}} + \underbrace{\rho \bar{h}_0 S_0 \Delta \theta}_{\text{[накопление]}} \quad (7)$$

где q — расход воды на тушение, кг/с ;

U — интенсивность испарения воды, $\text{кг}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$;

$\bar{h}_0$ — исходная (начальная) высота слоя, м;

ρ — плотность воды, кг/м^3 .

Разделим переменные и проведем интегрирование в пределах: $\theta = 0$, $\tau = 0$; $\theta = 1$, $\tau = \tau_t$:

$$\tau_t = -\frac{\rho \bar{h}}{U} \ln \left(1 - \frac{S_0 U}{q} \right), \quad (8)$$

где $\bar{h}$ — средняя толщина слоя, м.

Для определения параметров оптимального режима процесса тушения аналогично приемам, использованным в работах [12, 13], сделано предположение о зависимости средней толщины смачивающего слоя на твердой поверхности от интенсивности подачи воды. Средняя толщина слоя воды определяется следующими условиями:

$$\bar{h} = \frac{h_q + h_0}{2} = \frac{h_q}{2}; \quad h_q > h_0, \quad (9)$$

где h_q — толщина смачивающей пленки, зависящей от расхода воды q .

Для установившегося режима течения воды через сечение капли S_δ скорость течения U_Π (м/с) определяется как

$$U_\Pi = q/S_\delta = q/(h_q L_\kappa),$$

откуда

$$h_q = q/(U_\Pi L_\kappa), \quad (10)$$

где L_κ — периметр линии растекания, м.

Из анализа растекания жидкости под действием сил поверхностного натяжения (рис. 5), проведенного на базе уравнения Навье–Стокса, получено соотношение

$$U_\Pi = 4\Delta\sigma/(\pi\chi\eta L_\kappa), \quad (11)$$

где χ — коэффициент радиального растекания.

Решив совместно формулы (10) и (11) относительно h_q , получим:

$$h_q = q^{1/2} \left(\frac{\pi\chi\eta}{4\Delta\sigma} \right)^{1/2}. \quad (12)$$

Введем параметр интенсивности, который равен: $J = q/S_0$, а $U_\Pi = J_{\text{кр}}$. Подставив выражение для $\bar{h}$ через h_q в формулу (12), получим:

$$\tau_t = \left(\frac{\pi\chi\eta}{4\Delta\sigma} \right)^{1/2} \frac{\rho}{U_\Pi} q^{1/2} \ln \left(1 - \frac{J_{\text{кр}}}{J} \right), \quad (13)$$

где J , $J_{\text{кр}}$ — интенсивность и критическая интенсивность подачи воды, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$.

Проведенный анализ процесса тушения гидрофобных горючих материалов показывает влияние на время тушения величины поверхностного натяже-

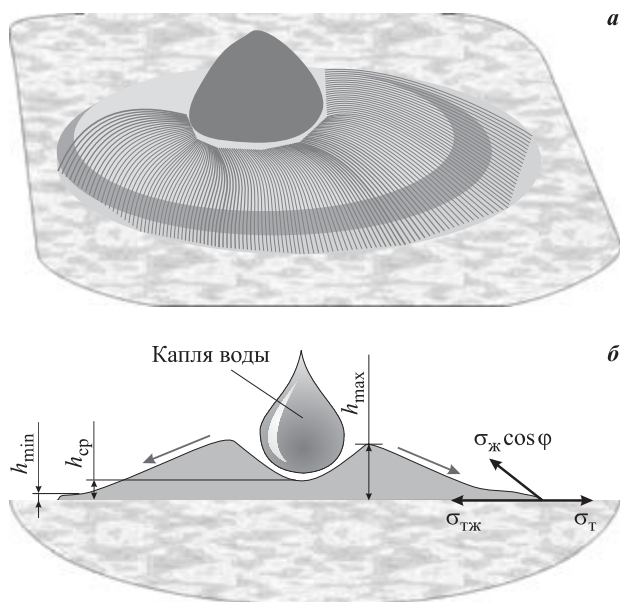


Рис. 5. Общий вид формирования слоя воды в режиме смачивания гидрофобной поверхности каплями водного раствора (а) и схема направления сил, приложенных к периметру смачивания (б)

ния. В экспериментальных исследованиях поверхностной активности вместо гидрофобного материала использовали типично гидрофобную органическую жидкость — гептан, а в качестве добавок ПАВ — вещества с различным коэффициентом растекания водных растворов по гептану.

Для огневых испытаний за основу была принята методика [14, 15], разработанная для определения интенсивности подачи огнетушащего вещества применительно к автоматическим установкам пожаротушения. Для проведения опытов была выбрана загрузка в виде резиновых трубок длиной 140 мм, с наружным диаметром 15 мм и внутренним 6 мм. Из трубок выкладывался штабель размером 140×140×120 мм с количеством рядов по горизонтали 4, по вертикали — 8. Зажигание резины осуществлялось гептаном объемом 20 см³, налитым в площадку, которую помещали под штабелем. Результаты испытаний по определению скорости выгорания штабеля резины показали, что время свободного горения его до подачи огнетушащего вещества (штабель весь охвачен пламенем, скорость выгорания максимальна) принята равным 240 с.

Для приготовления рабочих растворов ПАВ использовали представители анионного и катионного ряда и питьевую воду. Причем катионное ПАВ имело фторированный радикал, поэтому отличалось высокой поверхностной активностью, а поверхностное натяжение водных растворов составляло около 18 мН/м.

Результаты экспериментальных измерений представлены на рис. 6 в виде кривых зависимости времени тушения и удельного расхода водного раствора, необходимого на тушение пламени, от интенсивности подачи его в виде струи грубого распыла. Как видно из графиков, критическая интенсивность подачи воды при тушении резины заметно снижается. Кроме того, наблюдается снижение и удельного расхода раствора с 24 кг/м² при тушении водой без добавок до 9 кг/м² при введении в нее катионного ПАВ. Этот эффект может быть связан с резким уменьшением краевого угла смачивания при использовании ПАВ.

Проведенные исследования водных растворов с добавками различных ПАВ позволили выявить ха-

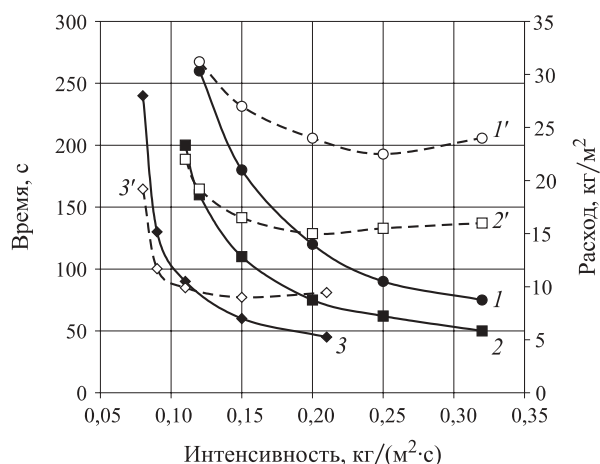


Рис. 6. Зависимость времени тушения штабеля резины (1–3) и удельного расхода воды и водных растворов (1'–3') от интенсивности их подачи: 1, 1' — вода; 2, 2' — анионное ПАВ — ВАСН; 3, 3' — катионное ПАВ — тример

рактерные точки на кривых зависимости капиллярного давления от концентрации, такие как КИС и максимальные значения капиллярного давления гидрофобной ткани.

Тушение твердых гидрофобных горючих материалов водными растворами показало, что добавки смачивателей позволяют снизить критическую интенсивность и удельный расход огнетушащего вещества в три раза.

Для получения объективной картины применения ПАВ в качестве смачивателей необходимо провести сравнительные испытания в широком диапазоне концентраций смачивателей с использованием методики измерения капиллярного давления гидрофобных пористых материалов.

Во многих случаях влияние ПАВ на скорость смачивания оказывается более сложным. Весьма часто значительную роль играют процессы, влияющие на скорость образования адсорбционного слоя на поверхности контакта жидкости с другими фазами, участвующими в процессе смачивания. В свою очередь, скорость формирования адсорбционного слоя зависит от ряда физико-химических факторов, прежде всего от скорости диффузии молекул ПАВ из объема жидкости на ее поверхность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Былинкин В. А. Определение критической интенсивности подачи воды и раствора смачивателя при тушении резины // Пожаротушение : сб. науч. тр. — М. : ВНИИПО, 1986. — С. 68–72.
2. Шрайбер Г., Порст П. Огнетушащие средства. Химико-физические процессы при горении и тушении. — М. : Стройиздат, 1975. — 240 с.
3. Шароварников А. Ф., Шароварников С. А. Пенообразователи и пены для тушения пожаров. Состав, свойства, применение. — М. : Пожнаука, 2005. — 474 с.

4. *Корольченко А. Я., Корольченко Д. А.* Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник: в 2 ч. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Пожнаука, 2004. — Ч. I. — 713 с.
5. *Шароварников А. Ф., Молчанов В. П., Воевода С. С., Шароварников С. А.* Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов. — М. : Изд. дом “Калан”, 2002. — 448 с.
6. *Roudman Anna R., DiGiano Francis A.* Surface energy of experimental and commercial nanofiltration membranes: effects of wetting and natural organic matter fouling // *Journal of Membrane Science*. — 2000. — Vol. 175, Issue 1. — P. 61–73.
7. *Сумм Б. Д.* Гистерезис смачивания // *Соросовский образовательный журнал*. — 1999. — № 7. — С. 98–102.
8. *Шароварников А. Ф., Корольченко Д. А.* Тушение горючих жидкостей распыленной водой // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2013. — Т. 22, № 11. — С. 70–74.
9. *Ширяева С. О., Григорьев О. А.* О капиллярном движении вязкоупругой жидкости с заряженной свободной поверхностью // *ЖТФ*. — 2000. — Т. 70, Вып. 8. — С. 39–45.
10. *De Gennes P. G.* Wetting: Statics and Dynamics // *Reviews of Modern Physics*. — 1985. — Vol. 57, No. 3. — P. 827–863. doi: 10.1103/RevModPhys.57.827.
11. *Елисеев В. И., Луценко В. И.* Статические гистерезисные явления в капиллярах // *Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць ІГТМ НАН України*. — Дніпропетровськ, 2006. — Вип. 66. — С. 157–163.
12. *Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф.* Анализ двойственного механизма тушения пламени // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2014. — Т. 23, № 12. — С. 59–68.
13. *Шароварников А. Ф., Корольченко Д. А.* Влияние дисперсности капель воды на эффективность тушения пожаров горючей жидкости // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2013. — Т. 22, № 12. — С. 69–74.
14. Методика определения интенсивности подачи распыленной воды при тушении пожаров горючих веществ и материалов в помещениях экспресс-методом применительно к спринклерно-дренчерной системе пожаротушения (№ 54-80). — М. : ВНИИПО, 1980. — 16 с.
15. *Росляков В. И., Гришин В. В., Аксенов В. П.* Экспериментальное исследование тушения пламени твердых горючих материалов // *Горение и проблемы тушения пожаров : тезисы VI Всесоюзной научно-практической конференции*. — М. : ВНИИПО, 1979. — С. 234–239.

Материал поступил в редакцию 15 января 2015 г.

English

EXTINGUISHING FLAMES OF HYDROPHOBIC MATERIALS BY WATER SOLUTIONS OF WETTING AGENT

KOROLCHENKO D. A., Candidate of Technical Sciences, Head of Department of Complex Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail address: ICA_kbs@mgsu.ru)

SHAROVARNIKOV A. F., Doctor of Technical Sciences, Professor of Department of Complex Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail address: ICA_kbs@mgsu.ru)

ABSTRACT

It is shown that the key to effective suppression of water is the ability of an aqueous solution to wet and spread over the surface of the burning products. Introduction of the aqueous solution of surfactant — wetting agent is making it hydrophobic and thereby enhances its wetting ability. The parameters of the wetting of the hydrophobic fabric with aqueous solutions of sodium lauryl sulfate are presented. There are made assumptions about the dependence of the average thickness of the wetting layer on a solid surface on the intensity of the water supply. The characteristic points on curves of capillary pressure on the concentration are established, such as the concentration of inversion of wetting and maximum capillary pressure hydrophobic fabric.

Keywords: wetting agent; hydrophobic material; wetting ability of solutions; concentration inversion wetting; optimal mode extinguishing.

REFERENCES

1. Bylinkin V. A. Opredeleniye kriticheskoy intensivnosti podachi vody i rastvora smachivatelya pri tushenii reziny [Determination of the critical feed rate of the wetting agent solution and the water in extinguishing rubber]. *Pozharotusheniye: sb. nauch. tr.* [Fire extinguishing. Collected scientific papers]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 1986, pp. 68–72.
2. Shrayber G., Porst P. *Ognetushashchiye sredstva. Khimiko-fizicheskiye protsessy pri gorenii i tushenii* [Extinguishing media. Chemical-physical processes in combustion and extinguishing]. Moscow, Stroyizdat, 1975. 240 p.
3. Sharovarnikov A. F., Sharovarnikov S. A. *Penoobrazovateli i peny dlya tusheniya pozharov. Sostav, svoystva, primeneniye* [Foam concentrates and fire extinguishing foams. Structure, properties, application]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2005. 474 p.
4. Korolchenko A. Ya., Korolchenko D. A. *Pozharovzryvoopasnost veshchestv i materialov i sredstva ikh tusheniya: spravochnik. 2-e izd.* [Fire and explosion hazard of substances and materials and their means of fighting. Reference. 2nd ed.]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2004. Part I, 713 p.
5. Sharovarnikov A. F., Molchanov V. P., Voevoda S. S., Sharovarnikov S. A. *Tusheniye pozharov nefi i nefteproduktov* [Fire extinguishing of oil and oil products]. Moscow, Kalan Publ., 2002. 448 p.
6. Roudman Anna R., DiGiano Francis A. Surface energy of experimental and commercial nanofiltration membranes: effects of wetting and natural organic matter fouling. *Journal of Membrane Science*, 2000, vol. 175, issue 1, pp. 61–73.
7. Summ B. D. Gisterezis smachivaniya [Wetting hysteresis]. *Sorosovskiy obrazovatelnyy zhurnal — Soros Educational Journal*, 1999, no. 7, pp. 98–102.
8. Sharovarnikov A. F., Korolchenko D. A. Tusheniye goryuchikh zhidkostey raspyslennoy vodoy [Extinguishing of combustible liquid by atomized water]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 11, pp. 70–74.
9. Shiryayeva S. O., Grigoryev O. A O kapillyarnom dvizhenii vyazkouprugoy zhidkosti s zaryazhennoy svobodnoy poverkhnostyu [About capillary movement of viscoelastic fluid with free surface of a charged]. *Zhurnal tekhnicheskoy fiziki — Technical Physics*, 2000, vol. 70, issue 8, pp. 39–45.
10. De Gennes P. G. Wetting: Statics and Dynamics. *Reviews of Modern Physics*, 1985, vol. 57, no. 3, pp. 827–863. doi: 10.1103/RevModPhys.57.827.
11. Yeliseev V. I., Lutsenko V. I. Statischekiye gisterezisnyye yavleniya v kapillyarakh [Static hysteresis phenomena in capillaries]. *Geotekhnicheskaya mekhanika: mezhvedomstvennyy sbornik nauchnykh trudov* [Geo-Technical Mechanics: Journal of Collected Scientific Papers]. Dnepropetrovsk, Institute of Geotechnical Mechanics of the National Academy of Science of Ukraine Publ., 2006, issue 66, pp. 157–163.
12. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F. Analiz dvoystvennogo mekhanizma tusheniya plameni [Analysis of the dual fire suppression mechanism]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 12, pp. 59–68.
13. Sharovarnikov A. F., Korolchenko D. A. Vliyaniye dispersnosti kapel vody na effektivnost tusheniya pozharov goryuchey zhidkosti [Impact of dispersion of water drops on the efficiency of fire extinguishing of combustible liquid]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 12, pp. 69–74.
14. Method of determining the flow rate of water spray when fighting fires of flammable substances and materials in the premises express method as applied to the sprinkler, deluge fire suppression system (No. 54-80). Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 1980. 16 p. (in Russian).
15. Roslyakov V. I., Grishin V. V., Aksenov V. P. Eksperimentalnoye issledovaniye tusheniya plameni tverdykh goryuchikh materialov [Experimental study of extinguish flames of solid combustible materials]. *Goreniye i problemy tusheniya pozharov. Tezisy VI Vsesoyuznoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Burning and fire-fighting problems. Abstracts of VI All-Union Scientific-and-Practical Conference]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 1979, pp. 234–239.

УДК 614.841.33

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ — НЕ ПОЛИГОН ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ!

© **В. С. ТИМОШИН**, инженер пожарной безопасности
(Россия, г. Москва; e-mail: vladi-timoshin@yandex.ru)

Просто удивительно, как складывается наша жизнь: еще вчера мы ругали действующий уже более пяти лет пожарный регламент и пожарные своды правил, а сегодня замерли в ожидании нового резкого поворота в системе противопожарного нормирования. Причиной тому послужили проекты изменений в действующие Федеральные законы (№ 384, 184, 123, 69) и в нормативные правовые акты (Постановление № 87). Что изменения необходимы, это понимали и понимают абсолютно все, но то, что предлагается, вызывает недоумение и множество вопросов.

Проектом Федерального закона (далее — проект закона) “О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации” (Федеральные законы № 384-ФЗ (далее — ФЗ 384 [1]), № 184-ФЗ (далее — ФЗ 184 [2]), № 123-ФЗ (далее — ФЗ 123 [3]), № 69-ФЗ (далее — ФЗ 69 [4])) предусматривается исключение из сферы нормативно-правового регулирования в области строительства практики разработки различными ведомствами нормативных правовых документов, устанавливающих требования к проектированию и строительству. Теперь этими вопросами должно заниматься только одно ведомство — Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой РФ), что в принципе правильно и ни у кого не вызывает сомнений.

Всем, а тем более проектировщикам, уже порядком надоело разбираться в обилии нормативных документов по пожарной безопасности, разрабатываемых как Министерством Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС России), так и Минстроем. Появились даже такие термины, как “пожарные” и “строительные” нормативные документы, что уже само по себе абсурдно. К тому же большинство противопожарных требований, изложенных в пожарных и строительных нормах, либо как две капли воды похожи друг на друга, либо противоречат друг другу. Достаточно, например, сравнить определения термина “открытая автостоянка” в СП 113.13330 [5] и СП 4.13130 [6].

Да и способы, которыми предлагается обеспечивать безопасность зданий и подтверждать соответствие принятых проектных решений требованиям пожарной безопасности, также различаются: соглас-

но ФЗ 384 [1] это выполнение обязательных требований ФЗ 384, специальных технических условий (СТУ) (при их разработке), обязательных требований сводов правил и стандартов и свои расчеты и исследования, согласно ФЗ 123 [3] — это выполнение обязательных требований технических регламентов и свой расчет пожарного риска (если не выполняются требования пожарных нормативных документов).

Казалось бы, задача, которую перед собой ставили разработчики проекта закона, будет решена и все противоречия будут устранены. Всем очень важно, чтобы были установлены единые и понятные для всех “правила игры”, будь то инвестор, проектировщик, эксперт учреждения экспертизы, строитель или инспектор Стройнадзора.

Однако на деле не все так просто. Опять мы наблюдаем некоторую размытость в подходе к условиям, выполнение которых должно обеспечивать пожарную безопасность зданий.

Так, если следовать логике ст. 5 проекта закона, пожарная безопасность обеспечивается двумя условиями:

1) выполнением всех технических регламентов, устанавливающих требования пожарной безопасности (это и ФЗ 123, и ФЗ 384), и требований нормативных документов в соответствии с ФЗ 184 [2] с обязательным расчетом пожарного риска;

2) выполнением всех регламентов и всех нормативно-правовых актов Российской Федерации.

Сначала рассмотрим вопрос, касающийся выполнения регламентов. В проекте закона по сравнению со старой редакцией ФЗ 123 ничего, казалось бы, не изменилось. Формулировки те же, а вот наполнение, благодаря ст. 5 проекта закона, теперь уже совсем иное. Оказывается, в ФЗ 123 [3] внесено положение, согласно которому требования пожарной безопасности к зданиям и сооружениям должны будут устанавливаться в соответствии с ФЗ 384. Вот так, ни больше и ни меньше! Получается, что главными будут требования, изложенные в ст. 8 и 17 ФЗ 384, а не положения ФЗ 123! Иначе говоря, теперь в детских садах, больницах можно спокойно применять системы наружного утепления с использованием горючих материалов, в подвалах не устраивать тамбур-шлюзы с подпором воздуха при пожа-

ре, можно эвакуироваться через объемы открытых лестниц, связывающих более двух этажей, а также не выполнять другие, изложенные в ФЗ 123 фундаментальные требования, так что ли?

В ФЗ 184, конечно, прописано, что особенно-сти технического регулирования устанавливаются ФЗ 384, но там не написано, что можно не соблюдать требования технических регламентов. Что же получается? Должны ли мы слова “выполнены требования, установленные регламентами” рассматривать в контексте выполнения ФЗ 384 или все же должны выполнять и требования ФЗ 123? Кто это будет определять — опять проектировщик на свой страх и риск или эксперты, когда документация придет им на рассмотрение? Не думаю, что предлагаемое дополнение в ФЗ 123 будет правильным. Тогда было бы проще, мне кажется, вообще отменить ФЗ 123 или внести в него такие поправки, которые содержали бы только минимальные требования и преимущественно общего характера, как в ФЗ 384. Вот только не уверен, что это пойдет всем нам на пользу. Слишком велика цена, которую приходится платить за отсутствие этой самой безопасности.

Теперь рассмотрим второе условие — это выполнение всех требований, изложенных в нормативных документах в соответствии с ФЗ 184 и во всех нормативно-правовых актах Российской Федерации.

Первое, что хочется отметить. Вопрос о выполнении требований нормативных документов в соответствии с ФЗ 184 вроде бы понятен: выполняй все требования, изложенные в них, и “будет тебе счастье”. Однако если обратиться к п. 2 ст. 4 проекта закона, то сразу возникают сомнения по поводу набора нормативных документов, требования которых должны быть выполнены в проектной документации.

По сводам правил, содержащим обязательные требования (далее — СНИП), все понятно (даже не обсуждается), а вот по остальным документам ясности нет. Своды правил согласно проекту закона теперь будут относиться к документам в области технического регулирования, которое представляет собой правовое регулирование как в области установления и исполнения обязательных требований, так и в области установления и исполнения добровольных требований. Если следовать логике, то необходимо еще и выполнение сводов правил, содержащих рекомендательные требования, т. е. “пожарных” нормативов? Ко всему прочему, требуется проведение и расчетов пожарного риска, а также всех расчетов, предусматриваемых ФЗ 384.

Второе по выполнению всех нормативно-правовых актов Российской Федерации. Согласно п. 1 ст. 1 и п. 2 ст. 4 проекта закона СНИП — это нормативный правовой документ в области проектирова-

ния и строительства, принимаемый нормативным правовым актом федерального органа исполнительной власти, и свод правил, содержащий требования рекомендательного характера, — такой же документ, входящий в систему правового регулирования отношений в области строительства и проектирования и введенный в действие приказом МЧС, т. е. нормативным правовым актом федерального органа исполнительной власти. Таким образом, необходимо выполнять требования и сводов правил, и СНИПов, но при этом расчет пожарного риска проводить не надо. Данное условие фактически подтверждает изменение в п. 3 ст. 6 ФЗ 123 (п. 3 ст. 5 проекта закона), согласно которому расчет пожарного риска можно не проводить при выполнении всех нормативно-правовых актов Российской Федерации и СНИПов.

Резюмируя рассмотренные выше условия обеспечения пожарной безопасности, приходим к следующему выводу: во-первых, и в первом, и во втором случаях при обязательном выполнении технических регламентов необходимо выполнять и требования практически всех нормативных документов, будь то СНИП или свод правил, содержащий рекомендательные требования; во-вторых, по любому объекту, будь то трехэтажное здание конторы с коридорной планировкой и с площадью этажа не более 400 м² или торгово-развлекательный центр общей площадью 30000 м² и более, надо обязательно выполнять или расчет пожарного риска, или иные расчеты и исследования согласно ФЗ 384 (на практике учреждения экспертизы требуют предоставления расчета пожарного риска).

Предлагаемая проектом закона система мало чем напоминает систему “гибкого нормирования”, установленную ФЗ 123 и позволяющую проектировщикам при вынужденном отступлении от требований пожарных сводов правил проводить расчет пожарного риска. Очень трудно понять причины, по которым принимается решение по изменению уже фактически отработанной системы подтверждения безопасности, принятой ФЗ 123. Неужели нельзя предложить конкретные формы подтверждения, например: 1) выполнение технических регламентов и проведение расчета пожарного риска (почему бы при этом методику расчета не согласовать и в МЧС, и в Минстрое, а также внести дополнение в ФЗ 384 о признании расчета пожарного риска); 2) выполнение технических регламентов и СНИПов (сводов правил).

Теперь несколько слов по поводу системы “гибкого нормирования”. Мне могут возразить, что куда эта система не делась: достаточно при отступлении от СНИПов разработать СТУ, и не будет никаких проблем. Проблем-то нет, но тот, кто занимается вопросами проектирования, прекрасно знает, что такое СТУ и каких финансовых затрат стоит их разработ-

ка, включая проведение дополнительных расчетов и исследований. А о времени, затрачиваемом на их согласование, и о том, что надо одни и те же СТУ согласовывать и в МЧС, и в Минстрое, уже и говорить не приходится. Все это при том, что львиная доля СТУ разрабатывается на объекты, проектирование и строительство которых ведется в нашей стране уже не один год: это и здания с многосветными пространствами (атриумами), с двумя и более подземными этажами, и высотные здания, и культовые сооружения (храмы, мечети и т. п.). Получается, что мы сегодня в качестве системы “гибкого нормирования” получаем реальную предпосылку идти по пути наибольшего сопротивления, разрабатывая СТУ по каждому отступлению от СНИПов, которые наравне с техническими регламентами приобретают фактически статус закона (например, превысили на автостоянке расстояние до ближайшего эвакуационного выхода хотя бы на 1–2 м — разрабатывайте СТУ).

Возникает вполне закономерный вопрос: почему тогда более чем за пять лет действия ФЗ 123 ни МЧС, ни Минстрой, опираясь на свой довольно богатый опыт рассмотрения и согласования СТУ, так и не разработали ни одного свода правил для тех же зданий с атриумами, храмовых комплексов и других объектов. Ведь что такое СТУ сегодня? Это не только мероприятия, разрабатываемые применительно к объекту защиты, но в большинстве случаев это мероприятия, типичные для определенного вида объектов, изложенные в “Обобщенных перечнях технических решений, согласованных Главным государственным инспектором Российской Федерации по пожарному надзору (или одним из его заместителей)”, опубликованных на сайте МЧС.

Очень хочется надеяться, что вопрос по СТУ в самое ближайшее время решится, особенно после того, как на согласующие органы обрушится огромный поток СТУ и придется выпускать новые нормативные документы или упрощать процедуру рассмотрения и согласования СТУ. В настоящее время она ничего, кроме недоумения и вопросов, не вызывает. Например, почему инвесторы должны согласовывать СТУ и в МЧС, и в Минстрое? В МЧС вас хотя бы вызывают на совет для аргументации и защиты принятых решений, а в Минстрой на совет заинтересованных лиц не приглашают. Хорошо, если Минстрой даст положительное заключение, однако на практике чаще всего приходит ответ, что СТУ не согласованы, с указанием формальных замечаний, которые можно было бы устранить, обсудив их на заседании совета. Как говорится, “осудили заочно”, а за что судили — непонятно, ведь решения были ранее уже согласованы в профильном министерстве.

Почему Минстрой не может просто принимать заключения МЧС по СТУ, содержащим требования пожарной безопасности, а при наличии по ним вопросов направлять запросы непосредственно в МЧС, в котором они были согласованы? В чем проблема? Разве вопросы обеспечения пожарной безопасности являются задачей только проектировщиков, а не государственной задачей? Пора бы уже ведомствам договориться между собой раз и навсегда.

Очень надеюсь, что предлагаемое исключение из ст. 78 ФЗ 123 и из ст. 20 ФЗ 69 требования о разработке СТУ на объекты, на которые отсутствуют требования пожарной безопасности, не приведет к исключению из процесса согласования СТУ в МЧС. Это было бы очень большой ошибкой. МЧС не просто уполномочено Указом Президента Российской Федерации от 11.07.2004 № 868 [7] решать задачи в области пожарной безопасности в РФ. Специалисты министерства имеют богатый опыт тушения пожаров и их профилактики, и забывать об этом нельзя.

Заканчивая разговор про СТУ, хотелось бы остановиться и на приказе Минстроя от 28.07.2014 № 406/пр [8] “О порядке разработки и согласования специальных технических условий для разработки проектной документации на объект капитального строительства” (далее — приказ Минстроя).

Согласно этому приказу СТУ теперь являются уже не техническими нормами, рассчитанными на многократное применение, а актами индивидуального права применения заказчика строительства объекта капитального строительства (далее — заказчик), содержащими (применительно к конкретному объекту капитального строительства) дополнительные к установленным или отсутствующие в нормах технические требования в области безопасности. Это не совсем понятно. Разве до выхода приказа [8] СТУ не рассматривались применительно к конкретному объекту, и каким образом мы теперь можем конкретизировать требования к объекту, на который (следуя логике приказа Минстроя) даже нет еще проектной документации, а только архитектурно-планировочные решения (по сути концепция) без указания осей, без экспликаций помещений? Что же получается? Применить типовое нормативное решение, разработанное ранее для другого объекта, мы уже не можем? Например, для зданий с атриумами одним из типовых решений при отделении помещений от многосветных пространств является применение ограждающих конструкций из закаленного стекла толщиной не менее 6 мм при условии их защиты спринклерными оросителями системы автоматического пожаротушения, расположенными со стороны защищаемых помещений на расстоянии не более 0,5 м от перегородок с шагом 1,5 м. Как теперь быть? Данное решение неоднократно было согла-

совано и с МЧС, и с Минстроем. Значит, придется заказывать в специализированном научном учреждении новые исследования и испытания? Но это уже будут не СТУ, а научный трактат. Почему бы на сайте министерства не дать разъяснение по этому вопросу?

Хотя, по идее, СТУ, конечно, и должны быть тем трактатом, но только они действительно должны разрабатываться для уникальных объектов, например высотой более 100 м, с пролетами более 100 м или с подземной частью, заглубленной более чем на 15 м, как в Градостроительном кодексе [9]. К сожалению, не буду оригинален, но в настоящее время институт СТУ себя, мягко сказать, в какой-то степени исчерпал. Раньше СТУ фактически давали толчок или служили основой для разработки новых нормативных документов, т. е. были, можно сказать, “двигателем нормативного прогресса”, а сегодня они, к сожалению (не хочу обижать специалистов, но, думаю, они со мной согласятся), представляют собой в основном набор типовых решений. Необходимо изменить подход к такому действительно очень важному документу и, естественно, повысить степень ответственности разработчиков.

Далее мне бы хотелось обсудить проект постановления Правительства РФ “О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 16 февраля 2008 г. № 87” (далее — проект постановления). То, что из состава разделов проектной документации вдруг исчез разд. 9 “Перечень мероприятий по обеспечению пожарной безопасности” (далее — Перечень), меня несколько не удивило. Это был вполне закономерный результат политики, проводимой в последнее время в сфере технического регулирования в области пожарной безопасности, что, собственно, подтверждает и проект закона, о котором мы говорили в первой части настоящей статьи.

Однако здесь мы видим не только результат политики, но и того, что раздел как своим названием, так и своим содержанием не мог соответствовать своему назначению — построению системы обеспечения пожарной безопасности. Он, скорее, выступал в роли помощника проектировщиков, а не полноправного участника процесса проектирования, что в итоге может привести к его отмене. Задача раздела, к сожалению, свелась в основном только к констатации уже принятых ранее в проекте конструктивных, объемно-планировочных и других решений.

Странно, что за все время существования разд. 9 так и не возник юридический вопрос: почему его наименование “Перечень мероприятий по обеспечению пожарной безопасности”, указанное в п. 9 ч. 12 ст. 48 Градостроительного кодекса [9], в проекте постановления № 87 вдруг превратилось в “Меропри-

ятия по обеспечению пожарной безопасности”? А это уже совершенно иной смысл, иной раздел, и задачи у него совершенно другие.

Перечень предполагает совершенно иной подход к построению системы проектирования противопожарной защиты, и в нем, на мой взгляд, должны быть указаны требуемые, а не “ранее принятые” противопожарные мероприятия по проектированию объекта. Данный документ должен разрабатываться на конкретный объект, проектируемый с учетом действующих нормативно-правовых документов, и в нем совершенно ни к чему переписывать основные положения и требования нормативно-правовых документов, повторять всем известные азбучные или “ГОСТовские” истины (например, что такое пожарная безопасность, как она должна быть обеспечена и т. п.). Перечень по своей сути должен быть предельно сжатым и конкретизирующим документом, но охватывать при этом все разделы проекта и давать возможность проектировщикам не ошибиться в выборе проектных решений.

Не думаю, что отсутствие в составе разделов проектной документации отдельного раздела, охватывающего вопросы обеспечения пожарной безопасности, как-то повлияет на качество и процесс разработки проектной документации, но что это может отразиться на уровне безопасности проектируемых объектов, отрицать никак нельзя.

Растаскивание по всем разделам проекта вопросов, связанных с обеспечением пожарной безопасности, ничего не имеет общего с системой обеспечения пожарной безопасности, охватывающей весь объект, а не какую-то его часть. Очень сильно сомневаюсь в том, что предусмотренные в текстовой части пояснительной записки описание системы обеспечения пожарной безопасности и сведения о разделах (с пунктами), содержащих решения и мероприятия по пожарной безопасности, могут хоть в какой-то степени заменить проектирование системы пожарной безопасности.

Под понятием “описание” подразумевается только описание уже принятой системы, а кто ее принял и что она собой представляет, из него непонятно! Хотя, может быть, я и ошибаюсь. Ведь что мешает разработчикам раздела “Схема планировочной организации земельного участка” при проектировании противопожарных расстояний и проездов для пожарной техники запросить все необходимые сведения у архитекторов, конструкторов, технологов и, в случае необходимости, у МЧС (например, достаточно ли обеспечить подъезд с одной стороны или где находится ближайшая пожарная часть и т. п.). Может быть, кто-то не знает, но без данных о здании (геометрические размеры, степень огнестойкости, класс конструктивной пожарной опасности здания,

категории по взрывопожарной и пожарной опасности) невозможно решить вопрос о размещении объекта и об обеспечении подъездов к нему.

Что мешает архитекторам описать и обосновать проектные решения по обеспечению безопасности людей при возникновении пожара, а также разработать перечень мероприятий по обеспечению безопасности подразделений пожарной охраны при ликвидации пожара? Не так уж и важно, что безопасность — понятие очень емкое, включающее в себя и применение основных строительных конструкций, и объемно-планировочные решения, и устройство эвакуационных путей, и применение систем противопожарной защиты. Наверное, это не будет такой уж большой проблемой для проектировщиков, не говоря уже о необходимости перечисления мероприятий по обеспечению безопасности подразделений пожарной охраны при ликвидации пожара, ведь для этого достаточно выписать их из документов, разработанных МЧС.

Что мешает конструкторам описать и обосновать степень огнестойкости и класс конструктивной пожарной опасности строительных конструкций? Не так уж важно, что понятия “класс здания” и “класс пожарной опасности конструкций” несколько различаются: при определенном классе конструктивной пожарной опасности здания строительные конструкции должны иметь свой класс пожарной опасности. Главное, что ничто не мешает. Правда, не совсем понятно, как может их обосновать конструктор. Как обосновать предел огнестойкости конструкций — понятно: для этого существуют расчеты. Но как обосновать степень огнестойкости и класс конструктивной пожарной опасности здания? Это, скорее, вопросы, относящиеся к разделу “Пояснительная записка” или “Архитектурные решения”, но разве нельзя взять оттуда соответствующие сведения и прописать в разделе? Абсолютно никаких проблем.

Что мешает инженерам в разделе “Система водоснабжения” представить структурные схемы автоматических установок пожаротушения? Не столь важно при этом, что системы автоматического пожаротушения бывают водяные, газовые, порошковые, аэрозольные и т. д.

Разве так важно, что в разделах “Схема планировочной организации земельного участка” и “Архитектурные решения” предписано представлять фактически одни и те же схемы эвакуации людей, в том числе инвалидов, и материальных средств из зданий

(независимо на отсутствие каких-либо нормативных указаний по организации такого процесса)? Только согласно разделу “Схема планировочной организации земельного участка” они должны быть предусмотрены с прилегающей территории, а в соответствии с разделом “Архитектурные решения” — и из здания, и с прилегающей к нему территории. Непонятно, правда, какая может быть связь между процессом организованного самостоятельного движения людей из помещения, в котором произошел пожар, и эвакуацией ценностей, под которой подразумевается процесс вывоза гражданского населения, художественных и других ценностей, имущества из местностей, находящихся под угрозой нападения противника или подвергшихся стихийному бедствию (БСЭ, 1969–1978). Данные понятия несут совершенно различную смысловую нагрузку.

Как мы видим, по мнению разработчиков проекта постановления, нет ничего страшного в том, что не будет раздела, содержащего требования пожарной безопасности! Тем более, для них не существует никакой проблемы и объединить все в одну систему.

Мне трудно комментировать такое мнение. Я всегда считал и буду считать, что только системный и конструктивный подход к вопросам обеспечения пожарной безопасности способен обеспечить защиту людей от пожара и его последствий. Исключение разд. 9 из состава проектной документации будет большой ошибкой. Может быть, кто-то и сэкономит на его отсутствии, но что пользы это мало кому принесет, тоже факт. При этом можно прогнозировать, что народная мудрость “с водой выплеснули ребенка” получит свое развитие и в области проектирования.

В заключение хотелось бы отметить, что в вопросах обеспечения пожарной безопасности должен все-таки преобладать государственный интерес, и пора бы всем заинтересованным министерствам и ведомствам прийти к единому знаменателю в вопросах определения политики в данной области. В первую очередь это относится к вопросам разработки и согласования нормативных документов в области пожарной безопасности.

Чем больше будет накапливаться противоречий и проблем, тем быстрее мы все окажемся в тупике. И если в сложившейся ситуации компромисс — единственный выход в решении проблем, значит, надо на него идти!

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений : Федер. закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ; принят Гос. Думой 23.12.2009; одобрен Сов. Федерации 25.12.2009 // Российская газета. — 31.12.2009. — № 255; Собр. законодательства РФ. — 04.01.2010. — № 1, ст. 5.

2. О техническом регулировании : Федер. закон от 27.12.2002 № 184-ФЗ; принят Гос. Думой 15.12.2002; одоб. Сов. Федерации 18.12.2002 // Российская газета. — 2002. — № 245.
3. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ; принят Гос. Думой 04.07.2008; одоб. Сов. Федерации 11.07.2008 // Российская газета. — 2008. — № 163; Собр. законодательства РФ. — 2008. — № 30 (ч. I), ст. 3579.
4. О пожарной безопасности : Федер. закон от 21.12.1994 № 69-ФЗ; принят Гос. Думой 18.11.94; введ. 26.12.94 // Собр. законодательства РФ. — 1994. — № 35, ст. 3649.
5. СП 113.13330.2012. Стоянки автомобилей. Актуализированная редакция СНиП 21-02-99*. — Введ. 01.01.2013. URL : www.skonline.ru/doc/62884.html (дата обращения: 05.01.2015).
6. СП 4.13130.2013. Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям. — Введ. 24.06.2013. — М. : ВНИИПО МЧС России, 2013.
7. Вопросы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (в ред. Указа Президента РФ от 21.10.2005 № 1228) : утв. Указом Президента РФ от 11.07.2004 № 868. URL : <http://www.mchs.gov.ru/document/3485838> (дата обращения: 05.01.2015).
8. О порядке разработки и согласования специальных технических условий для разработки проектной документации на объект капитального строительства : приказ Минстроя России от 28.07.2014 № 406/пр. URL : <http://docs.cntd.ru/document/420216596> (дата обращения: 05.01.2015).
9. Градостроительный кодекс Российской Федерации : Федер. закон от 29.12.2004 № 190-ФЗ; принят Гос. Думой 22.12.2004; одоб. Сов. Федерации 24.12.2004; введ. 29.12.2004 // Российская газета. — 2004. — № 290; Парламентская газета. — 2005. — № 5–6.



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

**ВОПРОС:**

В п. 9 ст. 23 Технического регламента о требованиях пожарной безопасности указано, что методы испытания взрывозащищенного электрооборудования на принадлежность к соответствующему уровню, виду, группе (подгруппе), температурному классу устанавливаются нормативными документами по пожарной безопасности.

Какие нормативные документы регламентируют методы испытания взрывозащищенного электрооборудования?

ОТВЕТ:

Методы испытаний взрывозащищенного электрооборудования на принадлежность к соответствующему уровню, виду, группе (подгруппе), температурному классу устанавливаются национальным стандартом РФ ГОСТ Р МЭК 60079-0–2011 [1], а также частями стандартов серии ГОСТ Р МЭК 60079 на отдельные виды взрывозащиты. Выполнение и соблюдение требований данных стандартов гарантирует высокое качество выпускаемого взрывозащищенного электрооборудования и обеспечение пожаровзрывобезопасности при его эксплуатации на конкретных объектах. В связи с этим согласно п. 9 ст. 23 Технического регламента о требованиях пожарной безопасности [2] серия стандартов ГОСТ Р МЭК 60079 должна рассматриваться как нормативная литература по пожарной безопасности.

В то же время методы испытаний и требования к конструкции взрывозащищенного электрооборудования закладываются на стадии его проектирования заводом-изготовителем, который в дальнейшем должен провести необходимые испытания в собственной испытательной лаборатории для утверждения конечной маркировки выпускаемого им оборудования. На этом этапе проектировщики, конструкторы и другие специалисты руководствуются требованиями технического регламента Таможенного союза “О безопасности оборудования для работы во взрывоопасных средах” (ТР ТС 012/2011) [3]. Этот технический регламент является основополагающим в области проектирования и производства взрывозащищенного электрооборудования и его дальнейшей сертификации.

Технический регламент [2] указывает на необходимость подтверждения соответствия маркировки взрывозащищенного электрооборудования тем методам испытаний, которые являются обязательными согласно стандартам серии ГОСТ Р МЭК 60079. Данное подтверждение представлено в сертификате соответствия на конкретное взрывозащищенное электрооборудование.

Таким образом, принадлежность взрывозащищенного электрооборудования к соответствующему уровню, виду, группе (подгруппе), температурному классу

определяется методами испытаний, установленными серией ГОСТ Р МЭК 60079, и данными сертификата соответствия.

**ВОПРОС:**

В п. 1.7.137 ПУЭ [4] для проводников основной системы уравнивания потенциалов четко указана возможность использования стали с указанием минимально допустимого сечения 50 мм². Для проводников дополнительного уравнивания потенциалов в ПУЭ такого указания нет. В п. 1.7.138 дана ссылка на п. 1.7.127, в котором говорится только о медных и алюминиевых проводниках. В последнем абзаце п. 1.7.83 конкретного ответа на данный вопрос также нет.

Возможно ли применение стальных проводников для дополнительной системы уравнивания потенциалов, и какое минимально допустимое сечение стальных проводников необходимо принимать?

ОТВЕТ:

Требования к сечениям проводников основной системы защитного уравнивания потенциалов приведены в п. 544 ГОСТ Р 50571.5.54–2013 (МЭК 60364-5-54:2011) [5] и заключаются в следующем:

1. Сечение защитных проводников уравнивания потенциалов, присоединяемых к главной заземляющей шине (ГЗШ) или к главному заземляющему зажиму и используемых в основной системе уравнивания потенциалов, должно составлять не менее половины сечения наибольшего защитного проводника электроустановки, отходящего от соответствующего вводного устройства (ВУ) или вводно-распределительного устройства (ВРУ), и не менее:

- 6 мм² — по меди;
- 16 мм² — по алюминию;
- 50 мм² — по стали.

Эти минимально допустимые сечения приняты по соображениям механической прочности и не учитывают требований к проводимости по расчетному току короткого замыкания.

Как правило, не требуется принимать сечение защитного проводника уравнивания потенциалов, присоединяемого к ГЗШ, более 25 мм² по меди или эквивалентного сечения для других материалов.

2. Защитные проводники дополнительного уравнивания потенциалов должны иметь проводимость:

- соединяющие открытые проводящие части, доступные одновременному прикосновению (например, оболочки рядом стоящих двигателей или шкафов), — не ниже проводимости защитного проводника наименьшего сечения из защитных провод-

ников, присоединенных к сопрягаемым открытым проводящим частям;

- соединяющие открытую проводящую часть и стороннюю проводящую часть — не ниже половины проводимости соответствующего защитного проводника.

Указанные выше требования к минимальным сечениям для защитных проводников основной системы уравнивания потенциалов, присоединяемых к главной заземляющей шине ГЗШ, на проводники дополнительного уравнивания потенциалов не распространяются. Для них должны выполняться требования п. 543.1.3 ГОСТ Р 50571.5.54–2013 [5], что соответствует также п. 1.7.127 ПУЭ [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ ИЕС 60079-0–2011. Взрывоопасные среды. Часть 0. Оборудование. Общие требования. — Введ. 01.07.2012. — М.: Стандартинформ, 2012.
2. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности (в ред. от 23.06.2014): Федер. закон РФ от 22.07.2008 № 123-ФЗ; принят Гос. Думой 04.07.2008;

одобр. Сов. Федерации 11.07.2008 // Собр. законодательства РФ. — 2008. — № 30 (ч. I), ст. 3579.

3. Технический регламент Таможенного союза “О безопасности оборудования для работы во взрывоопасных средах”: утв. решением комиссии Таможенного союза от 18.10.2011 № 825; введ. 15.02.2013; принят комиссией Таможенного союза. URL : <http://docs.cntd.ru/document/902307910> (дата обращения: 20.02.2015).

4. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). — 7-е изд. — М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2002.

5. ГОСТ Р 50571.5.54–2013 (МЭК 60364-5-54:2011). Электроустановки низковольтные. Часть 5-54. Выбор и монтаж электрооборудования. Заземляющие устройства, защитные проводники и защитные проводники уравнивания потенциалов. — Введ. 01.01.2015. — М.: Стандартинформ, 2014.

*Ответ подготовили сотрудники кафедры специальной электротехники, автоматизированных систем и связи Академии ГПС МЧС России: канд. техн. наук, профессор, академик НАНПБ **В. Н. ЧЕРКАСОВ**; старший преподаватель **А. С. ХАРЛАМЕНКОВ** (e-mail: h_a_s@live.ru)*

1-й Азиатско-Тихоокеанский симпозиум по научным и инженерным вопросам пожарной безопасности материалов (AOFSM'1)

9–11 октября 2015 г.

г. Сучжоу, Китай

1-й Азиатско-Тихоокеанский симпозиум по научным и инженерным вопросам пожарной безопасности материалов (AOFSM'1) будет проходить 9-11 октября 2015 г. в г. Сучжоу, Китай. Организаторами симпозиума выступили Университет науки и технологии Китая и Ассоциация Азии и Океании по научным и инженерным вопросам пожарной безопасности материалов.

Основные темы, включенные в план проведения данного симпозиума, охватывают различные вопросы пожарной безопасности материалов. Это разработка и применение антипиренов, тепло- и огнезащитных материалов; средства пожаротушения; технические решения по применению пожаробезопасных материалов в разных сферах (на транспорте, в строительстве, электротехнике и электронике); оценка и моделирование пожарной безопасности материалов, методы испытаний и стандарты.

На эту конференцию будут приглашены известные международные эксперты и ученые, которые представят самые последние достижения фундаментальных исследований и инженерных приложений в области пожарной безопасности материалов.

Детальную информацию о Симпозиуме AOFSM'1 можно найти на сайте:
<http://aofsm2015.csp.escience.cn>

ООО «ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПОЖНАУКА»

ПРЕДЛАГАЕТ ВАШЕМУ ВНИМАНИЮ

Г. И. Смелков, В. Н. Черкасов,
В. Н. Веревкин, В. А. Пехотилов, А. И. Рябиков

ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ во взрывопожароопасных зонах

Справочное пособие

М.: ООО «Издательство «Пожнаука», 2012. – 222 с.



Приводятся новые, отвечающие современной нормативной базе, требования по классификации горючих смесей и пожаровзрывоопасных зон; рекомендации по выбору и использованию оборудования, включая кабельные изделия во взрывопожароопасных зонах.

Издание предназначено для инженерно-технических работников, занимающихся проектированием и монтажом электроустановок, работников пожарной охраны и специалистов широкого профиля в качестве учебного пособия для подготовки и повышения квалификации в области пожаровзрывобезопасности электроустановок.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ!

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

Редакция просит авторов при подготовке рукописи руководствоваться изложенными ниже правилами.

1. Статья и сопутствующие ей материалы должны быть направлены в редакцию в электронном виде по электронному адресу (info@fire-smi.ru), а также в бумажном виде по почте (121352, Российская Федерация, г. Москва, а/я 43). Статья должна быть ясно изложена, тщательно отредактирована и подписана всеми авторами.

2. Материал статьи должен излагаться в следующем порядке.

2.1. Номер УДК (универсальная десятичная классификация).

2.2. Заглавие статьи (на русском и английском языках). Заглавия научных статей должны быть информативными; в них можно использовать только общепринятые сокращения. В переводе заглавий статей на английский язык недопустимы транслитерации с русского языка, кроме непередаваемых названий собственных имен, приборов и других объектов, имеющих собственные названия, а также непередаваемый сленг, известный только русскоговорящим специалистам. Это также касается аннотаций, авторских резюме и ключевых слов.

2.3. Информация об авторах.

2.3.1. Имена, отчества и фамилии всех авторов. Они должны приводиться полностью на русском языке и в транслитерации в соответствии с системой Госдепартамента США, которая в настоящее время является наиболее распространенной (<http://fotosav.ru/services/transliteration.aspx>). Авторами являются лица, принимавшие участие во всей работе или в ее главных разделах. Лица, участвовавшие в работе частично, указываются в сносках.

2.3.2. Ученые степени, звания, должность, место работы всех авторов с полным юридическим адресом (на русском и английском языках). Здесь необходимо указать: полное официальное название организации, индекс, страну, город, название улицы, номер дома, а также контактные телефоны и электронный адрес всех или хотя бы одного из авторов. При этом не следует приводить составные части названий организаций, обозначающие принадлежность ведомству, форму собственности, статус организации (например, “Учреждение Российской академии наук...”, “Федеральное государственное унитарное предприятие...”, “ФГОУ ВПО...” и т. п.), что затрудняет идентификацию организации. Обращаем Ваше внимание, что при переводе необходимо указывать официально принятое название организации на английском языке. Все почтовые сведения (кроме наименования улицы, которое должно быть в транслитерированном виде) должны быть также переведены на английский язык, в том числе название города и страны.

Пример: Institute for Problem in Mechanics, Russian Academy of Sciences (Vernadskogo Avenue, 101, Moscow, 119526, Russian Federation).

2.4. Аннотация на русском языке (не менее 4–5 предложений).

2.5. Расширенное резюме на русском и английском языках. Необходимо иметь в виду, что авторские резюме на английском языке в русскоязычном издании являются для иностранных ученых и специалистов основным и, как правило, единственным источником информации о содержании статьи и об изложенных в ней результатах исследований. Поэтому авторское резюме должно быть:

- информативным (не содержать общих слов);
- оригинальным (не быть калькой с русскоязычной аннотации с дословным переводом);
- содержательным (отражать существенные результаты работы; не должно включать материал, который отсутствует в основной части публикации);
- структурированным (т. е. следовать логике описания результатов в публикации);
- “англоязычным” (написанным качественным английским языком, без использования программ автоматизированного перевода);
- объем текста авторского резюме должен быть не менее 150–200 слов.

Приветствуется структура резюме, повторяющая структуру статьи и включающая введение, цели и задачи, методы, результаты, заключение (выводы). Однако предмет, тема, цель работы указываются в том случае, если они неясны из заглавия статьи. Метод или методологию проведения работы целесообразно описывать в том случае, если они отличаются новизной или представляют интерес с точки зрения данной работы.

Результаты работы следует описывать предельно точно и информативно. При этом приводятся основные теоретические и экспериментальные результаты, фактические данные, установленные взаимосвязи и закономерности.

Выводы могут сопровождаться рекомендациями, оценками, предложениями, гипотезами, описанными в работе.

Сведения, содержащиеся в заглавии статьи, не должны повторяться в тексте авторского резюме.

Текст должен быть связным; излагаемые положения должны логично вытекать один из другого.

Сокращения и условные обозначения, кроме общеупотребительных, следует применять в исключительных случаях или давать их расшифровку и определение при первом употреблении в авторском резюме.

В авторское резюме не рекомендуется включать схемы, таблицы, иллюстрации, формулы, а также ссылки на публикации, приведенные в списке литературы к статье.

2.6. Ключевые слова на русском и английском языках (не менее 5 слов или словосочетаний). Указываются через точку с запятой. Недопустимо в качестве ключевых слов использовать термины общего характера (например, проблема, решение и т. п.), не являющиеся специфической характеристикой публикации.

2.7. Текст статьи. Текст должен быть набран через 1,5 интервала и предоставляться в формате Word. Формулы должны быть набраны в Microsoft Equation или MathType.

Цитируемый текст из других публикаций следует брать в кавычки.

Если представленные в статье исследования выполнены авторами при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Российского научного фонда, Министерства образования и науки Российской Федерации и др., то в конце статьи обязательно следует дать информацию об этом с указанием номера и названия гранта (научного проекта, госконтракта и т.п.).

Сокращения и условные обозначения физических величин в тексте статьи должны соответствовать действующим международным стандартам. Формулы и буквенные обозначения должны быть четкими и ясными. Все буквенные обозначения, входящие в формулы, должны быть расшифрованы с указанием единиц измерения. Размерность всех характеристик должна соответствовать системе СИ.

Иллюстрации в электронной версии прилагаются отдельно. Фотографии должны быть сделаны с хорошего негатива контрастной печатью (файлы растровых изображений представляются с разрешением не менее 300 dpi, черно-белая штриховая графика — 600 dpi). Файлы векторной графики следует предоставлять в формате той программы, в которой они созданы, либо напечатать PDF-файл из этой программы. Все иллюстрации должны иметь сквозную нумерацию. Чертежи и карты в качестве иллюстраций не приемлемы. Ссылки на все рисунки в тексте обязательны.

Таблицы должны быть составлены лаконично и содержать только необходимые сведения; однотипные таблицы следует строить одинаково. Цифровые данные необходимо округлять в соответствии с точностью эксперимента. Сведения в таблицах и на рисунках не должны повторяться. Ссылки на все таблицы в тексте обязательны.

2.8. Пристатейные списки литературы на русском языке и языке оригинала (если книга переводная).

Список литературы должен включать библиографические сведения обо всех публикациях, упоминаемых в статье, и не должен содержать указаний на работы, на которые в тексте нет ссылок. Литература должна быть оформлена в виде общего списка в порядке упоминания. В тексте ссылка на литературу отмечается порядковой цифрой в квадратных скобках, например [1]. 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.

В описании источников необходимо указывать всех авторов.

Список литературы должен содержать не менее 10 источников (не включая в это число нормативные документы, патенты и т. п.), в том числе не менее 3 иностранных. Выполнение данного требования будет свидетельствовать о том, что авторы используют предыдущие научные достижения в необходимой мере.

Не менее половины источников должны быть включены в один из ведущих индексов цитирования: Российский индекс научного цитирования eLibrary, Web of Science, Scopus, Chemical Abstracts, MathSciNet, Springer и др. В случае присвоения публикациям цифрового идентификатора объекта (DOI) его необходимо указать, что позволит однозначно идентифицировать объект в базах данных.

Состав источников должен быть актуальным и содержать не менее 5 современных (не старше 10 лет) статей из научных журналов или других публикаций.

В списке литературы не должно быть более 30 % источников, автором либо соавтором которых является автор статьи.

Следует обратить внимание на публикации диссертаций (особенно докторских), защищенных в последние годы по ближайшей научной специальности или группе специальностей. Для поиска рекомендуется использовать ресурс <http://www.disserscat.com>.

2.9. References (пристатейные списки литературы в транслитерации (на латинице) и на английском языке). Представление в References только транслитерированного (без перевода) описания недопустимо.

При переводе русскоязычного источника (книги, монографии, диссертации, электронного ресурса и пр.) приводится транслитерация фамилий и инициалов авторов, транслитерация названия источника и в квадратных скобках его перевод на английский язык, год, место издания, название издательства, количество страниц. Место издания должно быть указано на английском языке (Moscow, Saint Petersburg и т. п.). Транслитерированное название издания выделяется курсивом.

Если приводится русскоязычная статья в журнале, то, помимо транслитерации названия статьи и его перевода на английский язык, указанного в квадратных скобках, необходимо дать официальную английскую версию названия журнала (перевод обычно есть на сайте журнала). Если ее нет, то приводится обычная транслитерация. Указывается также год издания, том, номер выпуска, страницы статьи. Название издания выделяется курсивом.

Примеры описаний в References можно найти на сайте издательства (www.fire-smi.ru).

На сайте издательства Emerald даны достаточно подробные рекомендации по составлению пристатейных списков литературы по стандарту Harvard (Harvard Reference System) практически для всех видов публикаций (<http://www.emerald-insight.com/authors/guides/write/harvard.htm?part=2>), а также программные средства для их формирования.

3. К статьям следует прилагать рецензию стороннего специалиста (т. е. он не должен быть связан с местом работы (учебы) авторов статьи), которая должна быть подписана рецензентом (с указанием его Ф. И. О., ученого звания, ученой степени, должности, места работы), заверена отделом кадров (ученым секретарем) и печатью. Все рецензенты должны являться признанными специалистами по тематике рецензируемых материалов и иметь в течение последних 3 лет публикации по тематике рецензируемой статьи. Обращаем Ваше внимание, что рецензент не должен входить в Редакционный совет нашего журнала.

4. Непринятые к публикации статьи автору не возвращаются. Просьба редакции о переработке материала не означает, что он принят к печати.

5. Не допускается направление в редакцию работ, которые были опубликованы и/или приняты к печати в других изданиях.

6. Плата за публикацию работ с аспирантов не взимается.

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

Издательство “ПОЖНАУКА” предлагает Вам оформить подписку на журнал “Пожаровзрывобезопасность” на 1-е полугодие 2015 г., а также годовую подписку.

ПЕРСОНАЛЬНАЯ ПОДПИСКА
на журнал

**ПОЖАРОВЗРЫВО-
БЕЗОПАСНОСТЬ**



ISSN 0869-7493

КУПОН '2015

Издание	Цена подписки, руб.	Количество экземпляров	Стоимость подписки, руб.
Журнал “Пожаровзрывобезопасность” (1-е полугодие 2015 г.)	5200		
Журнал “Пожаровзрывобезопасность” (годовая подписка)	10400		

Для соискателей ученой степени кандидата
и доктора наук действуют особые условия подписки!

*По вопросам подписки просьба
обращаться по телефонам
(495) 228-09-03, 8-909-940-01-85*

ПОДПИСКА ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ:

через ООО “Издательство “Пожнаука”;
через агентство “РОСПЕЧАТЬ”, индекс 83340;
через агентство “АПР”, индекс 83647
(в любом почтовом отделении в каталоге
“Газеты и журналы”);

через подписные агентства:
ООО “Урал-Пресс”, ООО “Информнаука”,
ЗАО “МК-ПЕРИОДИКА”



ИНСТИТУТ КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Московский государственный
строительный университет

Аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.21AM09 от 24.06.2014 г.



Научно-исследовательские
и сертификационные
испытания:

- ♦ строительных материалов;
- ♦ строительных конструкций;
- ♦ огнезащитных составов;
- ♦ кабельных изделий;
- ♦ пенообразователей;
- ♦ фасадных систем.

Контакты:

Тел.: (495) 662-69-70

e-mail: ikbs@mgsu.ru

www.ikbs-mgsu.ru