

10-2013

ПОЖ Издательство
НАУКА

ПОЖАРОВЗРЫВО-

БЕЗОПАСНОСТЬ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ



ISSN 0869-7493

80 лет

Академия
Государственной противопожарной службы
МЧС РОССИИ

КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

пожарная • промышленная • производственная • экологическая





СИСТЕМЫ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ

Юридический адрес: 142301, г. Чехов, Московская обл., Вишневый бульвар, 8

Почтовый адрес: 117465, г. Москва, а/я № 7

Тел/факс: +7 (495) 775-27-96; 984-07-96

E-mail: artsok@centro.ru, postmaster@artsok.com

http: www.artsok.com

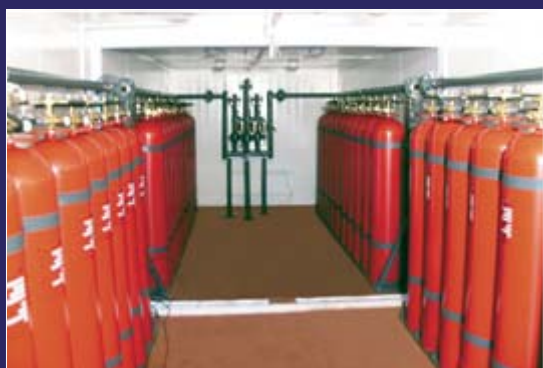
Система менеджмента качества сертифицирована как соответствующая требованиям 9001–2008



Запорно-пусковые устройства (ЗПУ) МГП сертифицированы как соответствующие требованиям
Директивы безопасности Европейского Союза PED 97/23/EC



Модули МГП-16 емкостью от 2 до 100 л
на рабочее давление до 19,6 МПа (200 кгс/см²),
МГП-35 емкостью от 60 до 100 л
на рабочее давление до 14,7 МПа (150 кгс/см²),
МГП-50 емкостью от 60 до 100 л
на рабочее давление до 6,37 МПа (65 кгс/см²)
и батареи на их основе



Приборы
приемно-
контрольные
пожарные
и управления
ППКПУ 4/16
«АИСТ»



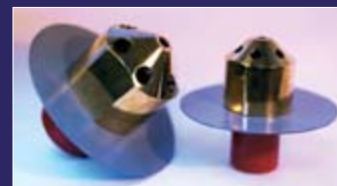
Стойки с весовыми устройствами
для МГП-16 и МГП-35



Модули изотермические для жидкой двуокиси
углерода (МИЖУ) емкостью от 3 до 28 м³
(стационарные и передвижные)



Насадки для распыления
газовых огнетушащих веществ
(струйные и локальные)



СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

НОВОСТИ, КОНФЕРЕНЦИИ, ВЫСТАВКИ

NEWS, CONFERENCES, EXHIBITIONS

Академии ГПС — 80 лет: история становления

5

80th anniversary of State Fire Academy: development history

ПРОЦЕССЫ ГОРЕНИЯ И ВЗРЫВА

COMBUSTION AND EXPLOSION PROCESSES

БАРАНОВСКИЙ Н. В., ЗАХАРЕВИЧ А. В.
Физическое моделирование зажигания травяной ветоши
нагретой до высоких температур частицей

6

BARANOVSKIY N. V., ZAKHAREVICH A. V.
Physical modeling of ignition of grassy rags
by heated up to high temperatures particle

ВОЛКОВ Р. С., КУЗНЕЦОВ Г. В., СТРИЖАК П. А.
Экспериментальное исследование полноты испарения
распыленной воды при ее движении через пламя

15

VOLKOV R. S., KUZNETSOV G. V., STRIZHAK P. A.
Experimental investigation of evaporation integrity
for sprayed water at moving through flame

ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТЬ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

FIRE-AND-EXPLOSION HAZARD OF SUBSTANCES AND MATERIALS

УШКОВ В. А., ЛАЛАЯН В. М.,
НЕВЗОРОВ Д. И., ЛОМАКИН С. М.
О влиянии фталатных и фосфатных пластификаторов
на воспламеняемость и дымообразующую способность
полимерных композиционных материалов

25

USHKOV V. A., LALAYAN V. M.,
NEVZOROV D. I., LOMAKIN S. M.
The effect of phthalate and phosphorus plasticizer
for flammability and smoke-forming ability
of polymer composite materials

АЛЕКСЕЕВ С. Г., БАРБИН Н. М.,
ПИЩАЛЬНИКОВ А. В., КАЛАЧ А. В.
Сравнительный анализ методов
СП 12.13130.2009 и Карлссона–Квинтия

34

ALEXEEV S. G., BARBIN N. M.,
PISHCHALNIKOV A. V., KALACH A. V.
The comparative analysis of methods
of SP 12.13130.2009 and Karlsson and Quintiere

ПОКРОВСКАЯ Е. Н., ПОРТНОВ Ф. А.,
КОБЕЛЕВ А. А., КОРОЛЬЧЕНКО Д. А.
Дымообразующая способность и токсичность продуктов
сгорания древесных материалов при поверхностном
модифицировании элементоорганическими соединениями

40

POKROVSKAYA E. N., PORTNOV F. A.,
KOBEL'EV A. A., KOROL'CHENKO D. A.
The smoke generation property and combustion
products toxicity of wood which was modified
by organoelemental compounds

ОГНЕЗАЩИТА

FIRE RETARDANCE

ГРАВИТ М. В.
Цветовое исполнение для строительных конструкций
с огнезащитными вспучивающимися покрытиями

47

GRAVIT M. V.
Colour design for fire protection of building constructions
with intumescent coatings

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЖАРОВ

FIRE MODELING

КОМЯК В. М., СОБОЛЬ А. Н., КОМЯК В. В.
Математическое и компьютерное моделирование
противопожарной защиты объектов народного хозяйства

54

KOMYAK V. M., SOBOL A. N., KOMYAK V. V.
Mathematical and computer modeling fire protection
of national economy objects

ПОЖАРНАЯ ОПАСНОСТЬ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

FIRE HAZARD OF ELECTROTECHNICAL PRODUCTS

МАРКОВ А. Г.
Параметры разрядов статического электричества
в диэлектрических емкостях

61

MARKOV A. G.
Parameters of the discharge of static electricity
in dielectric containers

БЕЗОПАСНОСТЬ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРАХ

FIRE SAFETY OF PEOPLE

ХОАНГ ТХО ДЫК, КОРОЛЬЧЕНКО А. Я.
Сопоставление эффективности проводных и беспроводных
систем оповещения и управления эвакуацией

69

HOANG THO DUC, KOROL'CHENKO A. Ya.
Comparison of efficiency between wired and wireless
evacuation control and alarm systems

ДИСКУССИИ

DISCUSSION

БОЧАРОВ В. В., РАЕВСКАЯ М. В.
Использование перфторированных ПАВ
в пенообразователях — “второе пришествие”
галогенорганики с наихудшим сценарием развития
для обитателей Земли

75

BOCHAROV V. V., RAEVSKAYA M. V.
The increased use of perfluorinated surfactants —
“second coming” of organohalogen compounds
with the worst scenario of development
for inhabitants of Earth

ВОПРОС – ОТВЕТ

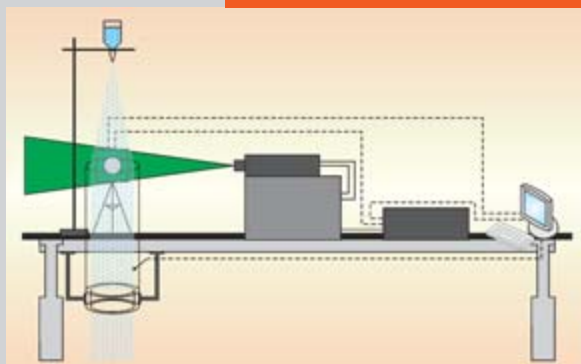
83

QUESTION – ANSWER

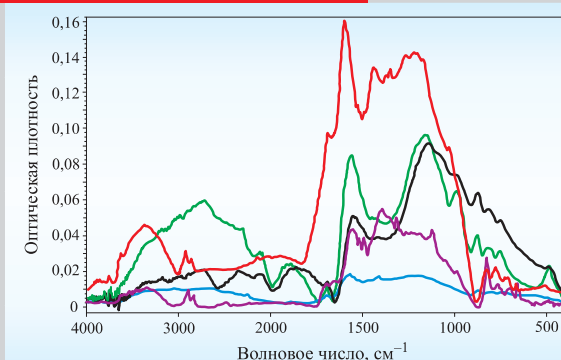
Журнал включен в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК России для публикации трудов соискателей ученых степеней, в Реферативный журнал и базы данных ВИНИТИ РАН, в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ). Сведения о журнале ежегодно публикуются 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.



Академии ГПС — 80 лет: история становления



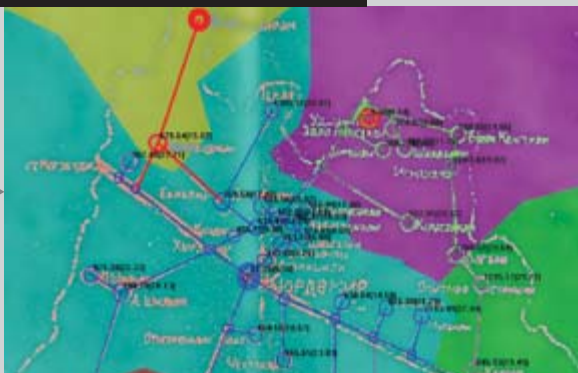
Исследование полноты испарения распыленной воды



Влияние модификаторов на характеристики древесины



Цветовое исполнение для строительных конструкций



Стр. 54

Моделирование противопожарной защиты объектов

Председатель Редакционного совета:

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

Зам. председателя Редакционного совета:

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

Редакционный совет:

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

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

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

Кирюханцев Е. Е., к. т. н., профессор (Россия)

Корольченко Д. А., к. т. н. (Россия)

Лейбман М. Е., заслуженный строитель России,
генерал-полковник запаса (Россия)

Меркулов В. А., к. т. н. (Россия)

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

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

Сенин Н. И., к. т. н., профессор (Россия)

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

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

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

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

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

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

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

Шилдс Т. Дж., профессор (Великобритания)

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.

121352, г. Москва, а/я 43.

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

Подписано в печать 04.10.2013.

Формат 60x84 1/8. Тираж 5000 экз.

Бумага мелованная матовая. Печать офсетная.

Отпечатано в типографии "ГранПри", г. Рыбинск.



Founder:
"POZHNAUKA" Publishing House, Ltd.

Editorial Staff:
Editor-in-Chief **Korol'chenko A. Ya.**
Editorial director **Sokolova N. N.**
Editor **Krylova L. V.**

Address of Editorial Staff:

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 04.10.2013
Format is 60x84 1/8
Printing is 5 000 copies
Chalk-overlay mat paper
Offset printing

Chairman of Editorial Board:

Korol'chenko 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)

Kiryukhantsev Ye. Ye.,
Candidate of Technical Sciences, Professor (Russia)

Korolchenko D. A.,
Candidate of Technical Sciences (Russia)

Leybman M. Ye.,
Honoured Builder of the Russian Federation, Retired Colonel General (Russia)

Merkulov V. A.,
Candidate of Technical Sciences (Russia)

Mishuev A. V.,
Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of Russian Academy
of Natural Sciences (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)

Senin N. I.,
Candidate of Technical Sciences, Professor (Russia)

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

Puzach C. V.,
Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding Member of National
Academy of Fire Science (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)

Tychino N. A.,
Doctor of Technical Sciences, Corresponding Member of International
Academy of Ecology and Life Safety (Belarus)

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)

Thomas Jim Shields,
Professor (Great Britain)



80 лет

Академии ГПС — 80 лет: история становления

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС России) — ведущий вуз страны по подготовке специалистов в области пожарной безопасности.

История образования и становления Академии ГПС МЧС России как базового научно-образовательного учреждения системы МЧС России и РФ началась в 30-е годы прошлого века в г. Ленинграде. Для народного хозяйства РСФСР уже в первой пятилетке требовалось 650 пожарных специалистов высшей и 3384 средней квалификации. Чтобы их подготовить, планировалось открыть в 1930/1931 учебном году Московский, Уральский, Ленинградский (заочный) пожарные техникумы и Факультет для подготовки пожарных инженеров.

Подготовка преподавателей специальных дисциплин для открываемых пожарно-технических учебных заведений была организована в аспирантуре Научно-исследовательского института коммунального хозяйства (НИИХХ).

1 сентября 1933 г. при Ленинградском институте инженеров коммунального строительства (ЛИИКС) создается отделение противопожарной специальности. Именно эта дата считается днем основания Академии ГПС МЧС России. В 1936 г. создан Факультет инженеров противопожарной обороны (ФИПО) НКВД СССР, начальником которого был назначен П. В. Якобсон.

В начале Великой Отечественной войны слушатели ФИПО защищали блокадный Ленинград в составе 20-й стрелковой дивизии НКВД и УПО Ленинграда. В ожесточенных боях было потеряно около трети личного состава факультета.

Часть специалистов ФИПО была эвакуирована в Баку, где они продолжали свою преподавательскую работу. Всего с 1936 по 1948 гг. ФИПО сделал 10 выпусков. За этот период было обучено 286 слушателей, получивших квалификацию инженеров пожарной безопасности. После завершения работы в Баку многие преподаватели были переведены в Москву для подготовки специалистов противопожарной обороны на Высших пожарно-технических курсах (ВПТК).

В 1957 г. на базе ВПТК в г. Москве при Высшей школе МВД СССР создан Факультет инженеров противопожарной техники и безопасности. На факультете были организованы очное и заочное обучение слушателей, переподготовка и по-

вышение квалификации командного состава пожарной охраны. Выпускникам присваивалась квалификация инженера противопожарной техники и безопасности. На обучение принимался начальствующий состав ВПО, окончивший пожарно-технические училища, имеющий стаж практической работы не менее трех лет.

В 1969 г. начальником факультета стал А. Н. Смуров. При нем факультет был преобразован в Высшую инженерную пожарно-техническую школу МВД СССР (с 1991 г. — РФ).

В 1996 г. ВИПТШ реорганизована в Московский институт пожарной безопасности МВД России. На его базе в 1999 г. была создана Академия Государственной противопожарной службы МВД России. В 2002 г. в связи с передачей ГПС МВД России в состав МЧС России Академия переименована в Академию Государственной противопожарной службы МЧС России.

Академия ГПС — это не только крупнейший учебный, но и авторитетный научный и методический центр. На ее базе организованы учебно-научные и научно-образовательные комплексы, проводятся различные научные мероприятия. Ученые и специалисты Академии ежегодно готовят свыше 100 научно-исследовательских работ, выпускают учебную и методическую литературу (современные учебники, учебно-методические пособия, учебно-справочные материалы, компьютерные имитационные программы).

На сегодняшний день в Академии 24 кафедры, на которых трудятся свыше 200 докторов и кандидатов наук; ученое звание профессора имеют более 60 специалистов. Семи ученым Академии присвоено почетное звание «Заслуженный деятель науки и РФ», девятнадцать — «Заслуженный работник высшей школы РФ».

В 1977 г. за большой вклад в подготовку научно-педагогических и инженерно-технических специалистов для Венгрии Академия ГПС МЧС России (тогда ВИПТШ) была награждена орденом Дружбы Венгерской Республики. За высокий уровень подготовки научно-педагогических и инженерно-технических кадров для МВД Социалистической Республики Вьетнам Академия ГПС МЧС России дважды была награждена орденом Дружбы Социалистической Республики Вьетнам в 1983 и 2008 годах.

Академия ГПС ведет подготовку по нескольким образовательным программам, направлениям и специальностям. Слушатели получают высшее профессиональное образование по специальности «Пожарная безопасность» и «Государственное муниципальное управление».

Редакция журнала ПВБ от всей души поздравляет специалистов Академии ГПС МЧС с праздником и желает дальнейших успехов в их нелегкой работе. Мы гордимся тем, что работаем с Вами на протяжении многих лет, и уверены, что именно Ваша самоотверженность и преданность делу позволили поднять безопасность в стране на высокий уровень.

Статья подготовлена по материалам сайта <http://www.academygps.ru>

Н. В. БАРАНОВСКИЙ, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры теоретической и промышленной теплотехники Энергетического института Национального исследовательского Томского политехнического университета (Россия, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 30; e-mail: firedanger@yandex.ru)

А. В. ЗАХАРЕВИЧ, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры теоретической и промышленной теплотехники Энергетического института Национального исследовательского Томского политехнического университета (Россия, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 30; e-mail: bet@tpu.ru)

УДК 533.6

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАЖИГАНИЯ ТРАВЯНОЙ ВЕТОШИ НАГРЕТОЙ ДО ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР ЧАСТИЦЕЙ

Представлены экспериментальные данные по зажиганию типичного лесного горючего материала (травяной ветоши) нагретыми до высоких температур частицами металла. Показано, что источники зажигания соответствуют антропогенному сценарию воспламенения лесного горючего материала. Получены зависимости времени задержки зажигания травяной ветоши от начальной температуры частиц.

Ключевые слова: физическое моделирование; зажигание; лесной горючий материал; нагретая частица; время задержки зажигания.

Введение

Анализ причинно-следственных связей при возникновении очагов лесных пожаров, например, на территории Томской области показывает, что достаточно распространенным источником воспламенения являются нагретые до высоких температур частицы [1], которые могут выпадать на слой лесного горючего материала (ЛГМ). В лесных массивах произрастают различные древесные и травянистые растения [2], которые (или опад которых) после высыхания в естественных условиях могут стать проводниками горения [3]. Возникновение горения, как правило, начинается в напочвенном слое ЛГМ. Затем может развиваться низовой или верховой пожар [4]. Причем верховой пожар развивается в результате перехода пламени низового пожара на кроны деревьев [5]. В связи с этим необходимо в первую очередь прогнозирование низовых лесных пожаров на лесопокрываемых территориях. Современные системы прогнозирования лесной пожарной опасности как в России [6, 7], так и за рубежом [8–11] используют в основном эмпирическую или статистическую информацию по возгораниям в лесу, осредненную по большим территориям и интервалам времени. В Томском политехническом университете ведется разработка детерминированно-вероятностного подхода к прогнозированию лесной пожарной опасности [12, 13], в основе которого лежит вероятностный метод [14] и математическое моделирование процессов зажигания ЛГМ различными источниками

[15, 16], в том числе нагретыми до высоких температур частицами [17, 18].

Развитие математических методов прогнозирования возникновения лесных пожаров невозможно без проведения физического моделирования процессов зажигания ЛГМ и подкрепления теоретических результатов данными экспериментов. Эксперименты по зажиганию ЛГМ в муфельной печи показали, что различным горючим материалам соответствуют разные условия воспламенения [19], поэтому необходимо проведение опытов по зажиганию типичных ЛГМ нагретыми до высоких температур частицами. Ранее такие исследования были проведены с использованием в качестве объекта опад лиственных (листья березы) [20] и хвойных (хвоя сосны) [21] деревьев. В результате установлено, что и для такого локального источника, как нагретые до высоких температур частицы, условия воспламенения разных ЛГМ различаются. Нередко причиной возникновения пожаров становится переход на территорию лесного массива фронта сельскохозяйственного пала [22].

Цель исследования — физическое моделирование процессов зажигания типичного ЛГМ (травяной ветоши) нагретыми до высоких температур частицами металла и выявление основных закономерностей этого явления.

Методика и объект эксперимента

При проведении исследования была использована экспериментальная установка, которая подроб-

но описана в работах [23, 24]. Времена задержки зажигания ЛГМ определялись по методике [25]. Источники нагрева при возгорании ЛГМ моделировались в виде частиц, изготовленных из стального прутка в форме цилиндров с характерными размерами ($d = 8$ мм, $h = 17$ мм; $d = 6$ мм, $h = 13$ мм). Эксперименты выполнялись в интервале изменения начальных температур T_0 от 1113 до 1273 К. Этот диапазон был выбран для того, чтобы выделить нижние пределы зажигания исследуемого ЛГМ по температуре. Выбор стальных частиц в качестве источников нагрева обусловлен, во-первых, моделированием антропогенного сценария воздействия на ЛГМ и, во-вторых, обеспечением инертности частицы по отношению к нагретому слою ЛГМ и продуктам их пиролиза. Ранее было установлено, что при взаимодействии углеродистых частиц со слоем лесного горючего материала возможно протекание сложных физико-химических превращений костяка частицы и продуктов пиролиза и сгорания ЛГМ [26]. Для математической обработки результатов эксперимента была использована методика определения доверительных интервалов [27].

Первоначально объектом исследований являлись образцы травяной ветоши, плотность укладки которой соответствует реальным природным условиям [28]. Перед экспериментом травяная ветошь высушивалась в сушильном шкафу до полного удаления влаги [29].

Рассматривался сценарий катастрофической лесной пожарной опасности [30] аналогично [20, 21, 26]. События в Центральной России 2010 г. и в Томской обл. 2012 г. показали высокую актуальность рассмотрения данного сценария. Следует отметить, что катастрофические погодные условия периодически возникают на территории и других государств [30]. Общепланетарные процессы глобального потепления [31] приводят к росту числа и повышению интенсивности катастрофических проявлений метеорологических условий [32].

Основные закономерности и обсуждение

Как уже отмечалось, первоначально эксперименты были проведены с ЛГМ, уложенными слоями с плотностью, соответствующей условиям реальных лесных массивов [2]. Была проведена серия экспериментов с частицами размером $d = 8$ мм, $h = 17$ мм; $d = 6$ мм, $h = 13$ мм. После обработки опытных данных была установлена зависимость времени задержки зажигания ЛГМ от начальной температуры частицы, которая может быть хорошо аппроксимирована полиномом второй степени (параболой), что является неспецифичным для условий зажигания ЛГМ [20, 21, 26]. Графически данная информация

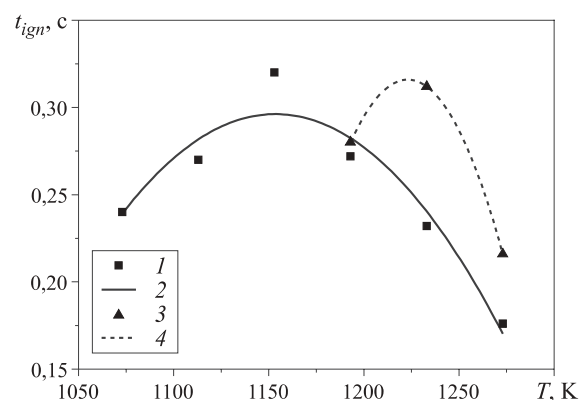


Рис. 1. Экспериментальные данные и аппроксимирующие кривые времен задержки зажигания травяной ветоши стальной частицей: 1, 2 — $d = 8$ мм, $h = 17$ мм, 1 — экспериментальные точки; 3, 4 — $d = 6$ мм, $h = 13$ мм, 3 — экспериментальные точки

представлена на рис. 1, из которого видно, что параболическая зависимость характерна для частиц различного размера. Однако нижний предел по начальной температуре нагретой частицы для отдельных источников локального нагрева различается. Тем не менее сохраняется общий тренд уменьшения времени задержки зажигания при увеличении начальной температуры выпадающей частицы. На рис. 2 представлены те же экспериментальные данные, но аппроксимированные прямыми. Доверительные интервалы для этих экспериментальных данных приведены в таблице.

Анализ визуальных наблюдений и кадров видеogramмы (рис. 3) показал, что возможна реализация двух сценариев взаимодействия нагретой частицы со слоем травяной ветоши.

В первом случае частица выпадает на поверхность листовой пластины отдельной травинки. На первом этапе происходит нагрев горючего материала, на втором — термическое разложение ЛГМ с выделением газообразных продуктов пиролиза, которые диффундируют в разогретую область (где наиболее благоприятные условия для ускорения химической реакции окисления продуктов термического разложения)

Доверительные интервалы времени задержки зажигания травяной ветоши (сценарий реальной плотности укладки)

Температура частицы, К	Доверительный интервал, с, для частицы размером	
	$d = 8$ мм, $h = 17$ мм	$d = 6$ мм, $h = 13$ мм
1073	0,051	Нет зажигания
1113	0,124	То же
1153	0,094	”
1193	0,119	0,127
1233	0,054	0,041
1273	0,027	0,057

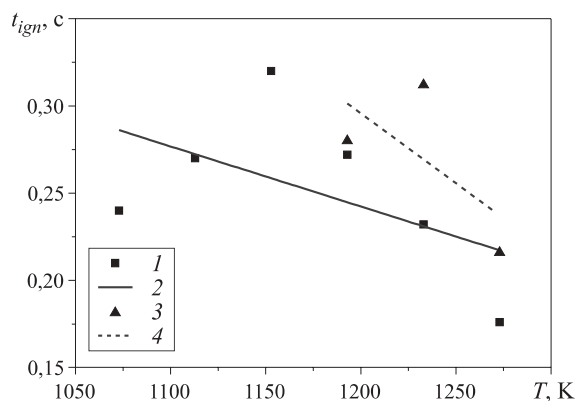


Рис. 2. Экспериментальные данные и аппроксимирующие прямые времен задержки зажигания травяной ветоши стальной частицей: 1, 2 — $d = 8$ мм, $h = 17$ мм, 1 — экспериментальные точки; 3, 4 — $d = 6$ мм, $h = 13$ мм, 3 — экспериментальные точки

в пристенной вертикальной подобласти в окрестности боковой поверхности частицы. Происходит их смешение с окислителем (кислород воздуха), нагрев и последующее воспламенение ЛГМ в газовой фазе.

Для второго сценария характерно более сложное взаимодействие горячей частицы со слоем ЛГМ. Частица при выпадении на навеску ЛГМ попадает в поровое пространство слоя и проникает в глубь его, что может сопровождаться попутным нагревом элементов травинок боковой поверхностью частицы и последующим пиролизом сухого органического вещества. Частица же проникает далее в глубь слоя и достигает поверхности листовой пластины нижерасположенной травинки. Начинается процесс нагрева и термического разложения. Возможно появление микрофакела пламени как у верхних ЛГМ, так и у поверхности листовой пластины травинки, на которую выпала частица. Возможно также объединение этих факелов пламени. Характерные кадры видеосъемки приведены на рис. 3. Естественно, времена задержки зажигания в таких опытах различаются, причем заметно (от 0,1 до 0,25). Наличие отдельных больших значений времен задержки зажигания t_{ign} приводит к росту их средних значений. Причем наибольшее влияние этот процесс оказывает в диапазоне температур 1173—1193 К, что приводит к параболической зависимости времени задержки зажигания ЛГМ от начальной температуры частицы металла. Проникновение вглубь обусловлено большей массой частицы стали по сравнению с углеродистыми источниками нагрева. По этим причинам было принято решение провести повторную серию опытов со слоями, плотность укладки которых была искусственно завышена. В каждом опыте частица выпадала на поверхность листовой пластины, т. е. была возможность проконтролировать все условия эксперимента. Зависимость времени задержки зажигания ЛГМ от начальной температуры час-



Рис. 3. Характерные кадры видеопленки процесса зажигания травяной ветоши нагретой до высоких температур частицей: а — воспламенение морфологических частей растительности в приповерхностном слое; б — проникновение частицы вглубь и воспламенение нижерасположенной листовой пластины с последующим объединением микрофакелов пламени

тицы размерами $d = 8$ мм, $h = 17$ мм представлена на рис. 4. Из рис. 4 видно, что на границах диапазона начальной температуры частицы доверительные интервалы несколько больше, чем в середине этого отрезка. Экспериментальные данные, полученные в опытах с уплотненным слоем ЛГМ, хорошо аппроксимируются прямой. Эти же закономерности

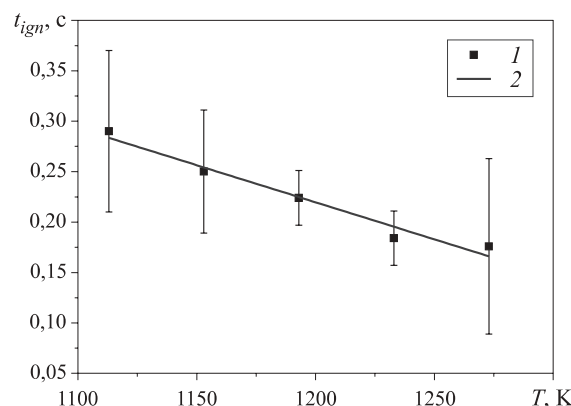


Рис. 4. Время задержки зажигания травяной ветоши стальной частицей (размеры $d = 8$ мм, $h = 17$ мм): 1 — экспериментальные точки с указанием доверительного интервала; 2 — аппроксимирующая прямая

характерны и для частицы меньшего размера. Естественно, что времена задержки зажигания ЛГМ для частицы с размерами $d = 6$ мм, $h = 13$ мм больше, чем для более крупной и массивной частицы, поскольку запас тепла у последней меньше.

Следует отметить, что постановка эксперимента со слоями ЛГМ с плотностью укладки, соответствующей реальным плотностям, также возможна. Только при этом необходимо учесть вероятностный характер исследуемого процесса. Возможно, следует адаптировать планы экспериментов [33] по зажиганию электрическим разрядом для условий проведения опытов с нагретыми частицами и в результате обработки экспериментальных данных вычислить вероятность зажигания ЛГМ по одному из рассмотренных сценариев.

Выводы

Выполнено экспериментальное исследование зажигания типичного ЛГМ — травяной ветоши нагретыми до высоких температур частицами металла. Установлено, что в случае плотности укладки слоя ЛГМ, соответствующей реальной, зажигание носит вероятностный характер с позиций учета взаимодействия частиц со слоем ЛГМ. Для таких экспери-

ментов характерна нетипичная зависимость времени задержки зажигания травяной ветоши от начальной температуры частицы, а именно параболическая. Серия опытов с уплотненным слоем ЛГМ показала, что зависимость времени задержки зажигания может быть аппроксимирована прямой.

Совместное использование теоретических результатов и экспериментальных данных по зажиганию типичных ЛГМ нагретыми до высоких температур частицами позволит разработать технологию прогностического моделирования лесной пожарной опасности. В отличие от ранее предложенного метода [34], объединяющего вероятностный прогноз и критерий Нестерова, будет создан подход к оценке вероятности возникновения лесных пожаров на базе физически обоснованных математических моделей, которые верифицированы на экспериментальных данных.

Работа выполнена при финансовой поддержке Федеральной целевой программы "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009–2013 годы (мероприятие 1.5). Соглашение № 14.В37.21.1979.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Янко И. В. Пирологическая оценка территории Томской области : дис. ... канд. геогр. наук. — Томск : Томский государственный педагогический университет, 2005. — 174 с.
2. Курбатский Н. П. Исследование свойств и количества лесных горючих материалов // Вопросы лесной пирологии. ИЛИД СО АН СССР. — Красноярск, 1970. — С. 5–58.
3. Курбатский Н. П. Сезонные изменения влажности хвои, листьев и веточек у основных древесных пород тайги // Вопросы лесной пирологии / ИЛИД СО АН СССР. — Красноярск, 1970. — С. 155–185.
4. Гришин А. М. Математическое моделирование лесных пожаров и новые способы борьбы с ними. — Новосибирск : Наука, 1992. — 408 с.
5. Гришин А. М., Перминов В. А. Переход низового лесного пожара в верховой // Физика горения и взрыва. — 1990. — Т. 26, № 6. — С. 27–35.
6. Нестеров В. Г. Горимость леса и методы ее определения. — М.—Л. : Гослесбумиздат, 1949. — 76 с.
7. Сухинин А. И., Пономарев Е. И. Картирование и краткосрочное прогнозирование пожарной опасности в лесах Восточной Сибири по спутниковым данным // Сибирский экологический журнал. — 2003. — № 6. — С. 669–675.
8. Canadian Forest Fire Danger Rating System / B. J. Stocks, M. E. Alexander, R. S. McAlpine et al. — Canadian Forestry Service, 1987. — 500 p.
9. Deeming I. E., Lancaster I. W., Fosberg M. A., Furman R. W., Schroeder M. J. The National Fire Danger Rating System // USDA Forest Service Research Paper RM-84 February, 1972. — 165 p.
10. Viegas D. X., Bovio G., Ferreira A. et al. Comparative study of various methods of fire danger evaluation in Southern Europe // Int. J. Wildland Fire. — 1999. — Vol. 10, No. 4. — P. 235–246.
11. Matthews S. A. A comparison of fire danger rating systems for use in forests // Australian Meteorological and Oceanographic Journal. — 2009. — Vol. 58. — P. 41–48.
12. Барановский Н. В. Модель дифференцированной оценки лесной пожарной опасности по антропогенным причинам // Безопасность жизнедеятельности. — 2009. — № 7. — С. 49–53.
13. Барановский Н. В. Модель прогноза и мониторинга лесной пожарной опасности // Экология и промышленность России. — 2008. — № 9. — С. 59–61.

14. Барановский Н. В. Оценка вероятности возникновения лесных пожаров с учетом метеоусловий, антропогенной нагрузки и грозовой активности // Пожарная безопасность. — 2009. — № 1. — С. 93–99.
15. Кузнецов Г. В., Барановский Н. В. Математическое моделирование зажигания дерева хвойной породы наземным грозовым разрядом // Пожаровзрывобезопасность. — 2008. — Т. 17, № 3. — С. 41–45.
16. Кузнецов Г. В., Барановский Н. В. Математическое моделирование зажигания дерева лиственной породы наземным грозовым разрядом // Пожаровзрывобезопасность. — 2009. — Т. 18, № 4. — С. 19–22.
17. Кузнецов Г. В., Барановский Н. В. Математическое моделирование зажигания слоя лесных горючих материалов нагретой до высоких температур частицей // Пожаровзрывобезопасность. — 2006. — Т. 15, № 4. — С. 42–46.
18. Кузнецов Г. В., Барановский Н. В. Пространственная постановка и численное исследование задачи о зажигании слоя лесного горючего материала нагретой до высоких температур частицей // Бутлеровские сообщения. — 2010. — Т. 22, № 12. — С. 30–37.
19. Митрофанов Д. П. Сравнение пирологических характеристик некоторых лесных горючих материалов // Вопросы лесной пирологии / ИЛИД СО АН СССР. — Красноярск, 1972. — С. 52–76.
20. Захаревич А. В., Барановский Н. В., Максимов В. И. Зажигание типичных лесных горючих материалов опада лиственных пород локальным источником энергии // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 6. — С. 23–28.
21. Барановский Н. В., Захаревич А. В., Максимов В. И. Условия зажигания слоя лесных горючих материалов при локальном нагреве // Химическая физика и мезоскопия. — 2012. — Т. 14, № 2. — С. 175–180.
22. Кузнецов Ю. А. Защита леса от сельскохозяйственных палов в Забайкалье. — Улан-Удэ : ОАО “Газетно-журнальный комплекс”, 2001. — 166 с.
23. Захаревич А. В., Кузнецов Г. В., Максимов В. И. Механизм зажигания бензина одиночной нагретой до высоких температур металлической частицей // Пожаровзрывобезопасность. — 2008. — Т. 17, № 5. — С. 39–42.
24. Кузнецов Г. В., Захаревич А. В., Максимов В. И. Зажигание дизельного топлива одиночной “горячей” металлической частицей // Пожаровзрывобезопасность. — 2008. — Т. 17, № 4. — С. 28–30.
25. Захаревич А. В., Кузнецов В. Т., Кузнецов Г. В., Максимов В. И. Зажигание модельных смесевых топливных композиций одиночной нагретой до высоких температур частицей // Физика горения и взрыва. — 2008. — Т. 44, № 5. — С. 54–57.
26. Захаревич А. В., Барановский Н. В., Максимов В. И. Экспериментальное исследование процессов зажигания опада широколиственных пород деревьев источником ограниченной энергоемкости // Экологические системы и приборы. — 2012. — № 7. — С. 18–23.
27. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. — М. : Высшая школа, 2003. — 479 с.
28. Маракулина С. Ю., Дегтева С. В. Изменение экологических условий, растительности и почв при восстановительных сукцессиях на суходольных лугах Кировской области // Теоретическая и прикладная экология. — 2008. — № 2. — С. 64–73.
29. Гришин А. М., Голованов А. Н., Долгов А. А., Лобода Е. Л., Барановский Н. В., Русаков С. В. Экспериментальное и теоретическое исследование сушки лесных горючих материалов // Известия ТПУ. — 2002. — Т. 305, вып. 2. — С. 31–43.
30. Кузнецов Г. В., Барановский Н. В. Прогноз возникновения лесных пожаров и их экологических последствий. — Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2009. — 301 с.
31. Flannigan M. D., Bergeron Y., Engelmark O., Wotton B. M. Future wildfire in circumboreal forests in relation to global warming // Journal of Vegetation Science. — 1998. — Vol. 9. — P. 469–476.
32. Flannigan M. D., Stocks B. J., Wotton B. M. Climate change and forest fires // Science of the Total Environment. — 2000. — Vol. 262, No. 3. — P. 221–229.
33. Latham D., Williams E. Lightning and forest fires // Forest fires: Behavior and Ecological Effects. — Netherlands, Amsterdam : Elsevier, 2001. — P. 375–418.
34. Барановский Н. В. Методика прогнозирования лесной пожарной опасности как основа нового государственного стандарта // Пожарная безопасность. — 2007. — № 4. — С. 80–84.

Материал поступил в редакцию 30 мая 2013 г.

PHYSICAL MODELING OF IGNITION OF GRASSY RAGS BY HEATED UP TO HIGH TEMPERATURES PARTICLE

BARANOVSKIY N. V., Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Assistant Professor of Theoretical and Industrial Heating Engineers Department, Power Engineering Institute of National Research Tomsk Polytechnic University (Lenina Avenue, 30, Tomsk, 634050, Russian Federation; e-mail address: firedanger@yandex.ru)

ZAKHAREVICH A. V., Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Assistant Professor of Theoretical and Industrial Heating Engineers Department, Power Engineering Institute of National Research Tomsk Polytechnic University (Lenina Avenue, 30, Tomsk, 634050, Russian Federation; e-mail address: bet@tpu.ru)

ABSTRACT

The analysis of relationships of cause and effect at occurrence of seats of forest fire, for example, in territory of Tomsk area shows, that widespread enough source of ignition are heated up to high temperatures particles which can drop out on a layer of a forest fuel.

Development of mathematical methods of the forecast of forest fire occurrence is impossible without carrying out of physical modeling of ignition processes of forest fuel and a reinforcement of theoretical consequences data of experiments. The experiments spent by the employee of Forest Institute (Krasnoyarsk), on forest fuel ignition in muffle furnace have shown, that for various combustible materials there correspond different conditions of ignition. Therefore it is necessary to spend experiences on typical forest fuel ignition by heated up to high temperatures particles.

Heating sources at forest fuel ignition were modeled made of steel bar by particles in the form of cylinders with the characteristic sizes ($d = 8$ mm, $h = 17$ mm; $d = 6$ mm, $h = 13$ mm). Experiments were carried out in the range of change of initial temperatures T_0 from 1113 to 1273 K.

The analysis of visual observations and visible record shots has shown, that realization of two scenarios of interaction heated particles with a layer of grassy rags is possible. In the first case the particle drops out on a surface of a lamina of a separate blade. Originally there is a combustible material heating. The second stage — thermal decomposition of forest fuel with emission of gaseous products of pyrolysis, which diffuse in heated area at a lateral surface of a particle. There is their mixture to an oxidizer (air oxygen) both heating and subsequent ignition of forest fuel in a gas phase. For the second scenario more difficult interaction of a hot particle with forest fuel layer is characteristic. The particle at loss on sample of forest fuel gets in porous space of a layer and gets deep into a layer. Great values of separate ignition delay times lead to growth of average values t_{ign} and the greatest influence this process influences in a range of temperatures 1173–1193 K, that leads to parabolic dependence of ignition delay time of forest fuel on initial temperature of a metal particle.

Experimental data of experiences with condensed forest fuel layer are well approximated by a straight line. The same laws are characteristic and for a particle of the smaller size. It is natural, that ignition delay times of forest fuel for a particle with the sizes $d = 6$ mm, $h = 13$ mm more than for larger and massive particle. As the stock of heat at last is less.

Keywords: physical modeling; ignition; forest fuel; heated particle; ignition delay time.

REFERENCES

1. Yanko I. V. *Pirologicheskaya otsenka territorii Tomskoy oblasti: dis. kand. geogr. nauk* [Pyrological estimation of Tomsk region. Cand. geography sci. diss.]. Tomsk, Tomsk State Pedagogical University, 2005. 174 p.
2. Kurbatskiy N. P. Issledovaniye svoystv i kolichestva lesnykh goryuchikh materialov [Research of properties and quantity of forest combustible materials]. *Voprosy lesnoy pirologii — Questions of Forest Pyrology*, IFandW AS USSR, Krasnoyarsk, 1970, pp. 5–58.
3. Kurbatskiy N. P. Sezonnnyye izmeneniya vlazhnosti khvoi, listyev i vetochek u osnovnykh drevesnykh porod taygi [Seasonal change of humidity of needles, leaves and branches at the basic tree species of a taiga]. *Voprosy lesnoy pirologii — Questions of Forest Pyrology*, IFandW AS USSR, Krasnoyarsk, 1970, pp. 155–185.

4. Grishin A. M. *Matematicheskoye modelirovaniye lesnykh pozharov i novyye sposoby borby s nimi* [Mathematical modeling of forest fires and new ways of struggle against them]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1992. 408 p.
5. Grishin A. M., Perminov V. A. Perekhod nizovogo lesnogo pozhara v verkhovoy [Transition of surface forest fire in crown fire]. *Fizika gorenii i vzryva — Physics of Burning and Explosion*, 1990, vol. 26, no. 6, pp. 27–35.
6. Nesterov V. G. *Gorimost lesa i metody yeye opredeleniya* [Combustibility of forests and methods of its definition]. Moscow–Leningrad, Goslesbumizdat, 1949. 76 p.
7. Sukhinin A. I., Ponomarev E. I. Kartirovaniye i kratkosrochnoye prognozirovaniye pozharney opasnosti v lesakh Vostochnoy Sibiri po sputnikovym dannym [Mapping and short-term forecasting of fire danger in forests of Eastern Siberia on satellite data]. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal — Siberian Ecological Journal*, 2003, no. 6, pp. 669–675.
8. Stocks B. J., Alexander M. E., McAlpine R. S. et al. *Canadian Forest Fire Danger Rating System*. Canadian Forestry Service, 1987. 500 p.
9. Deeming I. E., Lancaster I. W., Fosberg M. A., Furman R. W., Schroeder M. J. The National Fire-Danger Rating System. *USDA Forest Service Research Paper RM-84 February*, 1972. 165 p.
10. Viegas D. X., Bovio G., Ferreira A. et al. Comparative study of various methods of fire danger evaluation in Southern Europe. *International Journal of Wildland Fire*, 1999, vol. 10, no. 4, pp. 235–246.
11. Matthews S. A. A comparison of fire danger rating systems for use in forests. *Australian Meteorological and Oceanographic Journal*, 2009, vol. 58, pp. 41–48.
12. Baranovskiy N. V. Model differentsirovannoy otsenki lesnoy pozharney opasnosti po antropogennym prichinam [Model of the differentiated estimation of forest fire danger for the anthropogenous reasons]. *Bezopasnost zhiznedeyatel'nosti — Safety of Ability to Live*, 2009, no. 7, pp. 49–53.
13. Baranovskiy N. V. Model prognoza i monitoring lesnoy pozharney opasnosti [Forecasting and monitoring model of forest fire danger]. *Ekologiya i promyshlennost Rossii — Ecology and Industry of Russia*, 2008, no. 9, pp. 59–61.
14. Baranovskiy N. V. Otsenka veroyatnosti vozniknoveniya lesnykh pozharov s ucheto meteorosloviy, antropogennoy nagruzki i grozovoy aktivnosti [Estimation of forest fire occurrence probability taking into account meteorconditions, anthropogenous loading and storm activity]. *Pozharnaya bezopasnost — Fire Safety*, 2009, no. 1, pp. 93–99.
15. Kuznetsov G. V., Baranovskiy N. V. Matematicheskoye modelirovaniye zazhiganiya dereva khvoynoy porody nazemnym grozovym razryadom [Mathematical modeling of coniferous tree ignition by ground lightning discharge]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2008, vol. 17, no. 3, pp. 41–45.
16. Kuznetsov G. V., Baranovskiy N. V. Matematicheskoye modelirovaniye zazhiganiya dereva listvennoy porody nazemnym grozovym razryadom [Mathematical modeling of deciduous tree ignition by ground lightning discharge]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2009, vol. 18, no. 4, pp. 19–22.
17. Kuznetsov G. V., Baranovskiy N. V. Matematicheskoye modelirovaniye zazhiganiya sloya lesnykh goryuchikh materialov nagretoy do vysokikh temperatur chastitsey [Mathematical modeling of forest fuel layer ignition by heated up to high temperatures particle]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2006, vol. 15, no. 4, pp. 42–46.
18. Kuznetsov G. V., Baranovskiy N. V. Prostranstvennaya postanovka i chislennoye issledovaniye zadachi o zazhigani sloya lesnogo goryuchego materiala nagretoy do vysokikh temperatur chastitsey [Spatial statement and numerical research of a problem about forest fuel layer ignition by heated up to high temperatures particle]. *Butlerovskiyee soobshcheniya — Butlerov Communications*, 2010, vol. 22, no. 12, pp. 30–37.
19. Mitrophanov D. P. Sravneniye pirologicheskikh kharakteristik nekotorykh lesnykh goryuchikh materialov [Comparison of pyrological characteristics of some forest combustible materials]. *Voprosy lesnoy pirologii — Questions of Forest Pyrology*, IFandW AS USSR, Krasnoyarsk, 1972, pp. 52–76.
20. Zakharevich A. V., Baranovskiy N. V., Maksimov V. I. Zazhiganiye tipichnykh lesnykh goryuchikh materialov opada listvennykh porod lokalnym istochnikom energii [Ignition of typical forest fuel — leaves of deciduous breeds by local energy source]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 6, pp. 23–28.
21. Baranovskiy N. V., Zakharevich A. V., Maksimov V. I. Usloviya zazhiganiya sloya lesnykh goryuchikh materialov pri lokalnom nagreve [Conditions of ignition of forest fuel layer at local heating]. *Khimicheskaya fizika i mezokopiya — Chemical Physics and Mesoscopy*, 2012, vol. 14, no. 2, pp. 175–180.

22. Kuznetsov Yu. A. *Zashchita lesa ot selskokhozyaystvennykh palov v Zabaykalye* [Protection of forest from agricultural fires in Transbaikalia]. Ulan-Ude, Gazetno-zhurnalnyy kompleks Publ., 2001. 166 p.
23. Zakharevich A. V., Kuznetsov G. V., Maksimov V. I. Mekhanizm zazhiganiya benzina odinochnoy nagretoy do vysokikh temperatur metallicheskey chastitsey [The mechanism of ignition of gasoline by single heated up to high temperatures metal particle]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2008, vol. 17, no. 5, pp. 39–42.
24. Kuznetsov G. V., Zakharevich A. V., Maksimov V. I. Zazhiganiye dizelnogo topliva odinochnoy goryuchey metallicheskey chastitsey [Ignition of diesel fuel by a single “hot” metal particle]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2008, vol. 17, no. 4, pp. 28–30.
25. Zakharevich A. V., Kuznetsov V. T., Kuznetsov G. V., Maksimov V. I. Zazhiganiye modelnykh smesevykh toplivnykh kompozitsiy odinochnoy nagretoy do vysokikh temperatur chastitsey [Ignition of modeling mix fuel compositions by single heated up to high temperatures]. *Fizika gorennya i vzryva — Physics of Burning and Explosion*, 2008, vol. 44, no. 5, pp. 54–57.
26. Zakharevich A. V., Baranovskiy N. V., Maksimov V. I. Eksperimentalnoye issledovaniye protsessov zazhiganiya opada shirokolistvennykh porod derevyev istochnikom ogranichennoy energoemkosti [Experimental research of ignition processes of deciduous tree leaves by source of limited power consumption]. *Ekologicheskiye systemy i pribory — Ecological Systems and Devices*, 2012, no. 7, pp. 18–23.
27. Gmurman V. E. *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika* [Probability theory and the mathematical statistics]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2003. 479 p.
28. Marakulina S. Yu., Degteva S. V. Izmeneniya ekologicheskikh usloviy, rastitelnosti i pochv pri vosstanovitelnykh suksessiyakh na sukhodolnykh lugakh Kirovskoy oblasti [Change of ecological conditions, vegetation and soils at regenerative successions on upland meadows of the Kirov region]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya — Theoretical and Applied Ecology*, 2008, no. 2, pp. 64–73.
29. Grishin A. M., Golovanov A. N., Dolgov A. A., Loboda E. L., Baranovskiy N. V., Rusakov S. V. Eksperimentalnoye i teoreticheskoye issledovaniye sushki lesnykh goryuchikh materialov [Experimental and theoretical research of drying of forest combustible materials]. *Izvestiya TPU — Tomsk Polytechnic University Communications*, 2002, vol. 305, no. 2, pp. 31–43.
30. Kuznetsov G. V., Baranovskiy N. V. *Prognoz vozniknoveniya lesnykh pozharov i ikh ekologicheskikh posledstviy* [Forecast of forest fires occurrence and their ecological consequences]. Novosibirsk, Publishing house of the Siberian Branch of the Russian Academy of Science, 2009. 301 p.
31. Flannigan M. D., Bergeron Y., Engelmark O., Wotton B. M. Future wildfire in circumboreal forests in relation to global warming. *Journal of Vegetation Science*, 1998, vol. 9, pp. 469–476.
32. Flannigan M. D., Stocks B. J., Wotton B. M. Climate change and forest fires. *Science of the Total Environment*, 2000, vol. 262, no. 3, pp. 221–229.
33. Latham D., Williams E. Lightning and forest fires. *Forest fires: Behavior and Ecological Effects*. Netherlands, Amsterdam, Elsevier, 2001, pp. 375–418.
34. Baranovskiy N. V. Metodika prognozirovaniya lesnoy pozharney opasnosti kak osnova novogo gosudarstvennogo standarta [Technique of forecasting of forest fire danger as a basis of new state standard]. *Pozharnaya bezopasnost — Fire Safety*, 2007, no. 4, pp. 80–84.

Безопасность Охрана труда



15-я специализированная
выставка



**26-28
ноября**

Место проведения:
**г. Екатеринбург,
МВЦ «Екатеринбург-ЭКСПО»**



Организатор:
УРАЛЬСКИЕ ВЫСТАВКИ
Тел.: +7 (343) 310-03-30
www.uv66.ru

Р. С. ВОЛКОВ, ассистент, Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Россия, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 30; e-mail: romanvolkov@tpu.ru)

Г. В. КУЗНЕЦОВ, д-р физ.-мат. наук, профессор, Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Россия, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 30; e-mail: elf@tpu.ru)

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

УДК 536.4

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛНОТЫ ИСПАРЕНИЯ РАСПЫЛЕННОЙ ВОДЫ ПРИ ЕЕ ДВИЖЕНИИ ЧЕРЕЗ ПЛАМЯ

Выполнено экспериментальное исследование полноты испарения распыленной воды при движении через высокотемпературные продукты сгорания. Определены численные значения скорости, массы и размеров водяных капель после прохождения их через пламя фиксированной высоты. Проанализированы эффекты, связанные с влиянием “соседних” капель на условия парообразования. Установлены параметры распыления воды, при которых обеспечивается полнота ее испарения.

Ключевые слова: пожар; тушение; распыленная вода; капли воды; полнота испарения.

Введение

В последние годы в научной литературе достаточно часто формулируются заключения о целесообразности использования специальных распылительных систем при тушении пожаров различной степени сложности [1–9]. Известны результаты как аналитических, так и экспериментальных исследований эффективности использования распылителей при ликвидации различных возгораний. Однако результатов фундаментальных исследований физических процессов, протекающих при движении распыленной воды через пламя, опубликовано не так много, несмотря на то что о целесообразности их проведения говорилось неоднократно [1–3]. В частности, разработан ряд моделей теплопереноса [10–18] для исследования фазовых переходов при испарении капель тушащей жидкости, движущихся через пламя, в условиях сложного сопряженного конвективного и кондуктивного теплообмена. Установлены интегральные характеристики испарения одиночных и совокупности нескольких капель. Определено влияние скорости, размеров и температуры капель на полноту их испарения. Однако вследствие интенсивных фазовых переходов и сложных условий теплообмена численные модели [10–18] трудно (определяющую роль играют ограничения по числу узлов пространственных и временных сеток) развивать на большие объемы распыляемой ту-

шащей жидкости и сверхмалые (до 10 мкм) размеры капель.

Анализ состояния таких важных научных направлений, как режимы течения двухфазных потоков и фазовые переходы в условиях сопряженного конвективного и кондуктивного теплообмена, показал, что для исследования движения мелкодисперсных пароводяных потоков в области высокотемпературных газов рекомендуется использовать либо специализированные математические пакеты [19–21], либо современные высокоскоростные экспериментальные методы диагностики, в частности PIV, PTV и LIF [22–24]. Из-за достаточно узкой специализации известных математических пакетов [19–21] затруднительно их применение без обязательной и очень трудоемкой процедуры адаптации. Проведение таких операций усложняет нередко закрытые для редактирования в коммерческих пакетах функции и различные операнды. Поэтому представляется целесообразным для исследований закономерностей испарения распыленной водой в зоне высокотемпературного пламени использовать высокоскоростные экспериментальные методы диагностики [22–24].

Цель настоящей работы — экспериментальное исследование полноты испарения распыленной воды при движении через пламя фиксированной высоты с помощью диагностической измерительной PIV-системы.

Методика проведения эксперимента

В работе использована схема, предусматривающая распыление рабочей жидкости с определенной высоты в зону пламени (рис. 1). Для повышения качества видеogramм применялась вода с примесью (до 0,5 %) специальных «трассирующих» частиц — наночастиц диоксида титана TiO_2 . Рабочая жидкость 8 из емкости 7 подавалась в распылитель 9, который использовался для формирования совокупности капель (см. рис. 1). Для регистрации изображений движущихся капель применялась измерительная PIV-система, состоящая из генератора лазерного излучения 3, двойного твердотельного импульсного лазера 4, кросскорреляционной камеры 5, синхронизатора 2 и ПК 1. С использованием специализированного программного обеспечения результаты видеосъемки кадрировались (задержка между кадрами составляла 100 мс), строились поля скоростей двухфазного потока, а также определялись скорости, линейные размеры и концентрации капель в рабочей области. Типичные диагностические PIV-системы и соответствующие экспериментальные методики описаны в [25].

Серии экспериментов проводились за малые интервалы времени с целью минимизации расхождений условий проведения опытов, а также обеспечения постоянства состава рабочей жидкости и продуктов сгорания.

В качестве интегральных параметров исследуемого процесса приняты скорость движения, размеры, масса и концентрация капель жидкости в рабочей области. Регистрировались видеogramмы на входе в цилиндр 13 (высота 1 м) и после прохождения зоны пламени (см. рис. 1). В основании цилинд-

рической трубы 13 установлен цилиндр 14, во внутреннее пространство которого заливалось и поджигалось типичное жидкое топливо (керосин). Для повышения качества видеосъемки применена процедура лазерного подсвечивания траектории движения пароводяного потока.

Постоянство размеров и концентраций совокупности капель в серии опытов обеспечивалось соответствующими настройками распылителя рабочей жидкости 8. Размеры капель варьировались в интервале $0,075 < R < 0,375$ мм. При обработке видеogramм для оценки изменения характеристик испарения капель последние условно разделены на три группы: малые — $0,075 < R_m < 0,175$ мм; средние — $0,175 < R_c < 0,275$ мм; большие — $0,275 < R_b < 0,375$ мм.

Температура продуктов сгорания в цилиндрическом канале 13, контролируемая хромель-копелевыми термопарами 15, составляла (1070 ± 30) К. Использовалась методика термопарных измерений [26]. Измерения температуры выполнялись на разных по высоте отметках в зоне движения продуктов сгорания (см. рис. 1). Постоянство (отклонения не более 0,1 м) высоты пламени и, как следствие, температуры в зоне горения обеспечивалось стабильностью внешних условий проведения эксперимента (температура и скорость движения воздушных потоков в помещении и др.).

После проведения опытов видеокдры обрабатывались с использованием специализированного программного обеспечения, входящего в состав измерительной PIV-системы. Строились поля скоростей распыленной жидкости в рабочей области. Обработка видеоизображений проводилась на основе кросскорреляционного алгоритма, представляющего

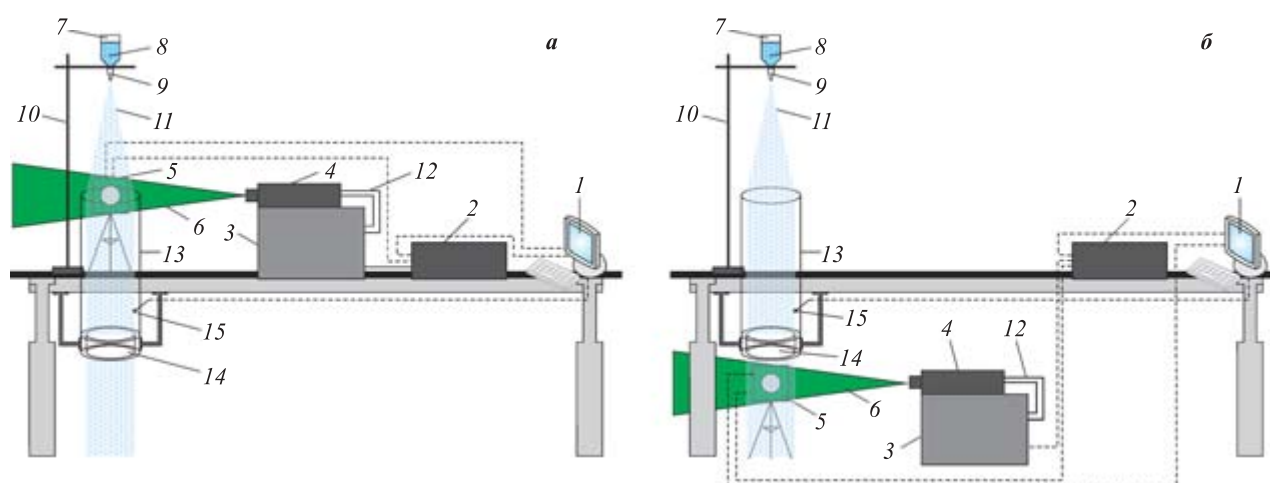


Рис. 1. Схема экспериментальной установки № 1 для видеорегистрации капель до (а) и после (б) прохождения ими зоны пламени: 1 — ПК; 2 — синхронизатор ПК, кросскорреляционной камеры и лазера; 3 — генератор лазерного излучения; 4 — двойной твердотельный импульсный лазер; 5 — кросскорреляционная камера; 6 — световой «нож»; 7 — емкость с рабочей жидкостью; 8 — рабочая жидкость; 9 — распылитель; 10 — штатив; 11 — капли рабочей жидкости; 12 — канал движения охлаждающей жидкости лазера; 13 — цилиндр из жаростойкого светопрозрачного материала; 14 — полый цилиндр, во внутреннее пространство которого залита горючая жидкость; 15 — термопары

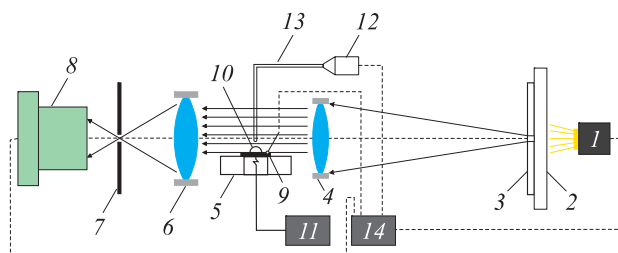


Рис. 2. Схема экспериментальной установки № 2: 1 — источник света; 2 — матовое стекло; 3 — щель; 4 — коллимирующая линза; 5 — держатель для металлической подложки (с отверстием для нагревательной спирали); 6 — конденсирующая линза; 7 — непрозрачный щит с отверстием; 8 — камера с объективом; 9 — подложка; 10 — капля; 11 — лабораторный автотрансформатор; 12 — автоматический дозатор; 13 — шланг для подвода исследуемой жидкости непосредственно к подложке; 14 — ПК

собой метод быстрого преобразования Фурье с добавлением условий выполнения корреляционной теоремы [25]. Для уменьшения случайных корреляций (эффекта “потери пары”) применялись наложенные (top-hat) приложения [25].

Погрешности определения размеров капель согласно методике [27] составляли 0,044 мм. Случайные погрешности измерения массы капель, оцениваемые по методике [28], для рассматриваемой установки (см. рис. 1) не превышали 1 %. Среднеквадратичные отклонения массы в серии опытов составляли 0,00006 г.

Дополнительно проведена серия опытов для сравнения времени испарения капель воды без примеси “трассирующих” частиц и двухкомпонентной рабочей жидкости (с добавками нанодиоксида титана). Схема установки (рис. 2) предполагала испарение капель на металлической подложке. При обработке видеок кадров использовался “теневого” метод [29]. Капли рабочей жидкости освещались равномерным

светом с последующей фиксацией формы капли по ее тени. Температура подложки, регистрируемая хромель-копелевой термопарой, составляла (328 ± 2) К. Процесс испарения считался завершенным в момент исчезновения тени капли [29].

Случайные погрешности экспериментов по испарению капель на подложке (см. рис. 2), вычисленные аналогично основному эксперименту, составили 2,7 % (вода без “трассирующих” частиц) и 1,1 % (вода с примесью нанопорошка TiO_2). Систематические погрешности, оцениваемые по методике [28], при погрешностях видеокамеры 0,025 %, хромель-копелевой термопары 0,172 % и дозатора 0,5 % не превышали 0,3 %.

Результаты экспериментов и их обсуждение

Полученные при проведении опытов типичные видеogramмы распыленной жидкости и соответствующие им поля скоростей совокупности капель приведены на рис. 3 и 4. Из них видно, что после прохождения жидкостью высокотемпературной зоны пламени общая концентрация капель значительно (в несколько раз) снижается. При этом скорость двухфазного пароводяного потока уменьшается более чем на 30 % (см. рис. 4,б) относительно начальной (см. рис. 3,б).

По полученным видеogramмам и полям скоростей (см. рис. 3 и 4) выполнен численный анализ основных параметров испарения распыленной жидкости, движущейся в виде совокупности капель через пламя. В таблице приведены результаты для разных по размерам капель (группа 1 — малые, группа 2 — средние, группа 3 — большие).

Установлено, что при прохождении совокупности рассматриваемых капель ($0,075 < R_{\text{cp}} < 0,375$ мм)

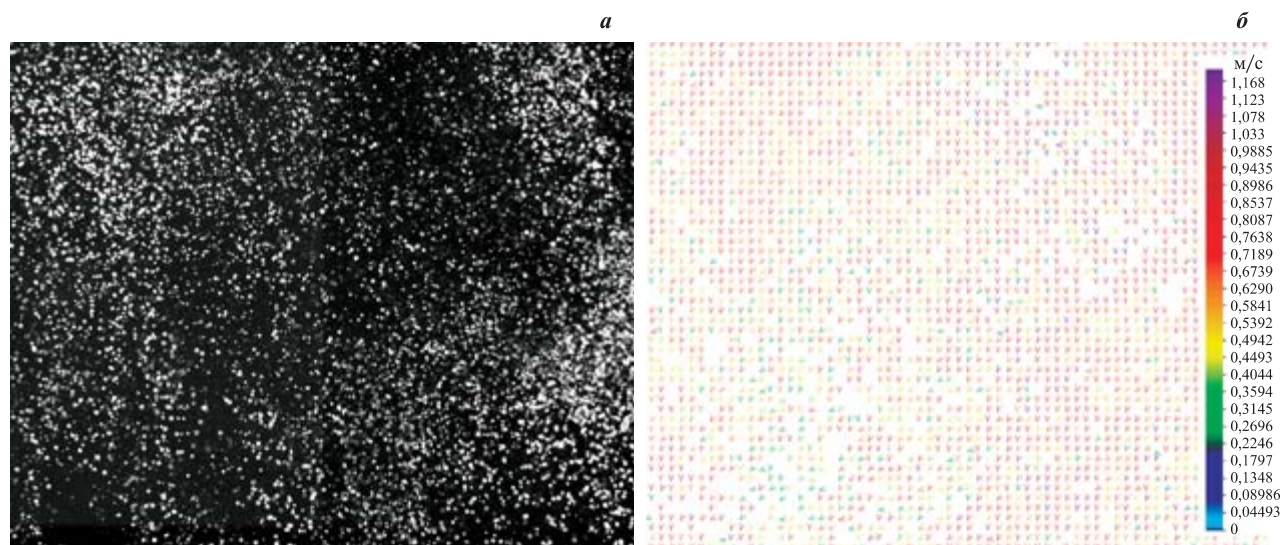


Рис. 3. Видеogramма (а) и поле скорости (б) потока капель на входе в канал с пламенем

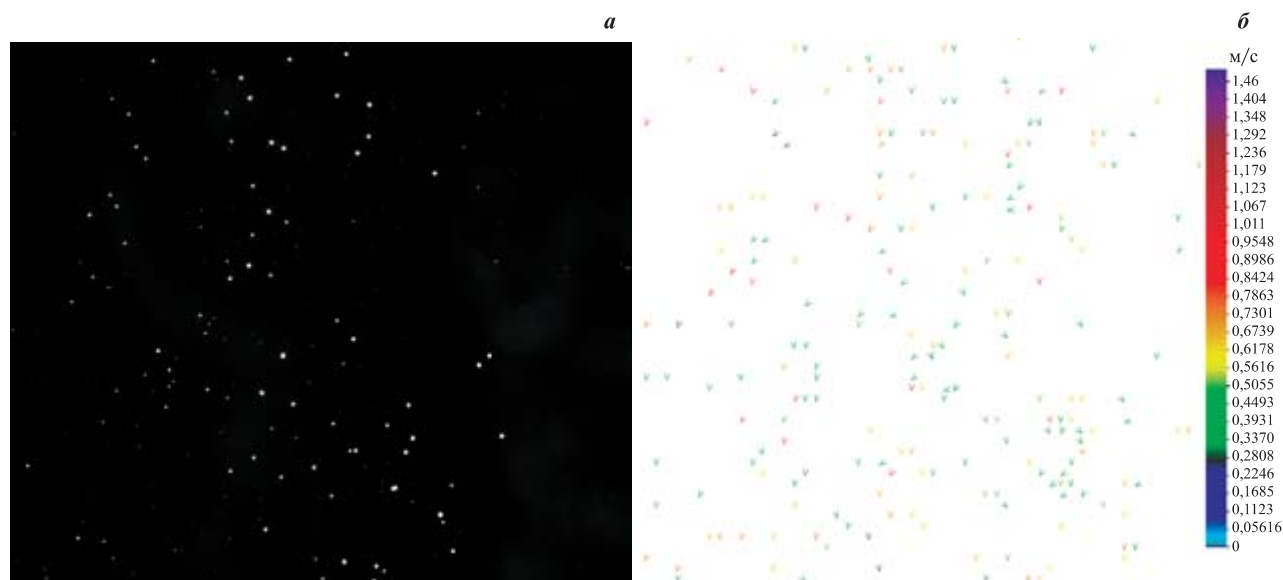


Рис. 4. Видеограмма (а) и поле скорости (б) потока капель на выходе из зоны пламени

расстояния 1 м (высота пламени) концентрация их в потоке $\alpha_{\text{ср}}$ существенно снижается (см. рис. 4) относительно начальной (см. рис. 3). Среди прошедших через пламя капель жидкости практически отсутствуют крупные капли размером $R_6 > 0,275$ мм, а поток на 94,3 % (суммарная концентрация $\alpha_{\text{ср}}$ для капель групп 1 и 2) состоит из малых и средних ка-

пель (см. рис. 4). Этот результат можно объяснить тем, что в процессе испарения при прохождении зоны продуктов сгорания масса $m_{\text{ср}}$ больших капель уменьшается на 70 % (см. таблицу), а средних — на 85 %. Малые капли испаряются полностью ($m_{\text{ср}} \rightarrow 0$ и $R_{\text{ср}} \rightarrow 0$).

Эксперименты показали, что около 12–18 % малых и средних капель, движущихся во фронте потока, уносятся с уходящими дымовыми газами на входе в канал (не попадают в область горения). Это можно объяснить относительно высокими (до 0,3 м/с) скоростями восходящих продуктов сгорания и достаточно малой массой рассматриваемых капель.

По полученным значениям $m_{\text{ср}}$, $R_{\text{ср}}$ и $\alpha_{\text{ср}}$, приведенным в таблице, можно сделать вывод о существенном изменении структуры двухфазного парожидкостного потока при движении его через высокотемпературные продукты сгорания. Так, например, на входе в канал 13 (см. рис. 1) зарегистрирована следующая относительная концентрация капель $\alpha_{\text{ср}}$: группа 1 — 44,27 %, группа 2 — 40,13 %, группа 3 — 15,47 %. На выходе соответствующие значения $\alpha_{\text{ср}}$ составили: группа 1 — 43,07 %, группа 2 — 51,20 %, группа 3 — 5,73 %. Эти результаты показывают, что при увеличении длины пути распыленной жидкости в области высокотемпературных газов значительно возрастает концентрация малых капель, а для больших и средних $\alpha_{\text{ср}} \rightarrow 0$. Поэтому для полноты испарения распыленной жидкости целесообразно параметры распыления (в частности, $R_{\text{ср}}$) выбирать исходя из характерных размеров областей, заполненных высокотемпературными газами.

Установлено, что скорость капель на выходе из области горения $v_{\text{ср}}$ снижается на 0,217 м/с относительно скорости на входе в канал (см. таблицу). Это

Основные интегральные характеристики испарения капель рабочей жидкости

Параметр	Номер группы	Значение параметра	
		на входе в канал	на выходе из канала
Средний радиус $R_{\text{ср}}$, мм	1	0,132	0
	2	0,215	0,114
	3	0,302	0,204
Средняя масса $m_{\text{ср}}$, г	1	$0,958 \cdot 10^{-5}$	0
	2	$4,134 \cdot 10^{-5}$	$0,622 \cdot 10^{-5}$
	3	$11,523 \cdot 10^{-5}$	$3,566 \cdot 10^{-5}$
Средняя относительная концентрация:			
$\alpha_{\text{ср}}$, %	1	44,27	43,07
	2	40,13	51,20
	3	15,47	5,73
$\gamma_{\text{ср}}$, ед./см ³	1	54,864	1,029
	2	49,331	1,234
	3	18,948	0,137
Общая концентрация в рабочей области $\gamma_{\text{общ}}$, ед./см ³		123,333	2,401
Средняя скорость $v_{\text{ср}}$, м/с		0,697	0,479



Рис. 5. Видеограмма с "тандемами" капель на выходе из зоны пламени

обусловлено как движением продуктов сгорания, так и интенсивным фазовым переходом при парообразовании. Полученный результат хорошо коррелирует с зависимостями, полученными для скорости движения и времени существования водяных капель при проведении численного моделирования с использованием постановок [10–18].

По результатам численных исследований ранее [11–13] было показано, что большую роль при движении капель рабочей жидкости через высокотемпературные газы играет их положение относительно друг друга. Из анализа изотерм и изолиний концентраций продуктов сгорания установлено [11], что при последовательном движении нескольких капель первые из них создают условия для существенного снижения скоростей испарения последующих капель. В серии экспериментов (см. рис. 1) также выявлена аналогичная закономерность. На рис. 5 приведена видеограмма, из которой видно, что относительно большие капли рабочей жидкости располагаются в следе существенно меньших капель.

Полученный результат можно объяснить тем, что капли при испарении значительно снижают температуру (рис. 6) смеси продуктов сгорания и водя-

ных паров в своем следе [11]. Процессы парообразования в окрестности последующих капель в таких условиях замедляются. В условиях высоких температур при интенсивном эндотермическом фазовом переходе скорости движения капель (особенно во фронте потока) снижаются (см. рис. 4,б). Как следствие, расстояние между предыдущей и последующей каплями уменьшается. Этим можно объяснить то, что на рис. 5 некоторые следующие друг за другом капли практически сливаются в одну (зарегистрировано несколько "объединенных" фрагментов). Эксперименты показали, что, скорее всего, по сформулированным уже причинам каждая последующая капля потока рабочей жидкости медленнее испаряется и проходит существенно больший путь относительно предыдущей.

Для оценки влияния на характеристики испарения капель наличия в них примеси "трассирующих" частиц TiO_2 проведено сравнение времени испарения капель рабочей жидкости, используемой в основном эксперименте, и воды без примеси TiO_2 . Исследования выполнены с использованием экспериментальной установки, схема которой приведена на рис. 2. Определялись скорости изменения размеров капель по их тени при парообразовании и фиксировались значения времени полного испарения $\tau_{\text{и}}$. Значения времени полного испарения капель воды и двухкомпонентной жидкости (с концентрацией TiO_2 0,5 %, соответствующей основному эксперименту) приведены на рис. 7.

Из анализа рис. 7 установлено, что отклонения по основным интегральным характеристикам — временам испарения капель воды и смеси с нанопорошком TiO_2 не превышают 0,62 %, поэтому можно сделать вывод о правомерности интерполяции полу-

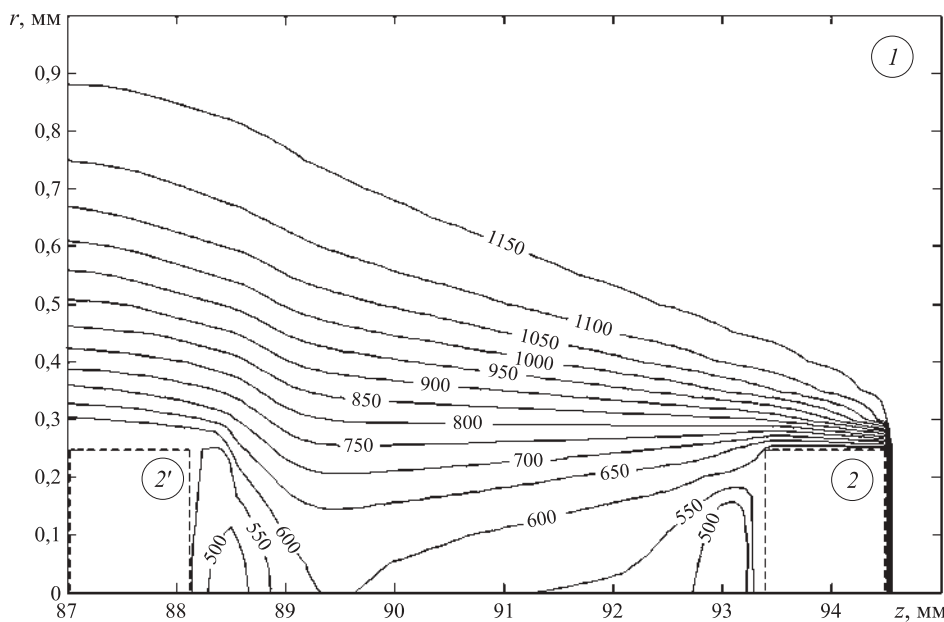


Рис. 6. Изотермы в окрестности "тандема" капель, движущихся через пламя: 1 — высокотемпературная газовая среда; 2 — первая капля; 2' — вторая капля [11]

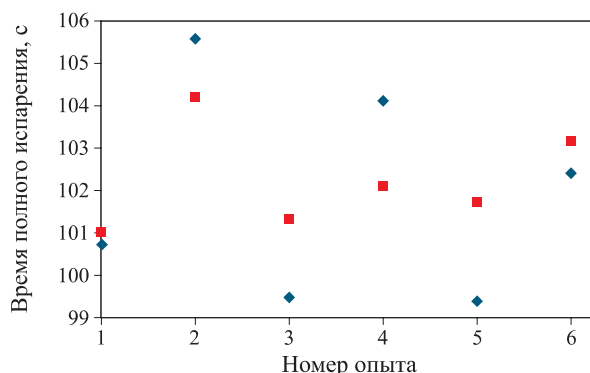


Рис. 7. Время полного испарения τ_p капель воды без примеси (■) и смеси воды с “трассирующими” частицами (◆)

ченных результатов для рабочей жидкости с “трассирующими” частицами на воду без специализированных примесей.

Заключение

Результаты серии экспериментов с использованием высокоскоростной измерительной PIV-системы показали, что для обеспечения полноты испарения воды при движении через пламя высотой 1 м

целесообразно ее распыление до достижения размеров капель $R < 0,175$ мм. Для пламени высотой более 1 м по результатам экспериментов можно рекомендовать, в первую очередь, увеличение не размеров капель $R_{ср}$, а их концентрации $\alpha_{ср}$ в потоке распыленной жидкости.

Установлено существенное влияние капель, движущихся во фронте потока, на интенсивность испарения следующих за ними капель. Показано хорошее соответствие результатов экспериментов полученным ранее показателям численного моделирования испарения “тандема” капель в области высокотемпературных газов [11].

Выявленные в экспериментах закономерности испарения распыленной воды при ее движении через пламя фиксированной высоты позволяют сделать вывод о правомерности основных теоретических заключений [10–18].

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Karpov A. I., Novozhilov V. B., Galat A. A., Bulgakov V. K. Numerical modeling of the effect of fine water mist on the small scale flame spreading over solid combustibles // Fire Safety Science : Proceeding of Eight International Symposium. — 2005. — Vol. 27. — P. 753–764.
2. 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.
3. Душкин А. Л., Ловчинский С. Е. Взаимодействие пламени горючей жидкости с тонкораспыленной водой // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 11. — С. 53–55.
4. Корольченко Д. А., Громоной В. Ю., Ворогушин О. О. Применение тонкораспыленной воды для тушения пожаров в высотных зданиях // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 9. — С. 54–57.
5. Саламов А. А. Современная система пожаротушения “водяной туман” высокого давления // Энергетик. — 2012. — № 3. — С. 16–18.
6. Андрияшкин А. Ю., Пелех М. Т. Эффективность пожаротушения тонкораспыленной водой // Проблемы управления рисками в техносфере. — 2012. — Т. 21, № 1. — С. 64–69.
7. 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 : научно-аналитический журнал. — 2012. — № 1. — С. 82–88.
8. Гурьев Ю. В., Ткаченко И. В., Еремин Ю. С. Анализ методов компьютерного моделирования процесса распыления из оросителя тонкораспыленной воды // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 10. — С. 77–80.
9. Гурьев Ю. В., Ткаченко И. В., Еремин Ю. С. Использование методов численного моделирования в проектировании оросителей автоматических установок пожаротушения тонкораспыленной водой // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 2. — С. 78–84.
10. 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.

11. Глушков Д. О., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Численное исследование тепломассопереноса при движении “тандема” каплей воды в высокотемпературной газовой среде // Тепловые процессы в технике. — 2012. — Т. 4, № 12. — С. 531–538.
12. Стрижак П. А. Численное исследование условий испарения совокупности капель воды при движении в высокотемпературной газовой среде // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 8. — С. 26–31.
13. 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.
14. Андреев Г. Г., Глушков Д. О., Панин В. Ф., Стрижак П. А. Тепломассоперенос при взаимодействии диспергированного флегматизатора горения с высокотемпературными продуктами сгорания // Бутлеровские сообщения. — 2012. — Т. 31, № 8. — С. 86–94.
15. Стрижак П. А. Численный анализ процесса испарения капли, движущейся в струе воды через высокоскоростные продукты сгорания // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 9. — С. 17–23.
16. Высокоморная О. В., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Тепломассоперенос при движении капель воды в высокотемпературной газовой среде // Инженерно-физический журнал. — 2013. — Т. 86, № 1. — С. 59–65.
17. 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.
18. 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. — Т. 5, № 6. — С. 254–261.
19. Baranov P. A., Golikov A. D., Isaev S. A., Snegirev A. Yu. Numerical and physical modeling of the thermal regime in a metro track tunnel with fire in a moving train carriage // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. — 2000. — Vol. 73, No. 5. — P. 901–904.
20. Isaev S. A., Baranov P. A., Kudryavtsev N. A., Lysenko D. A., Usachov A. E. Complex analysis of turbulence models, algorithms, and grid structures at the computation of recirculating flow in a cavity by means of VP2/3 and FLUENT packages. Part. 2. Estimation of models adequacy // Thermophysics and Aeromechanics. — 2006. — Vol. 13, No. 1. — P. 55–65.
21. Isaev S. A., Lysenko D. A. Testing of numerical methods, convective schemes, algorithms for approximation of flows, and grid structures by the example of a supersonic flow in a sper-shaped channel with the use of the CFX and FLUENT packages // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. — 2009. — Vol. 82, No. 2. — P. 321–325.
22. Billant P., Chomaz J. M., Huerre P. Experimental study of vortex breakdown in swirling jets // Journal of Fluid Mechanics. — 1998. — Vol. 376. — P. 183–219.
23. Liang H., Maxworthy T. An experimental investigation of swirling jets // Journal of Fluid Mechanics. — 2005. — Vol. 525. — P. 115–159.
24. Alekseenko S. V., Dulin V. M., Kozorezov Yu. S., Markovich D. M. Effect of axisymmetric forcing on the structure of a swirling turbulent jet // International Journal of Heat and Fluid Flow. — 2008. — Vol. 29. — P. 1699–1715.
25. Raffel M., Willert C., Kompenhans J. Particle image velocimetry. — Berlin : Springer Verlag, 1998. — 253 p.
26. Полежаев Ю. В., Юрьевич Ф. Б. Тепловая защита. — М. : Энергия, 1976. — 391 с.
27. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента. — М. : Мир, 1972. — 381 с.
28. Зайдель А. Н. Элементарные оценки ошибок измерений. — Л. : Наука, 1968. — 96 с.
29. Евтихиева О. А., Расковская И. Л., Ринкевичюс Б. С. Лазерная рефрактография. — М. : Физматлит, 2008. — 176 с.
30. Ильин А. П., Назаренко О. Б., Коршунов А. В., Рот Л. О. Особенности физико-химических свойств нанопорошков и наноматериалов. — Томск : Изд-во ТПУ, 2012. — 196 с.

Материал поступил в редакцию 17 июня 2013 г.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF EVAPORATION INTEGRITY FOR SPRAYED WATER AT MOVING THROUGH FLAME

VOLKOV R. S., Assistant, National Research Tomsk Polytechnic University (Lenina Avenue, 30, Tomsk, 634050, Russian Federation; e-mail address: romanvolkov@tpu.ru)

KUZNETSOV G. V., Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, National Research Tomsk Polytechnic University (Lenina Avenue, 30, Tomsk, 634050, Russian Federation; e-mail address: elf@tpu.ru)

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

ABSTRACT

The article presents scheme, technique and results of an experimental series for evaporation regularities researching of the sprayed water moving through high-temperature combustion products on the example of flame with fixed height. The modern diagnostic measuring PIV–system is used for registration and the analysis of experimental videograms. It is established that errors of the drops sizes and weight determination didn't exceed 0.044 mm and 0.00006 g.

Videograms and speed fields of the sprayed liquid drops groups (water with “tracing” of the titan dioxide nanopowder particles) are provided. Limit changes of the sizes, weight and speeds of drops at movement through a flame are established. Internal structure changes of the two-phase steam-and-water stream in the intensive phase transitions conditions are analysed. It is shown that the concentration enough small drops in working area significantly decreases. The corresponding recommendations about achievement the completeness evaporation of liquid at movement through a flame are formulated.

The influence of “neighboring” drops on steam formation conditions in two-phase flow is established. It is shown that previous drops significantly slow down the evaporation process of the subsequent drops. Good compliance of results with the known theoretical conclusions is obtained.

Additional experiment for the analysis of the titan dioxide nanopowder particles influence on the steam formation conditions is also executed. It is shown that deviations on characteristic evaporation times of water drops and the nanopowder TiO_2 mix don't exceed 0.62 %. The conclusion is drawn on legitimacy of the received results distribution on the example of the most widespread burning phlegmatizator — water without “tracing” mixes.

Keywords: fire; quenching; sprayed water; water drops; evaporation integrity.

REFERENCES

1. Karpov A. I., Novozhilov V. B., Galat A. A., Bulgakov V. K. Numerical modeling of the effect of fine water mist on the small scale flame spreading over solid combustibles. *Fire Safety Science: Proceeding of Eight International Symposium*, 2005, vol. 27, pp. 753–764.
2. Kopylov N. P., Chibisov A. L., Dushkin A. L. Izucheniye zakonomernostey tusheniya tonkoraspylyennoy vodoy modelnykh ochagov pozhara [Studying of suppression regularities by sprayed water of model fire seats]. *Pozharnaya bezopasnost — Fire Safety*, 2008, no. 4, pp. 45–58.
3. Dyshkin A. L., Lovchinskiy S. E. Vzaimodeystviye plameni goryuchey zhidkosti s tonkoraspylyennoy vodoy [Combustible liquid flame and water mist interaction]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 11, pp. 53–55.
4. Korol'chenko D. A., Gromovoy V. Yu., Vorogushin O. O. Primeneniye tonkoraspylyennoy vody dlya tusheniya pozharov v vysotnykh zdaniyakh [Fire extinguishing in tall buildings by using water mist systems]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 9, pp. 54–57.
5. Salamov A. A. Sovremennaya sistema pozharotusheniya “vodyanoy tuman” vysokogo davleniya [Modern fire suppression high pressure system “water mist”]. *Energetik — Power Engineer*, 2012, no. 3, pp. 16–18.
6. Andryushkin A. Yu., Pelekh M. T. Effektivnost pozharotusheniya tonkoraspylyennoy vodoy [Efficiency of the stewing fire by sprayed water]. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere — Problems of Technosphere Risk Management*, 2012, vol. 21, no. 1, pp. 64–69.

7. Bondar A. A., Reshetov A. P., Ivanov A. Yu. Matematicheskoye modelirovaniye vremeni tusheniya pozharov tonkoraspylennoy vodoy po rezultatam eksperimenta v zamknutykh obyemakh [Mathematical modeling of the sprayed water firefighting times on the results of experiment in the closed volumes]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MChS Rossii, nauchno-analiticheskiy zhurnal — Scientific and Analytical Journal “Bulletin of the St. Petersburg University of Russian State Fire Service Emercom”*, 2012, no. 1, pp. 82–88.
8. Guryev Yu. V., Tkachenko I. V., Yeremin Yu. S. Analiz metodov kompyuternogo modelirovaniya protsessa raspyleniya iz orositelya tonkoraspylennoy vody [Analysis of computer modeling methods for spraying process in irrigator with water spray]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 10, pp. 77–80.
9. Guryev Yu. V., Tkachenko I. V., Yeremin Yu. S. Ispolzovaniye metodov chislennogo modelirovaniya v proektirovanii orositelya avtomaticheskikh ustanovok pozharotusheniya tonkoraspylennoy vodoy [Computational modeling methods in design of irrigator with water spray]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 2, pp. 78–84.
10. 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 placements]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 5, pp. 74–78.
11. 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 at movement of water drops “tandem” in the high temperature gas mixture]. *Teplovyye protsessy v tekhnike — Thermal processes in engineering*, 2012, vol. 4, no. 12, pp. 531–538.
12. 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]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 8, pp. 26–31.
13. Volkov R. S., Vysokomornaya O. V., Strizhak P. A. Chislennoye issledovaniye usloviy vzaimodeystviya dispergirovannogo flegmatizatora goreniya s vysokotemperaturnymi produktami sgoraniya [Numerical investigation of interaction conditions of the dispersed burning phlegmatizator with high temperature combustion products]. *Bezopasnost truda v promyshlennosti — Safety of Work in Industry*, 2012, no. 10, pp. 74–79.
14. 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]. *Butlerovskiy soobshcheniya — Butlerov Communications*, 2012, vol. 31, no. 8, pp. 86–94.
15. Strizhak P. A. Chislennyy analiz protsessa ispareniya kapli, dvizhushcheysya v struye vody cherez vysokoskorostnyye produkty sgoraniya [Numerical analysis of evaporation process for droplet moving at the water jet through high temperature combustion products]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 9, pp. 17–23.
16. Vysokomornaya O. V., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Teplomassoperenos pri dvizhenii kapel vody v vysokotemperaturnoy gazovoy srede [Heat-and-mass transfer at water drops movement in the high-temperature gas mixture]. *Inzhenerno-fizicheskiy zhurnal — Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 2013, vol. 86, no. 1, pp. 59–65.
17. 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]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 2, pp. 9–17.
18. 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 drop form on a mathematical modeling results of its evaporation at movement through high-temperature combustion products]. *Teplovyye protsessy v tekhnike — Thermal Processes in Engineering*, 2013, no. 6, pp. 254–261.
19. Baranov P. A., Golikov A. D., Isaev S. A., Snegirev A. Yu. Numerical and physical modeling of the thermal regime in a metro track tunnel with fire in a moving train carriage. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 2000, vol. 73, no. 5, pp. 901–904.

20. Isaev S. A., Baranov P. A., Kudryavtsev N. A., Lysenko D. A., Usachov A. E. Complex analysis of turbulence models, algorithms, and grid structures at the computation of recirculating flow in a cavity by means of VP2/3 and FLUENT packages. Part. 2. Estimation of models adequacy. *Thermophysics and Aeromechanics*, 2006, vol. 13, no. 1, pp. 55–65.
21. Isaev S. A., Lysenko D. A. Testing of numerical methods, convective schemes, algorithms for approximation of flows, and grid structures by the example of a supersonic flow in a sper-shaped channel with the use of the CFX and FLUENT packages. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 2009, vol. 82, no. 2, pp. 321–325.
22. Billant P., Chomaz J. M., Huerre P. Experimental study of vortex breakdown in swirling jets. *Journal of Fluid Mechanics*, 1998, vol. 376, pp. 183–219.
23. Liang H., Maxworthy T. An experimental investigation of swirling jets. *Journal of Fluid Mechanics*, 2005, vol. 525, pp. 115–159.
24. Alekseenko S. V., Dulin V. M., Kozorezov Yu. S., Markovich D. M. Effect of axisymmetric forcing on the structure of a swirling turbulent jet. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 2008, vol. 29, pp. 1699–1715.
25. Raffel M., Willert C., Kompenhans J. *Particle image velocimetry*. Berlin, Springer Verlag, 1998. 253 p.
26. Polezhayev Yu. V., Yuryevich F. B. *Teplovaya zashchita* [Thermal protection]. Moscow, Energiya Publ., 1976. 391 p.
27. Shenk Kh. *Teoriya inzhenernogo eksperimenta* [Theory of engineering experiment]. Moscow, Mir Publ., 1972. 381 p.
28. Zaydel A. N. *Elementarnyye otsenki oshibok izmereniy* [Simple estimates of measurement errors]. Academy of Sciences of the USSR, Leningrad, Nauka Publ., 1968. 96 p.
29. Yevtikhieva O. A., Raskovskaya I. L., Rinkevichyus B. S. *Lazernaya refraktografiya* [Laser refractography]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2008. 176 p.
30. Ilyin A. P., Nazarenko O. B., Korshunov A. V., Root L. O. *Osobennosti fiziko-khimicheskikh svoystv nanoporoshkov i nanomaterialov* [Features of physical and chemical properties of nanopowders and nanomaterials]. Tomsk, TPU Publ., 2012. 196 p.



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу

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



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

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

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

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

В. М. ЛАЛАЯН, канд. хим. наук, старший научный сотрудник, Институт химической физики им. Н. Н. Семенова РАН (Россия, 119334, г. Москва, ул. Косыгина, 4)

Д. И. НЕВЗОРОВ, аспирант кафедры полимерных строительных материалов и прикладной химии, Институт строительства и архитектуры Московского государственного строительного университета (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское ш., 26; e-mail: nevzorovdi@yandex.ru)

С. М. ЛОМАКИН, канд. хим. наук, заведующий лабораторией химической стойкости полимеров, Институт биохимической физики им. Н. М. Эмануэля РАН (Россия, 119334, г. Москва, ул. Косыгина, 4)

УДК 678.06

О ВЛИЯНИИ ФТАЛАТНЫХ И ФОСФАТНЫХ ПЛАСТИФИКАТОРОВ НА ВОСПЛАМЕНЯЕМОСТЬ И ДЫМООБРАЗУЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Рассмотрено влияние содержания и химической природы фталатных и фосфатных пластификаторов на термостойкость, воспламеняемость и дымообразующую способность полимерных композиционных материалов (ПКМ). Определены термохимические характеристики фталатных и фосфатных пластификаторов на пределе свечного горения. Установлено, что фосфатные пластификаторы практически не снижают пожарную опасность эпоксидных полимеров и резин на основе синтетических каучуков, повышают воспламеняемость ПВХ-материалов. Выявлена корреляция кислородного индекса с предельной концентрацией кислорода, теплотой сгорания и критической плотностью теплового потока воспламенения ПКМ. Показано, что химическая природа фосфатных пластификаторов существенно влияет на дымообразующую способность ПКМ. Установлена зависимость коэффициента дымообразования ПКМ в режимах пиролиза и горения от концентрации фенильных радикалов в фосфатных пластификаторах. Определено влияние содержания пластификаторов на дымообразующую способность ПВХ-материалов.

Ключевые слова: пластификатор; кислородный индекс; температуры воспламенения и самовоспламенения; коэффициент дымообразования.

Существенным недостатком полимерных композиционных материалов (ПКМ), сдерживающим более широкое применение их в строительстве, является повышенная пожарная опасность. ПКМ, как правило, относятся к горючим материалам с высокой дымообразующей способностью [1, 2]. Одним из методов снижения горючести полимерных материалов является применение фосфор- и хлорсодержащих пластификаторов. Пластификаторы снижают вязкость полимеров, что позволяет повысить степень их наполнения и улучшить распределение в полимерной матрице порошкообразных компонентов. Они придают ПКМ большую гибкость, пластичность и морозостойкость, снижают температуру переработки [3]. Среди промышленных марок фосфорсодержащих пластификаторов, используемых для получения ПКМ, широкое распространение получили органические эфиры *o*-фосфорной кислоты.

В научно-технической литературе опубликовано небольшое число работ, посвященных исследованию влияния химического строения и содержания пластификаторов на пожарную опасность ПКМ [4–6]. В связи с этим представлялось целесообразным установить влияние содержания и химической природы фталатных и фосфатных пластификаторов на термостойкость, горючесть и дымообразующую способность ПКМ. При оценке эффективности фосфатных пластификаторов и горючести пластифицированных ПКМ использован подход, основанный на анализе условий теплового баланса в ведущей кромке пламени при свечном горении полимеров [7].

В качестве объектов исследования в работе использовали эпоксидный полимер ЭД-20 (ГОСТ 10587–84), резины на основе синтетического каучука СКС-30АРКМ-15 (ГОСТ 11138–78) и шинного регенерата РШ (ТУ 38.404.203–90), суспензионный

Таблица 1. Физико-химические свойства промышленных марок фталатных и фосфатных пластификаторов

Пластификатор	Содержание фосфора, %	Молярная масса, кг/кмоль	Плотность при 20 °С, кг/м ³	Кислотное число, мг КОН/г	Температура вспышки, °С	КИ, %
ДАФФ	7,78	398,52	990	0,17	192	19,6
ОДФФ	8,55	362,4	1091	0,05	206	20,0
ТФФ	9,50	326,29	1201 (при 60 °С)	0,05	225	23,2
ДФКФ	9,11	340,31	1200	0,06	229	20,7
ТАФ-ЗОП	8,42	368,37	1169	0,036	240	23,1
ДФИБФФ	8,11	382,43	1169	0,3	240	23,1
ТХЭФ	10,86	285,49	1424	0,05	228	29,9
ТХПФ	9,47	327,29	1292	0,26	191	26,4

ПВХ марок С7058 и С7059 (ГОСТ 14332—78). ПКМ получали по общепринятым методикам. В качестве фталатных и фосфатных пластификаторов применяли дибутил- (ДФБ), диоктил- (ДОФ) и ди-(2-этилгексил)фталат (ГОСТ 8728—77), диалкилфталат ДАФ-56 (ТУ 6.05.211.981—78), ди-(2-этилгексил)фенилфосфат ДАФФ (ТУ 6-05-1611—78), дифенил-(2-этилгексил)фосфат ОДФФ, трифенилфосфат ТФФ (ТУ 6-06-241—92), дифенилкрезилфосфат ДФКФ (ТУ 6-06-241—92), трихлорэтилфосфат ТХЭФ (ТУ 2493-319-05763441—2000, изм. 1), дифенил-*n*-трет-бутилфенилфосфат ДФИБФФ (ТУ 6-06-241—92), дифенилизопропилфенилфосфат ТАФ-ЗОП (ТУ 6-05-211-1211—80) и трихлорпропилфосфат ТХПФ (ТУ 2493-513-05763441—2007). Физико-химические показатели фосфатных пластификаторов приведены в табл. 1. В качестве пластификатора для вулканизатов на основе синтетических каучуков использовали также индустриальное масло марки И-8А (ГОСТ 20799—88).

Термический анализ пластификаторов и пластифицированных ПКМ на воздухе проводили термогравиметрическим методом с помощью автоматизированной модульной термоаналитической системы DuPONT-9900 при скорости нагрева 10 °С/мин. Кислородный индекс КИ, температуры воспламенения T_v и самовоспламенения T_{cv} , коэффициент дымообразования D_m в режиме пиролиза и пламенного горения, критическую плотность теплового потока воспламенения $q_{кр}$ и теплоту сгорания ΔH_c ПКМ определяли по ГОСТ 12.1.044—89*. Предельную концентрацию кислорода $c_{пр}$ и скорость распространения пламени по горизонтальной поверхности $V_{р.п}$ ПКМ при 30–70 %-ной концентрации кислорода в потоке окислителя изучали по методике [8]. Содержание СО и СО₂ в продуктах флеш-пиролиза пластифицированных ПВХ-материалов при 800 °С определяли с помощью газоанализаторов ОА-5501 и ОА-2209 соответственно, а максимальный выход HCl — на хроматографе “Цвет-104” с детектором по плотности и пиролитической при-

ставкой типа ППТ. Фторопластовую колонку с внутренним диаметром 4 мм и длиной 3 м заполняли полихромом-1 (твердая фаза с размером частиц 0,25–0,50 мм) и дибутилфталатом (жидкая фаза). Температура детектора составляла 80 °С, испарителя — 110 °С, скорость газа-носителя (азота) — 67 мл/мин.

Определение КИ фталатных и фосфатных пластификаторов с низкой упругостью пара проводили методом измерения КИ асбестового картона размером 100×10×2,5 мм с различной степенью пропитки исследуемыми пластификаторами. Степень пропитки асбокартона, предварительно прокаленного при температуре порядка 1000 °С, регулировали концентрацией пропиточного раствора исследуемого пластификатора в петролейном эфире. Значения КИ пластификаторов получали экстраполяцией экспериментальной зависимости КИ асбокартона от степени пропитки на нулевое содержание наполнителя. При этом все экспериментальные зависимости в координатах 100/КИ пропитанного асбокартона от отношения массы асбокартона к массе пластификатора (k) для фталатных и фосфатных пластификаторов хорошо спрямляются (рис. 1). Это исключает ошибку, связанную с влиянием наполнителя на КИ исходного пластификатора, и позволяет получить более точные значения КИ фталатных и фосфатных пластификаторов (табл. 1) по сравнению с представленными в работе [9].

Анализ полученных значений КИ промышленных марок фосфатных пластификаторов (см. табл. 1) показывает, что горючесть таких соединений зависит от содержания в молекуле пластификатора атомов фосфора, хлора и фенильных ядер. При этом КИ фталатных и фосфатных пластификаторов, не содержащих атомов хлора, не превышает 16,9 и 23,2 % соответственно, а КИ ТХПФ и ТХЭФ, содержащих 32,5 и 37,3 % хлора, составляет 26,4 и 29,9 % соответственно.

Характерные параметры полученной прямой (см. рис. 1) — тангенс угла наклона ($\operatorname{tg} \alpha$) и точки пере-

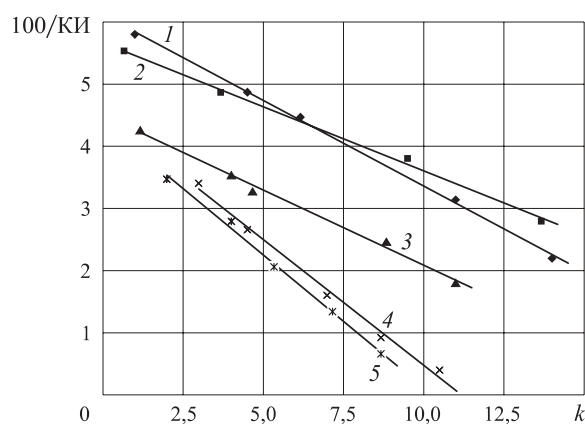


Рис. 1. Горючесть фталатных и фосфатных пластификаторов: 1 — диалкилфталат; 2 — триалкилфосфат; 3 — дифенил-*n*-третбутилфенилфосфат; 4 — трихлорэтилфосфат; 5 — трихлорпропилфосфат

сечения с осями — были использованы для определения термохимических характеристик свечного горения пластификаторов. Выбор значений температуры горячей поверхности T_s пластификаторов (табл. 2) при расчете их термохимических характеристик свечного горения основан на корреляции значений T_s и температуры интенсивной газификации полимеров. Температура горячей поверхности T_s пластификаторов ниже, чем у полимеров, на величину, соответствующую разности температур начала интенсивной газификации пластификатора и полимера (термогравиметрические измерения). Значения стехиометрического коэффициента $\gamma_{\text{эксп}}$ и коэффициента полноты сгорания α , равного отношению $\gamma_{\text{эксп}}/\gamma_{\text{расч}}$ (см. табл. 2), рассчитывали из условий полного сгорания пластификаторов (до конечных продуктов CO_2 , H_2O , HCl и P_2O_5). При этом наблюдается хорошее согласие значений $\gamma_{\text{эксп}}$ и α для фталатных и фосфатных пластификаторов с аналогичными значениями для газообразных топлив [10].

Анализ полученных экспериментальных данных показывает, что в условиях определения КИ конденсированная фаза не оказывает существенного влияния на термохимические характеристики топлива. Поэтому подход, использованный в работе [10] для оценки величины истинной теплоты сгорания и тепловых потерь от пламени газообразных топлив, будет справедливым и для диффузионного горения фталатных и фосфатных пластификаторов. Соответствующие значения $H-L$ и $Q_{\text{пот}}/\gamma$ для диэфирных и фосфатных пластификаторов приведены в табл. 2.

В результате проведенных исследований установлено, что фосфатные пластификаторы практически не снижают пожарную опасность эпоксидных полимеров (табл. 3) и резин на основе синтетических каучуков (табл. 4), повышают воспламеняемость и дымообразующую способность в режиме пиролиза ПВХ-материалов (табл. 5). Низкая эффективность пламегасящего действия промышленных марок фосфатных пластификаторов обусловлена их относительно высокой горючестью: КИ пластификаторов равен 23,1...29,9 % по сравнению с 22,1...22,3 % для эпоксидного полимера ЭД-20, 20,8...21,3 % для резин на основе СКС-30АРКМ-15 и 44,1...47,2 % для жесткого ПВХ. Так, например, при введении 8,3...15,4 % масс. фосфатных пластификаторов КИ полимера ЭД-20, отвержденного полиэтиленполиамином, возрастает с 22,1 до 23,2...24,0 %; $T_{\text{св}}$ повышается на 30–40 °С (до 500...510 °С), а показатель $q_{\text{кр}}$ снижается с 11,7 до 9,2–9,3 кВт/м² (см. табл. 3). При этом применение фталатных и фосфатных пластификаторов приводит к росту $V_{\text{р.п}}$ для эпоксидных полимеров при концентрации кислорода в потоке окислителя более 30 % (рис. 2). Хлорсодержащие фосфаты более существенно снижают величину $q_{\text{кр}}$ (до 8,3–9,2 кВт/м²) и повышают КИ эпоксидных по-

Таблица 2. Термохимические характеристики горения пластификаторов на пределе свечного горения

Пластификатор	$T_s - T_0$, °С	$\gamma_{\text{эксп}}$	α	$H-L$, кДж/кг	$Q_{\text{пот}}/\gamma$, кДж/кг
Дибутилфталат	430	1,4	0,62	19300	5900
Диоктилфталат	460	2,0	0,77	26400	5900
Диалкилфталат, $\text{C}_5\text{--C}_6$	440	1,3	0,57	18000	5900
Трихлорэтилфосфат	440	0,65	0,70	5900	5900
Трихлорпропилфосфат	450	0,93	0,75	9270	5900
Дифенил- <i>n</i> -третбутилфенилфосфат	500	1,7	0,74	19300	5900
Ди-(2-этилгексил)фенилфосфат	470	1,7	0,75	20900	5900
Дифенилизопропилфенилфосфат	500	1,8	0,82	20500	5900
Триалкилфосфат, $\text{C}_7\text{--C}_9$	460	1,7	0,77	22200	5900

Примечания: 1. Ошибка определения $\gamma_{\text{эксп}}$ и α не превышает 7 %.

2. H и L — удельные значения теплот соответственно сгорания и газификации пластификатора; $Q_{\text{пот}}$ — тепловые потери от пламени.

Таблица 3. Воспламеняемость и дымообразующая способность эпоксидного полимера ЭД-20, пластифицированного органическими эфирами фосфорной кислоты

Пластификатор	КИ, %	$T_{св}$, °C	$V_{р.п.}$, мм/с, при концентрации $[O_2]$ в окислителе, %		D_m , м ² /кг, в режиме	
			35	45	пиролиза	горения
Отсутствует	22,1	470	0,42	0,69	980	990
ТФФ	22,9 24,1	510 510	0,40 0,37	0,91 0,83	1040 1010	850 800
ДФКФ	22,7 22,6	510 510	0,52 0,57	0,88 1,16	1020 970	870 820
ОДФФ	22,6 22,9	500 500	0,34 0,38	0,71 0,77	910 640	970 840
ТАФ-ЗОП	23,2 24,0	490 500	0,35 0,30	0,68 0,71	960 900	880 770
ДФИБФФ	22,3 23,6	490 500	0,34 0,34	0,72 0,71	940 870	920 780
ДАФФ	22,1 23,6	480 480	0,35 0,34	0,69 0,71	920 650	960 870
ТХПФ	23,1 24,0	500 510	0,35 0,36	0,71 0,69	1000 610	920 930
ТХЭФ	25,5 26,0	510 510	0,43 0,42	0,67 0,72	1050 1080	820 790

Примечание. Над чертой — содержание пластификатора 8,3 % масс., под чертой — 15,4 % масс.

лимеров (до 25,5–26,0 %). При этом значения КИ и $q_{кр}$ для пластифицированного полимера ЭД-20 хорошо согласуются между собой (рис. 3). Снижение $q_{кр}$ и повышение $V_{р.п.}$ для ПКМ, содержащих фосфатные пластификаторы, обусловлено их выпотеванием из полимера и воспламенением под действием внешнего теплового потока.

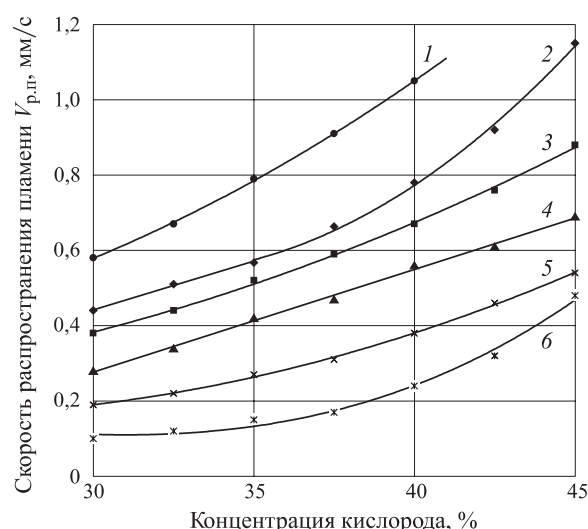
Замена индустриального масла в резинах на основе синтетических каучуков фосфатными пластификаторами повышает показатели T_v и $T_{св}$ на 10–20 °C, КИ при этом увеличивается с 20,8 до 22,2–22,9 %. Одновременно возрастает и дымообразующая способность резин (см. табл. 4).

ПВХ недостаточно устойчив к термическим воздействиям. В присутствии кислорода воздуха деструктивные процессы значительно интенсифицируются, особенно у пластифицированного ПВХ. Это обусловлено в основном промотирующим влиянием окисляющегося пластификатора на распад полимера [11]. При этом термический распад фосфатных пластификаторов существенно зависит от концентрации и химической природы хлоридов металлов (свинца, бария, кадмия, олова и цинка), используемых в качестве термостабилизаторов ПВХ. Поэтому на термостойкость пластифицированных ПВХ-материалов существенное влияние оказывает хи-

Таблица 4. Воспламеняемость и дымообразующая способность резин на основе СКС-30АРКМ-15 и РШ

Показатель	Индустриальное масло И-8А	ДОФ	ТАФ-ЗОП	ТФФ	ДАФФ	ТХПФ
Температура, °C:						
T_v	320	320	330	325	330	340
$T_{св}$	380	390	400	390	390	400
КИ, %:						
пластификатора	16,2	16,4	23,1	23,2	19,6	26,4
вулканизата	20,8	21,2	22,2	21,1	21,2	22,9
D_m , м ² /кг, в режиме:						
пиролиза	1060	1170	1180	1240	1130	1220
горения	600	630	700	740	580	710

Примечание. Содержание пластификаторов — 7,3 % масс., технического углерода марки ПМ-75 — 39 % масс., РШ — 16 % масс.

**Рис. 2.** Зависимость $V_{р.п.}$ для эпоксидных композиций от концентрации кислорода в потоке окислителя: 1 — полимер ЭД-20, пластифицированный 6,1 % масс. диоктилфталата; 2 — то же, пластифицированный 15,4 % масс. трикрезилфосфата; 3 — то же, пластифицированный 8,3 % масс. трикрезилфосфата; 4 — то же, отвержденный 9,1 % масс. полиэтиленполиамином; 5 — то же, пластифицированный 11,1 % масс. диоктилфталата и наполненный 27,8 % масс. Al_2O_3 ; 6 — то же, пластифицированный 6,1 % масс. диоктилфталата и наполненный 60,6 % масс. Al_2O_3

мическое строение фосфатного пластификатора (см. табл. 5) и его окислительная устойчивость. Причем температура начала разложения $T_{н.р.}$ исследованных ПВХ-материалов снижается, а максимум первого экзотермического пика сдвигается в область более высоких температур.

Таблица 5. Термостойкость и пожарная опасность пластифицированного ПВХ

Показатель	Жесткий ПВХ	Пластификатор									
		ДБФ	ДОФ	ДАФ-56	ДАФФ	ОДФФ	ТАФ-ЗОП	ДФИБФФ	ДФКФ	ТФФ	ТХПФ
Температура, °С:											
$T_{н.р}$	230	222	218	214	212	220	218	225	215	232	210
T_{max}	280	295	295	290	287	275	291	297	282	282	280
КИ, %:											
пластификатора	—	16,2	16,4	16,9	19,6	20,0	23,1	23,1	20,7	23,2	26,4
пластика	44,1	33,4	32,7	32,2	36,2	36,6	37,1	37,9	35,9	39,0	38,8
$c_{пр}$, %	57,0	45,0	43,1	42,0	50,3	51,0	51,3	53,0	49,5	54,0	53,4
$V_{р.п}$, мм/с, при [O ₂], %:											
60	0,33	0,64	0,75	0,73	0,80	0,67	0,40	0,60	0,67	0,34	0,38
70	0,27	1,00	1,11	1,15	1,13	1,23	0,86	0,83	1,02	0,74	0,49
Состав продуктов горения, мг/г:											
твердая фаза дыма	48,1	63,7	44,3	63,9	52,2	58,0	71,2	72,6	57,9	60,7	63,5
СО	68,3	29,4	25,2	—	35,8	43,0	43,1	49,9	25,9	53,9	50,3
СО ₂	223,7	274,8	200,2	185,3	310,3	150,1	299,6	252,5	182,0	221,6	136,3
НCl	580	—	496	—	500	521	500	538	528	527	578
Теплота сгорания, кДж/кг	18100	19150	19500	19840	19770	19670	19540	19330	19820	19050	17450
D_m , м ² /кг, в режиме:											
пиролиза	360	760	660	570	380	450	690	640	760	820	530
горения	850	910	940	830	860	870	920	900	890	900	870
Примечание. Содержание пластификаторов — 12,75 % масс.											

Примечание. Содержание пластификаторов — 12,75 % масс.

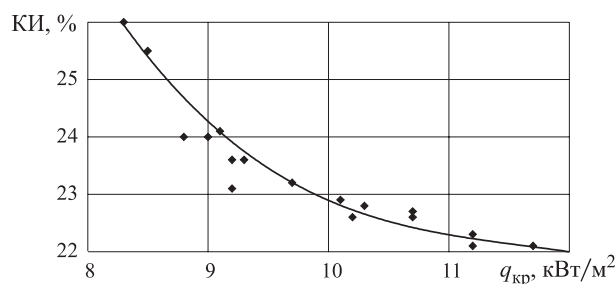


Рис. 3. Корреляция критической плотности теплового потока воспламенения и кислородного индекса пластифицированного полимера ЭД-20

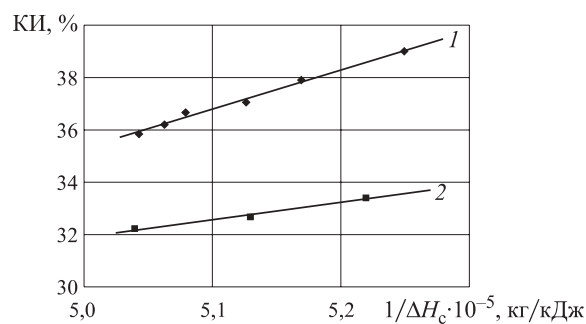


Рис. 4. Зависимость КИ пластифицированного ПВХ от удельной теплоты сгорания материала: 1 — фосфатные пластификаторы; 2 — фталатные пластификаторы

Фталатные и фосфатные пластификаторы повышают теплотворную способность и, следовательно, горючесть ПВХ-материалов (см. табл. 5). Причем для пластифицированных ПВХ-материалов наблюдается линейная зависимость КИ от $1/\Delta H_c$ (рис. 4). Коэффициент пропорциональности A в выражении $КИ = A/\Delta H_c$ для фосфатных и фталатных пластификаторов равен соответственно $7,19 \cdot 10^5$ и $6,38 \cdot 10^5$. При этом величина $c_{пр}$ для пластифицированного ПВХ хорошо коррелирует с КИ таких материалов (рис. 5).

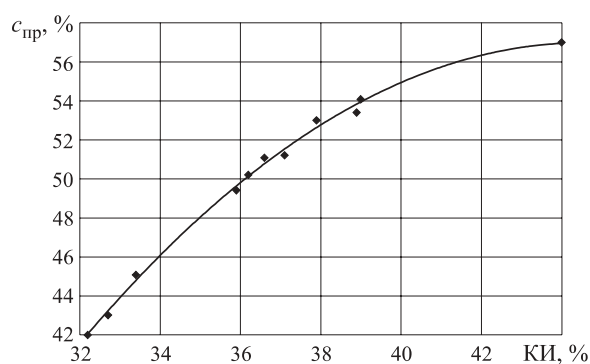


Рис. 5. Корреляция предельной концентрации кислорода с кислородным индексом пластифицированного ПВХ

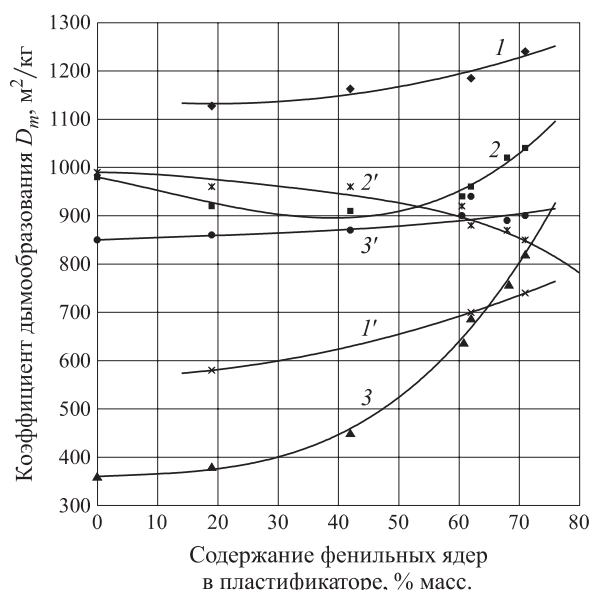


Рис. 6. Зависимость дымообразующей способности ПКМ в режиме пиролиза (1–3) и горения (1'–3') от содержания фенильных ядер в фосфатном пластификаторе: 1, 1' — резины на основе синтетического каучука СКС-30АРКМ-15 и РШ; 2, 2' — пластифицированный полимер ЭД-20; 3, 3' — пластифицированный ПВХ

Химическая природа фосфатных пластификаторов существенно влияет и на дымообразующую способность ПКМ. Так, например, величина D_m в режиме пиролиза и горения эпоксидного полимера, содержащего 8,3–15,4 % масс. фосфатных пластификаторов, незначительно снижается соответственно с 980 до 640–910 $\text{м}^2/\text{кг}$ и с 990 до 770–850 $\text{м}^2/\text{кг}$ (см. табл. 3). В то же время хлорсодержащие фосфаты (ТХПФ и ТХЭФ) повышают дымообразующую способность ПКМ в режиме пиролиза до 1000–1080 $\text{м}^2/\text{кг}$.

Для пластифицированных ПВХ-материалов величина D_m в режиме горения выше, чем в режиме пиролиза. Такая закономерность характерна для полимерных материалов, легко разлагающихся при нагревании с образованием газообразных продуктов пиролиза [12]. При использовании ДАФФ вместо диоктилфталата возрастает не только дымообразующая способность, но и уровень выделения оксидов углерода в продуктах флеш-пиролиза ПВХ-материалов (см. табл. 5). Среди алкиларильных фосфатных пластификаторов минимальное значение D_m в режиме пиролиза реализуется при использовании ОДФФ, содержащего одну 2-этилгексильную группу в молекуле пластификатора. С уменьшением содержания фенильных радикалов в молекуле пластификатора снижается содержание твердой фазы дыма и уровень выделения СО и НСl. По сравнению с другими пластификаторами ДФКФ обладает лучшей совместимостью с ПВХ; при его использовании реализуется минимальный уровень выделе-

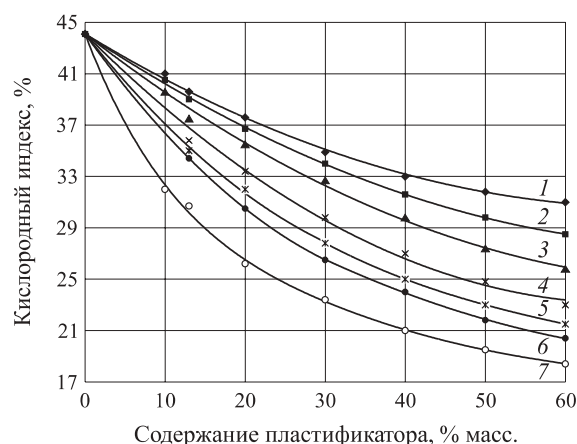


Рис. 7. Зависимость КИ пластифицированного ПВХ от содержания фталатных и фосфатных пластификаторов: 1 — трихлорэтилфосфат; 2 — трихлорпропилфосфат; 3 — дифенилпропилфосфат; 4 — дифенилрезилфосфат; 5 — ди-(2-этилгексил)фенилфосфат; 6 — дибутилфталат; 7 — ди-(2-этилгексил)фталат

ния СО и CO_2 , твердой фазы дыма. С увеличением разветвленности алкильного заместителя в фенильном ядре фосфатного пластификатора происходит повышение содержания твердой фазы дыма, уровня выделения СО и увеличение дымообразующей способности в режиме пиролиза (см. табл. 5). ТХПФ приводит не только к снижению ΔH_c , но и к резкому уменьшению D_m в режиме пиролиза и снижению уровня выделения CO_2 . В то же время выход СО возрастает вследствие ингибирования НСl радикальных цепных процессов в газовой фазе, концентрация которого в продуктах пиролиза максимальна (см. табл. 5). Таким образом, с точки зрения снижения пожарной опасности пластифицированных ПВХ-

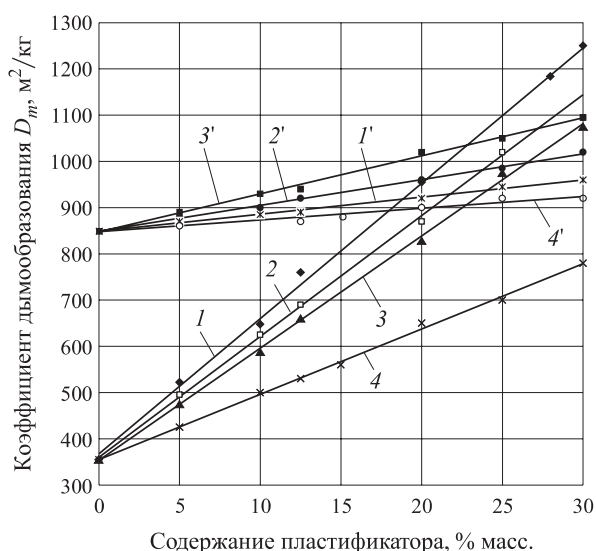


Рис. 8. Зависимость дымообразующей способности ПВХ-материалов в режиме пиролиза (1–4) и горения (1'–4') от содержания пластификаторов: 1, 1' — дифенилрезилфосфат; 2, 2' — дифенилпропилфосфат; 3, 3' — диоктилфталат; 4, 4' — трихлорэтилфосфат

материалов наиболее эффективным промышленным фосфатным пластификатором является ТХПФ.

Увеличение дымообразующей способности пластифицированных ПКМ связано с ростом концентрации фенильных ядер в фосфатном пластификаторе (рис. 6) и, следовательно, с повышением содержания ароматических органических соединений в продуктах пиролиза. Образование конденсированных углеродных частиц (сажи) в этом случае происходит в результате дегидрополиконденсации ароматических углеводородов с частичным разложением ароматических ядер (преимущественно некомпланарно расположенных) до ацетилена и его производных [13]. Это подтверждается и увеличением содержания твердой фазы дыма (см. табл. 5). Повышение выхода сажи свидетельствует о неполном сгорании продуктов пиролиза. В то же время уровень выделения СО и концентрация HCl в продуктах пиролиза при 800 °С в пластикатах меньше по сравнению с жестким ПВХ (см. табл. 5).

С ростом содержания пластификаторов в ПВХ-материалах происходит закономерное повышение их горючести (рис. 7) и увеличение дымообразующей способности, особенно в режиме пиролиза. Причем наблюдается линейная зависимость D_m для ПВХ-материалов от содержания пластификаторов (рис. 8).

Таким образом, проведенные исследования показали, что эфиры *o*-фосфорной кислоты являются малоэффективными пластификаторами-антипиренами для ПКМ на основе коксующихся полимеров. Определена зависимость дымообразующей способности ПКМ от концентрации фенильных радикалов в фосфатном пластификаторе. Установлено, что химическое строение фосфатных пластификаторов существенно влияет на технологические и физико-механические свойства таких ПКМ. Выявлена корреляция между показателями горючести, полученными маломасштабными методами испытаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Копылов В. В., Новиков С. Н., Оксентьевич Л. А., Гефтер Е. Л., Короткевич С. Х., Рило Р. П. Полимерные материалы с пониженной горючестью / Под ред. А. Н. Праведникова. — М. : Химия, 1986. — 224 с.
2. Баратов А. Н., Андриянов Р. А., Корольченко А. Я., Михайлов Д. С., Ушков В. А., Филин Л. Г. Пожарная опасность строительных материалов / Под ред. А. Н. Баратова. — М. : Стройиздат, 1988. — С. 104–133, 179–277.
3. Барштейн Р. С., Кириллович В. И., Носовский Ю. Е. Пластификаторы для полимеров. — М. : Химия, 1982. — 186 с.
4. Ушков В. А., Булгаков Б. И., Кулев Д. Х., Морозова Е. Ю. и др. Теплотворная и дымообразующая способность пластифицированного ПВХ // Пластические массы. — 1988. — № 8. — С. 47–49.
5. Ушков В. А., Кулев Д. Х., Цигельная Т. И., Короткевич С. Х. Воспламеняемость и дымообразующая способность резины на основе БСК // Каучук и резина. — 1988. — № 11. — С. 40–42.
6. Ушков В. А., Лалаян В. М., Малашкин С. Е., Кулев Д. Х. и др. Горючесть и дымообразующая способность материалов на основе эпоксидного олигомера ЭД-20 // Пластические массы. — 1989. — № 2. — С. 87–90.
7. Лалаян В. М., Скраливецкая М. С., Ушков В. А., Халтуринский Н. А. Термохимические параметры свечевого горения полимерных материалов вблизи предела // Химическая физика. — 1989. — Т. 8, № 1. — С. 112–116.
8. Ушков В. А., Абрамов В. В., Лалаян В. М., Кирьянова Л. В. Слабогорючие эпоксидные полимеррастворы, используемые для восстановления и ремонта строительных конструкций // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 10. — С. 36–40.
9. Чернова Н. Л., Борисова Е. М., Мизеровский Л. И. Определение КИ пластификаторов // Пластические массы. — 1984. — № 6. — С. 39–40.
10. Лалаян В. М., Скраливецкая М. С., Халтуринский Н. А. Определение термохимических характеристик газообразного топлива на пределе диффузионного горения // Химическая физика. — 1988. — Т. 7, № 9. — С. 1264–1267.
11. Аблеев Р. И., Абдуллин М. М., Минскер К. С. Термическая и термоокислительная деструкция поливинилхлорида в фосфорсодержащих пластификаторах // Высокомолекулярные соединения. — 1987. — Т. XXIX А, № 4. — С. 768–773.
12. Кодолов В. И. Замедлители горения полимерных материалов. — М. : Химия, 1980. — 274 с.
13. Асеева Р. М., Заиков Г. Е. Горение полимерных материалов. — М. : Наука, 1981. — 280 с.

Материал поступил в редакцию 27 июня 2013 г.

THE EFFECT OF PHTHALATE AND PHOSPHORUS PLASTICIZER FOR FLAMMABILITY AND SMOKE-FORMING ABILITY OF POLYMER COMPOSITE MATERIALS

USHKOV V. A., Candidate of Technical Sciences, Head of Laboratory "Modern Composite Construction Materials", Institute of Construction and Architecture of Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail address: kurs-isa@mail.ru)

LALAYAN V. M., Candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher, N. N. Semenov Institute of Chemical Physics of Russian Academy of Sciences (Kosygina St., 4, Moscow, 119334, Russian Federation)

NEVZOROV D. I., Postgraduate of Polymer Building Materials and Applied Chemistry Department, Institute of Construction and Architecture of Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail address: nevzorovdi@yandex.ru)

LOMAKIN S. M., Candidate of Chemical Sciences, Head of Laboratory of Chemical Resistance of Polymers, N. M. Emanuel Institute of Biochemical Physics of Russian Academy of Sciences (Kosygina St., 4, Moscow, 119334, Russian Federation)

ABSTRACT

The influence of the content and the chemical nature of the phthalate and phosphate plasticizers resistance, flammability and smoke generation capacity of polymer composite materials (PCM). Defined thermochemical characteristics of phthalate and phosphate plasticizers limit candle burning. Found that phosphate plasticizers almost do not reduce the fire hazard of epoxy resins and rubbers, synthetic rubbers, increase the flammability of PVC materials. The correlation of the oxygen index to the limit concentration of oxygen, heat of combustion and the critical heat flux ignition of the PCM. It is shown that the chemical nature of phosphate plasticizers affects the smoke generation capacity PCM. The dependence of the coefficient of smoke PCM modes of pyrolysis and combustion of the concentration of phenyl radicals and phosphate plasticizers.

Keywords: plasticizer; oxygen index; temperatures of inflammability and auto-ignition; coefficient of smoke.

REFERENCES

1. Kopylov V. V., Novikov S. N., Oksentyevich L. A., Gefter E. L., Korotkevich S. Kh., Rilo R. P. *Polimernyye materialy s ponizhennoy goryuchestyu* [Polymeric materials with low flammability]. Ed. A. N. Pravednikov. Moscow, Khimiya Publ., 1986. 224 p.
2. Baraton A. N., Andriyanov R. A., Korol'chenko A. Ya., Mikhaylov D. S., Ushkov V. A., Filin L. G. *Pozharnaya opasnost stroitelnykh materialov* [Fire danger of building materials]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1988, pp. 104–133, 179–277.
3. Barshteyn R. S., Kirillovich V. I., Nosovskiy Yu. E. *Plastifikatory dlya polimerov* [Plasticizers for polymers]. Moscow, Khimiya Publ., 1982. 186 p.
4. Ushkov V. A., Bulgakov B. I., Kulev D. Kh., Morozova E. Yu., et al. Teplotvornaya i dymoobrazuyushchaya sposobnost plastifitsirovannogo PVKh [Heat and smoke-forming ability of plasticized PVC]. *Plasticheskiye massy — Plastic Masses*, 1988, no. 8, pp. 47–49.
5. Ushkov V. A., Kulev D. Kh., Tsygelnaya T. I., Korotkevich S. Kh. Vosplamenyayemost i dymoobrazuyushchaya sposobnost reziny na osnove BSK [Flammability and smoke-forming ability of rubber on the basis of BSK]. *Kauchuk i rezina — Caoutchouc and Rubber*, 1988, no. 11, pp. 40–42.
6. Ushkov V. A., Lalayan V. M., Malashkin S. E., Kulev D. Kh., et al. Goryuchest i dymoobrazuyushchaya sposobnost materialov na osnove epoksidnogo oligomera ED-20 [Flammability and smoke-forming ability of materials based on epoxy of ED-20]. *Plasticheskiye massy — Plastic Masses*, 1989, no. 2, pp. 87–90.
7. Lalayan V. M., Skralivetskaya M. S., Ushkov V. A., Khalturinskiy N. A. Termokhimicheskiye parametry svechevogo gorenija polimernykh materialov vblizi predela [Thermochemical parameters candle burning plastics near the limit]. *Khimicheskaya fizika — Chemical Physics*, 1989, no. 8, pp. 112–116.

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)

Н. М. БАРБИН, д-р техн. наук, канд. хим. наук, заведующий кафедрой химии Уральского государственного аграрного университета (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)

А. В. ПИЩАЛЬНИКОВ, аспирант научно-инженерного центра "Надежность и ресурс больших систем и машин" УрО РАН (Россия, 620049, г. Екатеринбург, ул. Студенческая, 54а), начальник лаборатории ФГБУ "Судебно-экспертное учреждение Федеральной противопожарной службы "Испытательная пожарная лаборатория" по Пермскому краю" (Россия, 614990, г. Пермь, ул. Большевикская, 53а; e-mail: rina04@rambler.ru)

А. В. КАЛАЧ, д-р хим. наук, доцент, заместитель начальника по научной работе Воронежского института ГПС МЧС России (Россия, 394052, г. Воронеж, ул. Краснознаменная, 231; e-mail: a_kalach@mail.ru)

УДК 614.833

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ СП 12.13130.2009 И КАРЛССОНА–КВИНТА

Рассмотрены два подхода, используемые при проектировании и оценке пожаровзрывоопасности зданий и помещений, в которых обращаются легковоспламеняющиеся жидкости, — СП 12.13130.2009 и метод Карлссона–Квинта (США). Дан сравнительный анализ отечественного и американского подходов прогноза удельных безопасных объемов помещений. Найдены удельные безопасные объемы помещений объектов, в которых хранятся или обращаются ЛВЖ, на примере территорий Белгородской, Брянской, Воронежской, Калужской, Тамбовской и Тульской областей. Показано, что расчеты по СП 12.13130.2009 и методом Карлссона–Квинта дают сопоставимые результаты прогноза в случае применения неуглеводородных растворителей. Полученные результаты могут быть использованы проектными организациями и надзорными органами в их практической деятельности.

Ключевые слова: помещение; избыточное давление; легковоспламеняющаяся жидкость; без-опасность; расчет.

При проектировании и определении нормативного значения пожарного риска для зданий, сооружений и строений, в которых обращаются и/или хранятся легковоспламеняющиеся жидкости (ЛВЖ), необходима обязательная проверка на отнесение их к той или иной категории взрывоопасности (А или Б) [1, 2]. Следует отметить, что методика СП 12.13130.2009 хотя и отличается трудоемкостью, но проще подхода, разработанного Л. П. Пилюгиным* [3, 4]. Для устранения названного недостатка были разработаны упрощенные варианты категорирования помещений по взрывопожароопасности** [5]. Однако

их применение приводит к грубой оценке, которая не исключает вероятность ошибки прогнозирования избыточного давления взрыва в помещении. В США для определения избыточного давления взрыва в помещениях используется метод Карлссона–Квинта (Method of Karlsson and Quintiere) [6, 7], который принципиально отличается от отечественной нормативной методики [1]. В связи с этим проведение сравнительного анализа двух подходов представляет не только научный, но и практический интерес.

Так как американские классификации ЛВЖ и ГЖ отличаются от отечественных [8], в настоящей работе использован метод ранжирования воспламеняющихся жидкостей по ГОСТ 12.1.044–89 [9]. Ранее было показано, что применение удельного безопасного объема помещения позволяет сделать процесс категорирования помещений по взрывопожароопасности более простым и точным [10–13].

* В методе Пилюгина при определении показателя интенсивности взрывного горения горючего вещества наложены два ограничения [4], которые резко сужают границы применения данной методики.

** Пособие было разработано для НПБ 105–95, но методы определения избыточного давления взрыва из НПБ 105–95 плавно переключались сначала в НПБ 105–03, а затем и в СП 12.13130.2009.

Таблица 1. Исходные данные для определения удельных безопасных объемов помещений

ЛВЖ	M , кг/кмоль	$P_{\text{нас}}$, кПа	$\rho_{\text{л}}$, кг/м ³	$C_{\text{ст}}$, % (об.)	P_{max} , кПа	$\Delta H_{\text{гор}}$, кДж/кг	$\rho_{\text{ж}}$, кг/м ³	$w_{\text{в}} \cdot 10^2$, кг/(м ² ·с)	$k_{\text{в}}$
Метанол	32,041	32,258	1,255	12,11	620	20000	796	2,2	8
Этанол	46,068	16,134	1,804	6,44	680	26800	794	2,2	8
Бензол	78,114	22,441	3,059	2,68	880	40100	874	8,5	2,7
Гексан	86,178	30,831	3,374	2,13	850	44700	650	7,4	1,9
Гептан	100,205	11,309	3,924	1,84	843	44600	675	10,1	1,1
Смесь ксилолов	106,168	2,386	4,157	1,93	765	40800	870	9	1,4
Ацетон	46,068	52,387	1,804	6,44	570	25800	791	4,1	1,9
1,4-Диоксан	88,104	9,351	3,450	3,97	820	26200	1035	1,8	5,4
Диэтиловый эфир	74,122	114,343	2,902	3,33	720	34200	714	8,5	0,7

Примечания: 1. M — молекулярная масса; $P_{\text{нас}}$ — давление насыщенного пара ЛВЖ при 311 К; $\rho_{\text{ж}}$ — плотность жидкости; $w_{\text{в}}$ — скорость выгорания ЛВЖ; $k_{\text{в}}$ — эмпирическая константа.

2. Для смеси ксилолов максимальное давление взрыва и низшая теплота сгорания взяты по основному компоненту смеси — метаксилолу.

Для исследования с учетом базы данных США [7] были выбраны 9 растворителей (табл. 1). Расчеты выполнялись для территорий Белгородской, Брянской, Воронежской, Калужской, Тамбовской и Тульской областей (для рабочей температуры 311 К [14]). Рабочая температура принимается по СНиПу [14], если она не связана с технологическим процессом.

Метод СП 12.13130.2009

Уравнения для определения удельных безопасных объемов помещений ΔV_1 и ΔV_2 (1) и (2) получены в результате преобразования формул (А.1) и (А.2) из СП 12.13130.2009 [10–13]:

$$\Delta V_1 = (P_{\text{max}} - P_0) \frac{2,5m}{\rho_{\text{л}} C_{\text{ст}}}; \quad (1)$$

$$\Delta V_2 = \frac{m \Delta H_{\text{гор}} P_0}{40 \rho_{\text{в}} C_p T_0}, \quad (2)$$

где P_{max} — максимальное давление взрыва, кПа;
 P_0 — атмосферное давление, кПа;
 m — масса паров ЛВЖ, кг;
 $\rho_{\text{л}}$ — плотность паров ЛВЖ при расчетной температуре T_0 , кг/м³;
 $C_{\text{ст}}$ — стехиометрическая концентрация паров ЛВЖ, % (об.);
 $\Delta H_{\text{гор}}$ — низшая теплота сгорания, Дж/кг;
 $\rho_{\text{в}}$ — плотность воздуха при 311 К, кг/м³;
 C_p — теплоемкость воздуха при постоянном давлении, Дж/(кг·К); $C_p = 1,01 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К) [1];
 T_0 — расчетная температура воздуха в помещении, К; $T_0 = 311$ К.

Исходные данные для расчетов приведены в табл. 1. С целью исключения ошибки расчетов, связанной с различием американских и российских литературных данных по физико-химическим свойствам

образцов исследования, для прогнозирования удельных безопасных объемов помещений ΔV_1 и ΔV_2 исходные показатели взяты из [7].

Результаты прогноза по уравнениям (1) и (2) представлены в табл. 2 с учетом условного рейтинга взрывоопасности ЛВЖ по ΔV_1 . Данные табл. 2 показывают, что этот рейтинг зависит как от химической природы жидкости, так и от скорости воздушного потока. Сопоставление значений ΔV_1 и ΔV_2 позволяет сделать вывод, что формулы (А.1) и (А.2) из СП 12.13130.2009 [1] плохо согласуются между собой.

Метод Карлссона–Квинтая

Метод Карлссона–Квинтая для прогнозирования избыточного давления в закрытых помещениях рекомендован комиссией по регулированию атомной энергетики США (U. S. Nuclear Regulatory Commission) [7]. В этом методе рассматриваются условия повышения избыточного давления в помещении в результате горения пролитой жидкости. Задача решается в приближении идеальных газов, для которых при постоянном объеме справедливо отношение

$$\frac{\Delta P}{P_0} = \frac{\Delta T}{T_0}. \quad (3)$$

В дальнейшем уравнение (3) с учетом формулы (4) преобразуется в соотношение (5), которое используется для определения избыточного давления в закрытом помещении [6, 7, 15]:

$$q \tau_1 = V \rho_{\text{в}} C_v \Delta T; \quad (4)$$

$$\frac{\Delta P}{P_0} = \frac{q \tau_1}{V \rho_{\text{в}} C_v T_0}, \quad (5)$$

где q — скорость тепловыделения, кВт/м²;

Таблица 2. Результаты прогнозирования по СП 12.13130.2009

Окончание табл. 2

№ п/п	ЛВЖ	$w \cdot 10^3$, кг/(м ² ·с)	m , кг	ΔV_1	ΔV_2	$\frac{\Delta V_2}{\Delta V_1}$
Скорость воздушного потока 0 м/с, $\eta = 1$ [1]						
1	Гексан	0,286211	0,655*	170,7	209,1	1,2
2	Бензол	0,198334	0,714	169,6	205,1	1,2
3	Диэтиловый эфир	0,984428	0,714*	114,3	172,5	1,5
4	Гептан	0,113210	0,408	104,5	129,6	1,2
5	Ацетон	0,355567	0,791*	79,8	221,3	2,8
6	Метанол	0,182594	0,657	56,2	110,9	2,0
7	Этанол	0,109504	0,394	49,1	85,3	1,7
8	1,4-Диоксан	0,087771	0,316	41,5	53,7	1,3
9	Ксилол	0,024585	0,089	18,3	33,1	1,8
Скорость воздушного потока 0,1 м/с, $\eta = 1,6$ [1]						
1	Бензол	0,317335	0,874*	207,5	250,9	1,2
2	Гексан	0,457938	0,655*	170,7	209,1	1,2
3	Гептан	0,181135	0,652	167,2	207,4	1,2
4	Диэтиловый эфир	1,575084	0,714*	114,3	172,5	1,5
5	Ацетон	0,568908	0,791*	79,8	221,3	2,8
6	Этанол	0,175206	0,631	78,6	136,5	1,7
7	Метанол	0,292151	0,787*	67,2	132,8	2,0
8	1,4-Диоксан	0,140433	0,506	66,4	85,9	1,3
9	Ксилол	0,039337	0,142	29,3	53,0	1,8
Скорость воздушного потока 0,2 м/с, $\eta = 2,3$ [1]						
1	Бензол	0,456169	0,874*	207,5	250,9	1,2
2	Гептан	0,260382	0,684*	175,3	217,4	1,2
3	Гексан	0,658286	0,655*	170,7	209,1	1,2
4	Диэтиловый эфир	2,264184	0,714*	114,3	172,5	1,5
5	Этанол	0,251858	0,785*	97,8	169,8	1,7
6	1,4-Диоксан	0,201873	0,727	95,4	123,4	1,3
7	Метанол	0,419967	0,787*	67,2	132,8	2,0
8	Ацетон	0,817805	0,791*	79,8	221,3	2,8
9	Ксилол	0,056546	0,204	42,1	76,1	1,8
Скорость воздушного потока 0,5 м/с, $\eta = 3,2$ [1]						
1	Бензол	0,634670	0,874*	207,5	250,9	1,2
2	Гептан	0,362270	0,684*	175,3	217,4	1,2
3	Гексан	0,915876	0,655*	170,7	209,1	1,2
4	1,4-Диоксан	0,280867	1,011	132,8	171,7	1,3
5	Диэтиловый эфир	3,150168	0,714*	114,3	172,5	1,5
6	Этанол	0,350411	0,785*	97,8	169,8	1,7
7	Ацетон	1,137815	0,791*	79,8	221,3	2,8
8	Метанол	0,584302	0,787*	67,2	132,8	2,0
9	Ксилол	0,078673	0,283	58,6	105,9	1,8

№ п/п	ЛВЖ	$w \cdot 10^3$, кг/(м ² ·с)	m , кг	ΔV_1	ΔV_2	$\frac{\Delta V_2}{\Delta V_1}$
Скорость воздушного потока 1 м/с, $\eta = 4,6$ [1]						
1	Бензол	0,912338	0,874*	207,5	250,9	1,2
2	Гептан	0,520764	0,684*	175,3	217,4	1,2
3	Гексан	1,316572	0,655*	170,7	209,1	1,2
4	1,4-Диоксан	0,403746	1,033*	135,6	175,4	1,3
5	Диэтиловый эфир	4,528367	0,714*	114,3	172,5	1,5
6	Этанол	0,503716	0,785*	97,8	169,8	1,7
7	Ксилол	0,113093	0,407	84,2	152,3	1,8
8	Ацетон	1,635610	0,791*	79,8	221,3	2,8
9	Метанол	0,839934	0,787*	67,2	132,8	2,0

* За расчетное время $\tau = 3600$ с растворитель испаряется полностью. w — скорость испарения ЛВЖ.

τ_1 — время после поджигания; обычно принимают $\tau_1 = 10$ с;

V — объем помещения, м³;

$\rho_v = 353/T_0 = 1,1350$ кг/м³ [7];

C_v — теплоемкость воздуха при постоянном объеме, кДж/(кг·К); $C_v = 0,723$ кДж/(кг·К)*.

Для определения скорости тепловыделения q предложено уравнение [6, 7]:

$$q = w_v \Delta H_{\text{гор}} F_{\text{и}} \left(1 - \frac{1}{e^{k_{\beta} D}} \right), \quad (6)$$

где $F_{\text{и}}$ — площадь разлива ЛВЖ, м²; $F_{\text{и}} = 1$ м² [1];

D — диаметр площади горения; $D = (4F_{\text{и}}/\pi)^{0,5}$.

Исходя из физического смысла удельного безопасного объема** и с учетом следующих исходных данных ($\tau_1 = 10$ с, свободный объем составляет 80 % объема помещения) из уравнения (5) выведена формула (7) для прогнозирования удельного безопасного объема ΔV_3 по методу Карлссона–Квинтая:

$$\Delta V_3 = \frac{1,6qP_0}{\rho_v C_v T_0}, \quad (7)$$

где ΔV_3 — удельный объем помещения, м³.

Исходные данные $\Delta H_{\text{гор}}$, w_v , k_{β} представлены в табл. 1. В ходе предварительных расчетов найдено, что значение коэффициента k_{β} для метанола и этанола можно принять равным не 100, как это указано в работе [7], а 8, так как при $k_{\beta} \geq 8$ скорость тепловыделения q для этих соединений практически не меняется.

* Найдено из уравнения: $C_p - C_v = 0,287$ кДж/(кг·К) [16].

** Удельный безопасный объем ΔV — минимальный объем помещения, отнесенный к аварийному разливу 1 л ЛВЖ, при котором создается избыточное давление взрыва паровоздушной смеси, равное 5 кПа.

Таблица 3. Результаты расчетов по методу Карлссона–Квинтая

ЛВЖ	q , кВт/м ²	ΔV_3 , м ³	$\Delta V_3/\Delta V_1$
Метанол	44,00	43,5	0,8
Этанол	58,96	58,3	1,2
Бензол	330,21	326,7	1,9
Гексан	301,94	298,7	1,7
Гептан	340,75	337,1	3,2
Ксилол	306,36	303,1	16,6
Ацетон	96,56	95,5	1,2
1,4-Диоксан	47,11	46,6	1,1
Диэтиловый эфир	172,37	170,5	1,5

Результаты прогнозирования по уравнению (7) представлены в табл. 3.

Сравнительный анализ методов СП 12.13130.2009 и Карлссона–Квинтая

В методиках СП 12.13130.2009 и Карлссона–Квинтая заложены различные сценарии развития теоретической аварийной ситуации, связанной с разлитием ЛВЖ. В сводах правил рассматривается вариант объемной вспышки (взрыва) паровоздушной смеси, а в американской методике — сравнительно медленный рост избыточного давления в результате выгорания воспламеняющейся жидкости. Несмотря на это, для спиртов, ацетона и диоксана

результаты прогнозирования ΔV_3 сопоставимы с результатами расчета ΔV_1 , а для диэтилового эфира — с ΔV_2 (см. табл. 2 и 3). Для углеводородных растворителей (бензол, гексан, гептан, ксилол) американский подход дает завышенные значения удельного безопасного объема по сравнению с отечественной методикой (см. табл. 2 и 3).

Выводы

1. Найдены удельные безопасные объемы помещений объектов, в которых хранятся или обращаются ЛВЖ, для территорий Белгородской, Брянской, Воронежской, Калужской, Тамбовской и Тульской областей. Полученные результаты могут использоваться проектными организациями и надзорными органами в их практической деятельности.

2. Показано, что российская и американская методики определения избыточного давления в результате расчетной аварийной ситуации, связанной с разлитием ЛВЖ, построены на различных сценариях развития событий. В отечественном методе заложен вариант объемной вспышки (взрыва) паровоздушной смеси, сопровождающийся мгновенным подъемом избыточного давления в помещении, а американский метод базируется на сравнительно медленном росте избыточного давления в результате выгорания ЛВЖ. Несмотря на это, оба подхода дают сопоставимые результаты прогноза безопасных объемов помещений, в которых хранятся или обращаются неуглеводородные растворители.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности (в ред. изм. № 1, утв. приказом МЧС России от 09.12.2010 г. № 643) : приказ МЧС России от 25.03.2009 г. № 182; введ. 01.05.2009 г. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009. Доступ из сборника НСИС ПБ. — 2012. — № 2 (48).
- Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах : утв. приказом МЧС России от 10.07.2009 г. № 404 (ред. от 14.12.2010 г.); зарег. в Минюсте РФ 17.08.2009 г., рег. № 14541; введ. 10.07.2009 г. // Пожарная безопасность. — 2009. — № 3. — С. 36–63.
- Пилюгин Л. П. Обеспечение взрывоустойчивости зданий с помощью предохранительных конструкций. — М. : Пожнаука, 2000. — 224 с.
- Пилюгин Л. П. Прогнозирование последствий внутренних аварийных взрывов. — М. : Пожнаука, 2010. — 380 с.
- Пособие по применению НПБ 105–95 “Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной опасности” при рассмотрении проектно-нормативной документации : утв. 01.01.98 г. ВНИИПО МВД России. — М. : ВНИИПО МВД России, 1998. Доступ из сборника НСИС ПБ. — 2012. — № 2 (48).
- Karlsson B., Quintiere J. G. Enclosure Fire Dynamics. — Boca Raton : CRC Press, 2000. — 336 p.
- Iqbal N., Salley M. H., Weerakkody S. Fire Dynamics Tools (FDT[®]): Quantitative Fire Hazard Analysis Methods for the U. S. Nuclear Regulatory Commission. Fire Protection Inspection Program. Final Report. NUREG-1805. — Washington : NRR & NRC, 2004. — 1008 p.
- Алексеев С. Г., Смирнов В. В., Барбин Н. М. Температура вспышки. Часть I. История вопроса, дефиниции, методы экспериментального определения // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 5. — С. 35–41.

9. ГОСТ 12.1.044–89*. ССБТ. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. — Введ. 01.01.91 г. — М. : ИПК Изд-во стандартов, 2001. Доступ из сборника НСИС ПБ. — 2012. — № 2 (48).
10. Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Авдеев А. С., Пищальников А. В. О взрывопожароопасности водочной продукции // Пожаровзрывобезопасность. — 2009. — Т. 18, № 2. — С. 20–23.
11. Рудаков О. Б., Алексеев С. Г., Бердникова Н. В., Калач А. В., Барбин Н. М. Пожаровзрывобезопасность хроматографической аналитической лаборатории // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 1. — С. 57–60.
12. Алексеев С. Г., Рудаков О. Б., Черепашин А. М., Калач Е. В., Рудакова Л. В. Пожарная безопасность исследовательских лабораторий, применяющих жидкостную экстракцию и хроматографию // Сорбционные и хроматографические процессы. — 2012. — Т. 12, вып. 5. — С. 770–778.
13. Алексеев С. Г., Авдеев А. С., Пищальников А. В., Барбин Н. М. Выбор наиболее опасного ЛВЖ при категорировании помещений // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 9. — С. 19–24.
14. СНиП 23-01–99*. Строительная климатология : постановление Госстроя России от 11.06.99 г. № 45; введ. 01.01.2000 г. — М. : ГУП ЦПП, 2003.
15. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering / P. J. DiNenno (ed.). — Quincy : NFPA, 2002. — 1604 p.
16. Демидов П. Г., Саушев В. С. Горение и свойства горючих веществ. — М. : ВИПТШ, 1975. — 280 с.

Материал поступил в редакцию 1 июня 2013 г.

English

THE COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS OF SP 12.13130.2009 AND KARLSSON AND QUINTIERE

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)

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

PISHCHALNIKOV A. V., 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), Head of Laboratory of Forensic Expert Establishment of Federal Fire Service "Testing Fire Laboratory for the Perm Region" (Bolshevistskaya St., 53a, Perm, 614990, Russian Federation; e-mail address: rina04@rambler.ru)

KALACH A. V., Doctor of Chemistry Sciences, Associate Professor, Vice-Rector on Scientific Work of Voronezh Institute of State Fire Service of Emercom of Russia (Krasnoznamennaya St., 231, Voronezh, 394052, Russian Federation; e-mail address: a_kalach@mail.ru)

ABSTRACT

Definition need of fire and explosive category of buildings and compartments on the SP 12.13130.2009 is arisen at their designing and an estimation. In the USA over pressure for closed compartments is defined by the method of Karlsson and Quintiere. Comparison of these approaches has not only scientific, but also practical interest. Specific safety volumes of compartments for objects with flammable liquids are calculated for the territories of Belgorod, Bryansk, Voronezh, Kaluga, Tambov and Tula regions. Comparative analysis of Russian and American approaches of the forecast of specific safety volumes of premises is made. The received results are able to used design firms and supervising departments in their practical work. Calculations with using SP 12.13130.2009 and the method of Karlsson and Quintiere are yielded comparable forecast in case of application of unhydrocarbon solvents.

Keywords: compartment; over pressure; flammable liquid; safety; calculation.

REFERENCES

1. Set of Rules 12.13130.2009. Determination of Categories of Rooms, Buildings and External Installations on Explosion and Fire Hazard Data. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2009. Available at: NSIS PB, 2012, no. 2 (48) (in Russian).
2. Technique of determination of settlement sizes of fire risk on production objects. Order of Emercom of Russia on 10.07.2009 No. 404. *Pozharnaya bezopasnost — Fire Safety*, 2009, no. 3, pp. 36–63 (in Russian).
3. Pilyugin L. P. *Obespecheniye vzryvoustoychivosti zdaniy s pomoshchyu predokhranitelnykh konstruktsey* [Maintenance explosion of stability of buildings by means of safety constructions]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2000. 224 p.
4. Pilyugin L. P. *Prognozirovaniye posledstviy vnutrennikh avariynykh vzryvov* [Forecasting of results of emergency confined explosions]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2010. 380 p.
5. *Manual on NPB 105–95 “Determination of Categories of Rooms, Buildings and External Installations on Explosion and Fire Hazard for Considering Design-Normative Documentation”*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection Publ., 1998. Available at: NSIS PB, 2012, no. 2 (48) (in Russian).
6. Karlsson B., Quintiere J. G. *Enclosure Fire Dynamics*. Boca Raton, CRC Press, 2000. 336 p.
7. Iqbal N., Salley M. H., Weerakkody S. *Fire Dynamics Tools (FDT^s): Quantitative Fire Hazard Analysis Methods for the U. S. Nuclear Regulatory Commission. Fire Protection Inspection Program. Final Report. NUREG-1805*. Washington, NRR & NRC, 2004. 1008 p.
8. Alexeev S. G., Smirnov V. V., Barbin N. M. Temperatura vspyshki. Chast I. Istoriya voprosa, definitsii, metody eksperimentalnogo opredeleniya [Flash Point. Part I. Question History, Definitions and Test Methods of Determination]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 5, pp. 35–41. Available at: <http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=1025030> (Accessed 20 May 2013).
9. *Interstate standard 12.1.044–89*. Occupational Safety Standards System. Fire and Explosion Hazard of Substances and Materials. Nomenclature of Indices and Methods of their Determination*. Moscow, IPK Izdatelstvo standartov, 2001. Available at: NSIS PB, 2012, no. 2 (48) (in Russian).
10. Alexeev S. G., Barbin N. M., Avdeev A. S., Pishchalnikov A. V. O vzryvopozharoopasnosti vodochnoy produktsii [About Explosion and Fire Hazard of Vodka]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2009, vol. 18, no. 2, pp. 20–23. Available at: <http://www.fire-smi.ru/images/arhiv/22009.pdf> (Accessed 20 April 2013).
11. Rudakov O. B., Alexeev S. G., Berdnikova N. V., Kalach A. V., Barbin N. M. Pozharovzryvbezopasnost khromatograficheskoy analiticheskoy laboratorii [Fire and Explosion Safety of Chromatography Laboratory]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 1, pp. 57–60. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=17326716> (Accessed 20 April 2013).
12. Alexeev S. G., Rudakov O. B., Cherepakhin A. M., Kalach Ye. V., Rudakova L. V. Pozharnaya bezopasnost issledovatel'skikh laboratoriy, primenyayushchikh zhidkostnuyu ekstraktsiyu i khromatografiyu [Fire and Explosion Safety of Chromatography Laboratory]. *Sorbtsionnyye i khromatograficheskiye protsessy — Sorption and Chromatographic Processes*, 2012, vol. 12, no. 5, pp. 651–659.
13. Alexeev S. G., Avdeev A. S., Pishchalnikov A. V., Barbin N. M. Vybora naiboleye opasnogo LVZh pri kategorirovaniy pomeshcheniy [Selection of the Most Dangerous Flammable Liquid at Categorization of Compartments]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 9, pp. 19–24.
14. *Construction norms and regulations 23-01–99*. Building rules. Building climatology*. Moscow, GUP TsPP Publ., 2003 (in Russian).
15. P. J. DiNenno (ed.). *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. Quincy, NFPA, 2002. 1604 p.
16. Demidov P. G., Saushev V. S. *Goreniye i svoystva goryuchikh veshchestv* [Burning and properties of combustibles]. Moscow, State Fire Academy of Ministry of Fire Interior Ministry of Russia Publ., 1975. 280 p.

Е. Н. ПОКРОВСКАЯ, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры общей химии Московского государственного строительного университета (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское ш., 26, e-mail: elenapokrovskaya@bk.ru)

Ф. А. ПОРТНОВ, аспирант кафедры комплексной безопасности в строительстве Московского государственного строительного университета (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское ш., 26, e-mail: wastingtimefilmart@gmail.com)

А. А. КОБЕЛЕВ, канд. техн. наук, преподаватель кафедры пожарной безопасности в строительстве Академии Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 129336, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4)

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

УДК 699.8:614.8+544+630.3

ДЫМООБРАЗУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ И ТОКСИЧНОСТЬ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ПОВЕРХНОСТНОМ МОДИФИЦИРОВАНИИ ЭЛЕМЕНТООРГАНИЧЕСКИМИ СОЕДИНЕНИЯМИ

Известно, что даже самые эффективные современные составы, с точки зрения подавления воспламенения и распространения пламени по поверхности древесины, не всегда уменьшают (а иногда даже увеличивают) дымообразующую способность древесины и токсичность продуктов сгорания. Изучено влияние фосфор- и кремнийорганических соединений; проведены исследования с целью изучения механизма влияния модификаторов на дымообразующую способность и токсичность продуктов термического разложения древесины.

Ключевые слова: дымообразующая способность; дым; защита от дыма; токсичность; древесина; элементоорганические соединения.

Дымообразующая способность древесины является одной из важнейших характеристик, от которых зависит безопасность людей при пожаре в зданиях и сооружениях с применением деревянных конструкций. В научной литературе содержится информация о дымообразующей способности различных пород древесины [1, 2]. Согласно статистическим данным [3] в период с 2008 по 2011 гг. ежегодно в России на пожарах гибло от 12 до 15 тыс. чел., из них 70–75 % — в результате отравления токсичными продуктами сгорания. Отравление на пожаре происходит из-за задержки эвакуации, одной из основных причин которой является задымление на путях эвакуации.

Дым является одним из опасных факторов пожара (ОФП) и образуется в результате неполного сгорания продуктов термического разложения. Для него характерна высокая температура и наличие токсичных продуктов горения, что представляет опасность для жизни и здоровья человека. Опасность также возникает в результате ухудшения видимости в задымленной среде. Кроме гибели людей, это приводит к загрязнению окружающей среды [4]. Из-за подъема продуктов горения на высоту 1–2 км через

конвективную колонку образуется облако дыма, которое может осесть на большом расстоянии от источника пожара, нанося тем самым ущерб экологии.

С учетом появления более современных экспериментальных методов исследования представляется возможным более детально изучить вопрос снижения дымообразующей способности древесины.

Исследование данного вопроса важно проводить в рамках комплексного снижения пожароопасных свойств древесины. Предотвратить возникновение пожара от малокалорийных источников зажигания, а также ограничить образование и воздействие на людей опасных факторов пожара в случае его возникновения способны антипирены — огнезащитные пропиточные составы. Наиболее эффективными антипиренами для древесины являются составы на основе фосфорорганических соединений [5]. Для достижения комплексного защитного эффекта в состав вводятся кремнийорганические добавки, которые защищают древесину от воздействия влаги и биокоррозии [6].

Известно, что даже самые эффективные современные составы, с точки зрения подавления воспламенения и распространения пламени по поверх-

ности древесины, не всегда уменьшают дымообразующую способность древесины и токсичность продуктов сгорания, а в некоторых случаях даже увеличивают их. Таким образом, в случае возгорания огнезащищенной древесины сохраняется опасность воздействия данных опасных факторов пожара на людей. Модифицирование с образованием химических связей — важный фактор длительного сохранения пожарозащитных свойств, поэтому наши исследования направлены на изучение влияния поверхностного модифицирования древесины фосфор- и кремнийорганическими соединениями с целью снижения уровня образования ОФП.

Испытания дымообразующей способности огнезащищенной древесины проводились по стандартной методике [7] в режиме тления при плотности тепловых потоков $Q = 5\div35$ кВт/м². В результате определялся коэффициент дымообразования D_m , а также потеря массы образцов при тлении Δm . Время экспозиции образца T_k устанавливалось по достижении минимального светопропускания и варьировалось от 210 до 300 с.

Испытания проводились для образцов древесины, поверхностно модифицированной неорганическими и органическими эфирами кислот фосфора и эфирами кремниевой кислоты. Концентрация всех растворов в воде составляла 20 % по массе. Из кремнийорганических соединений использовались полифенилметилсилоксан (ПФМС) и тетраэтоксисилан (ТЭОС) в виде 20 %-ных растворов по массе в ацетоне.

В отсутствие теплового воздействия значение D_m принималось равным нулю для всех соединений. Максимальные значения коэффициента дымообразования были получены при плотности теплового потока 20 кВт/м² (табл. 1), что соответствует максимальному значению плотности радиационного теплового потока, при котором не происходит воспламенения образца. При тепловых потоках плотностью менее и более 20 кВт/м² (рис. 1) происходит постепенное снижение дымообразующей способности древесины в присутствии выбранных составов. Это связано, с одной стороны, со снижением интенсивности терморазложения древесины, а с другой — с воспламенением древесины, что приводит к более полному сгоранию ее и снижению интенсивности выделения дыма и токсичных продуктов сгорания.

Дымообразующая способность древесины в присутствии эфиров фосфористой кислоты снижается в 5 раз в случае применения диэтилфосфита и в 1,5–2 раза — для остальных эфиров фосфористой кислоты и кремнийорганических соединений. Потеря массы образцов древесины в присутствии эфиров фосфористой кислоты на 10–20 % меньше, чем

Таблица 1. Дымообразующая способность древесины, поверхностно модифицированной фосфор- и кремнийорганическими соединениями, при $Q = 20$ кВт/м², $T = 315$ °С

№ п/п	Вещество	Δm , %	D_m , м ² /кг
1	Диметилфосфит (ДМФ)	76	510–550
2	Диэтилфосфит (ДЭФ)	68	160–200
3	Дипропилфосфит (ДПФ)	76	640–680
4	Дибутилфосфит (ДБФ)	78	600–640
5	Дифенилфосфит (ДФФ)	79	740–780
6	ПФА-1	71	400–440
7	ПФА-2	80	820–860
8	ПФА-201	84	730–770
9	Полифенилметилсилоксан (ПФМС)	85	800–840
10	Тетраэтоксисилан (ТЭОС)	85	610–650
11	Исходная древесина	87	970–1030

D_m , м²/кг

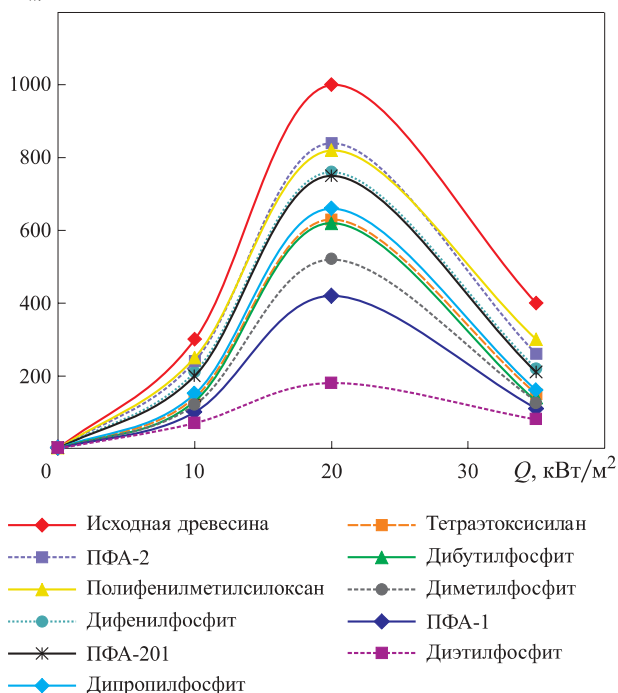


Рис. 1. Зависимость дымообразующей способности древесины, поверхностно модифицированной фосфор- и кремнийорганическими соединениями, от плотности теплового потока

для исходной древесины и древесины, модифицированной ПФМС и ТЭОС, что указывает на наличие огнезащитного действия фосфорсодержащих соединений и на отсутствие такового у кремнийсодержащих соединений. Наименьший коэффициент дымообразования характерен для образцов, модифицированных ДЭФ, ДМФ и ПФА-1.

Для выяснения механизма влияния модификаторов на дымообразующую способность и токсич-

ность продуктов термического разложения древесины, поверхностно модифицированной фосфор- и кремнийорганическими соединениями, проведены исследования коксового слоя, который образуется на поверхности модифицированной древесины в процессе ее термического разложения. Исследования проводились методами элементного анализа, инфракрасной спектроскопии, пиролитической газовой хроматографии и экспериментального определения показателя токсичности продуктов горения полимерных материалов [7]. Анализ методом ИК-спектроскопии и элементного анализа подвергался поверхностный карбонизованный слой образцов модифицированной древесины, образующийся при экспонировании образцов древесины в тепловом потоке плотностью 20 кВт/м² от радиационной панели.

ИК-спектры поверхностного карбонизованного слоя исходной древесины представлены на рис. 2. Полосы поглощения с максимумами при волновом числе 2920 см⁻¹ соответствуют группам —CH₂, 2970 см⁻¹ — группам —OH, которые содержатся в компонентах лигноуглеводного комплекса. Область 1600 см⁻¹ в ИК-спектрах отвечает за колебания ароматического кольца, которое первоначально находится в структурных единицах лигнина.

На рис. 2,а представлены ИК-спектры поверхностного карбонизованного слоя древесины, модифицированной фосфорсодержащими соединениями. На рис. 2,а видны полосы поглощения, соответствующие наличию фосфорильных группировок (1160 см⁻¹). Фосфорилирование в случае модификации древесины ДЭФ и ПФА-1 протекает интенсивнее, чем при модификации ДФФ. Взаимодействие происходит по принципу переэтерификации по $O=P(O)(OH)_2$ с частичным разложением продуктов.

На рис. 2,б показаны ИК-спектры поверхностного карбонизованного слоя древесины, модифицированной кремнийсодержащими соединениями. Здесь мы можем видеть полосы поглощения, соответствующие остаткам групп —Si—O—C₂H₅, лигноуглеводного комплекса и наличию простых эфирных связей. Интенсивность химического взаимодействия по —Si—O—C₂H₅ сильнее в присутствии ТЭОС.

Сравнение оптической плотности ИК-спектров карбонизованных остатков (см. рис. 2,а) показывает значительное увеличение концентрации фосфорильной группировки (1160 см⁻¹) при модифицировании древесины ДЭФ и ПФА-1. Модифицирование ДМФ и ДФФ протекает в значительно меньшей степени, что подтверждается данными элементного анализа (табл. 2).

На основании вышеизложенных экспериментальных данных можно сделать вывод, что дымообразующая способность уменьшается с увеличением

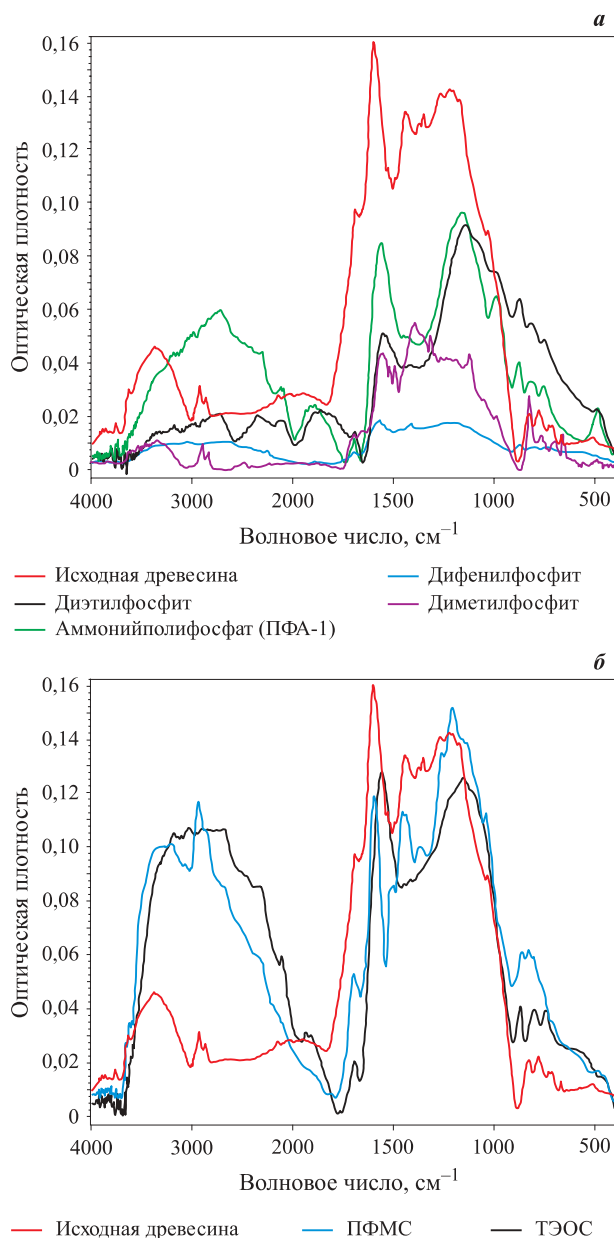


Рис. 2. ИК-спектры поверхностного карбонизованного слоя углей древесины исходной и модифицированной фосфорорганическими (а) и кремнийорганическими (б) соединениями

степени модифицирования древесины огнезащитными компонентами. В поверхностном коксовом слое древесины при модифицировании ее фосфорорганическими соединениями дымообразующая способность снижается в большей степени, чем при модифицировании кремнийорганическими соединениями.

Для исследования летучих продуктов, образующихся при дымообразовании, и их свойств были проведены испытания методом пиролитической газовой хроматографии. 3D-диаграммы ИК-спектров температуры летучих продуктов термического разложения древесины, модифицированной ДЭФ и ПФА-1, представлены на рис. 3.

Таблица 2. Данные элементного анализа карбонизованного слоя древесины, модифицированной фосфор- и кремнийорганическими соединениями

Соединения	Модификатор	Содержание, %	
		фосфора	кремния
Фосфор-органические	Диэтилфосфит	4,28	—
	Дифенилфосфит	0,35	—
	Дибутылфосфит	0,66	—
	Гексахлортрициклофосфазен	0,34	—
Кремний-органические	Полифенилметилсилоксан	—	0,32
	Тетразтоксисилан	—	0,85

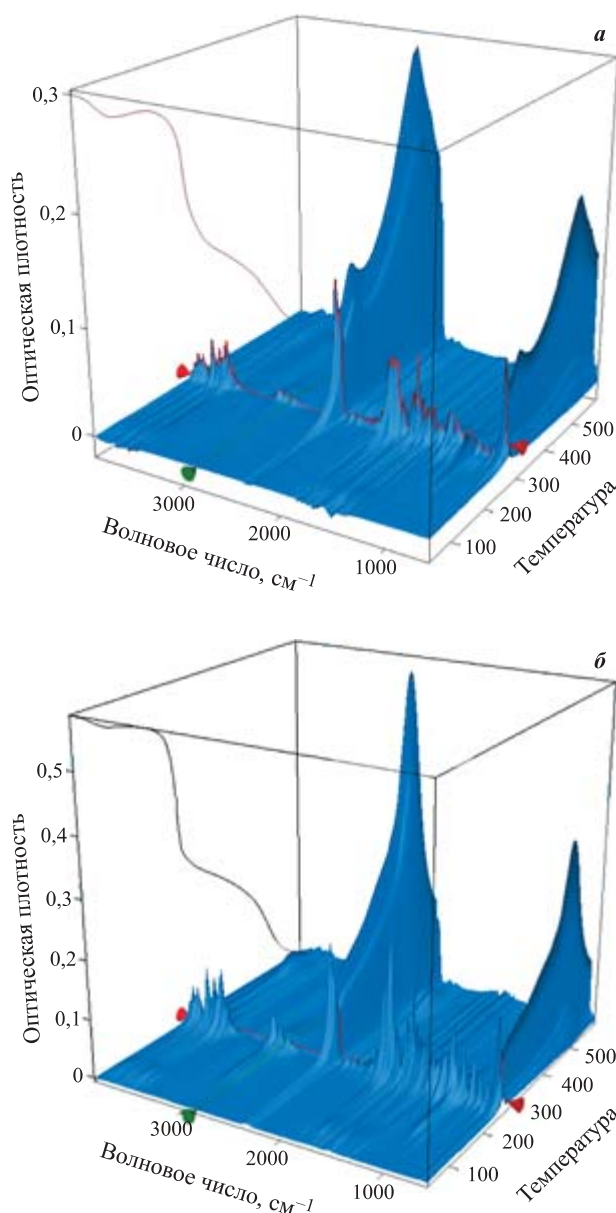


Рис. 3. 3D-диаграммы ИК-спектров температуры летучих продуктов термического разложения древесины, модифицированной ДЭФ (а) и ПФА-1 (б)

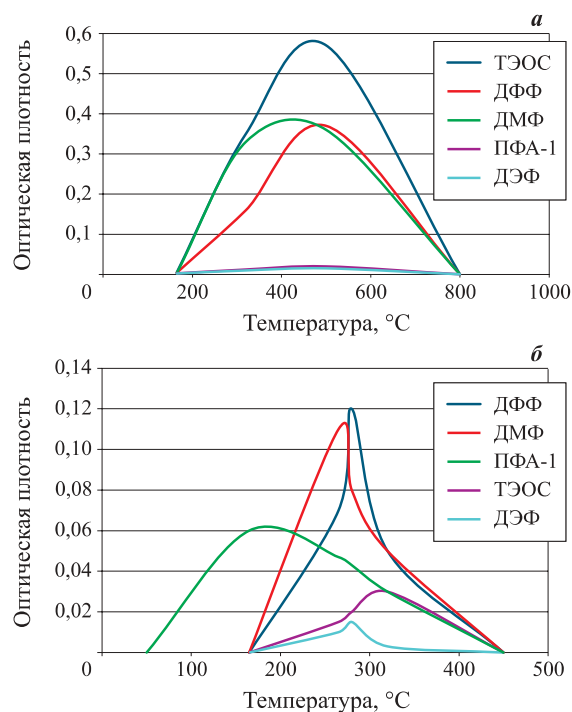


Рис. 4. Зависимость оптической плотности СО (а) и твердых частиц углерода (б), выделяющихся при термическом разложении древесины, модифицированной различными элементоорганическими соединениями, от температуры

В процессе исследования были определены ИК-спектры летучих продуктов термического разложения и зависимости оптической плотности A выделяемых продуктов от температуры. Графики зависимости оптической плотности СО и твердых частиц углерода от температуры представлены на рис. 4 и в табл. 3. Кроме того, в табл. 3 приведены данные и для других продуктов термического разложения древесины (CO_2 , CH_3COOH , сложные эфиры, простые эфиры).

Наименьшая концентрация летучих продуктов термического разложения характерна для древесины, модифицированной ДМФ, ДЭФ и ПФА-1. Концентрация СО достигает максимума при 450–475 °С и коррелируется со степенью модификации. Выделение твердых частиц углерода зависит от природы модификатора и имеет более сложную зависимость.

Испытания по определению токсичности продуктов сгорания модифицированной древесины проводились в режиме тления в течение 30 мин на установке по определению показателя токсичности продуктов горения полимерных материалов с помощью газоанализатора при тепловом потоке плотностью 23 кВт/м² (температура ТЭН порядка 650 °С). При этом принимались следующие предельно допустимые концентрации продуктов сгорания: $\text{CO} < 0,35\%$; $\text{CO}_2 < 2,5\%$; $\text{O}_2 > 17\%$. Результаты испытаний представлены в табл. 4.

Таблица 3. Максимальная оптическая плотность летучих продуктов термического разложения, выделяющихся при термическом разложении древесины, модифицированной различными элементоорганическими соединениями

Модификатор	СО (2180 см ⁻¹)	СО ₂ (2360 см ⁻¹)	СН ₃ СООН (1795 см ⁻¹)	Сложные эфиры (1730 см ⁻¹)	Простые эфиры (1060 см ⁻¹)	Твердые частицы углерода (3000–2900 см ⁻¹)
ДЭФ	0,005	0,25	0,08	0,08	0,08	0,015
ПФА-1	0,01	0,39	0,17	0,17	0,17	0,062
ТЭОС	0,58	0,59	0,53	0,53	0,53	0,03
ДМФ	0,37	0,36	0,15	0,15	0,15	0,112
ДФФ	0,38	0,47	0,52	0,52	0,52	0,12
Исходная древесина	0,01	6,0	0,1	0,09	0,05	0,015

Таблица 4. Результаты испытаний по определению токсичности древесины, модифицированной различными элементоорганическими соединениями

Модификатор	СО, %	СО ₂ , %	О ₂ , %
ДЭФ	0,07	0,47	20,8
ДМФ	0,15	1,09	20,74
ДФФ	0,5	1,23	20,07
ПФА-1	0,21	1,12	20,5
ПФА-2	0,36	1,42	20,23
ПФА-APP-3	0,35	1,27	20,08
ТЭОС	0,13	0,5	20,73
ПФМС	0,15	1,06	20,6

Выводы

В работе определена дымообразующая способность древесины, поверхностно модифицированной эфирами фосфористой кислоты, полифосфатами аммония, полифенилметилсилоксаном и тетраэтоксисиланом. Все изученные модификаторы снижают оптическую плотность дыма. Наибольшее влияние на дымообразующую способность (уменьшение в 5 раз) оказывает диэтиловый эфир фосфористой кис-

лоты. В ИК-спектрах карбонизованного слоя, образующегося при термическом разложении модифицированной древесины, отмечается наличие полосы фосфорильной группировки, причем наибольшая интенсивность пика этой полосы наблюдается при модифицировании древесины диэтилфосфитом, наименьшая — при модифицировании ДФФ. Данные элементного анализа подтверждают, что наибольшая степень фосфорилирования характерна для диэтилфосфита. Методом пиролитической хроматографии показано, что наименьшая концентрация твердых веществ и токсичных продуктов в дымах характерна для древесины, модифицированной диэтилфосфитом.

Таким образом, показано, что интенсивность дымообразования и токсичность продуктов сгорания зависят от степени модифицирования поверхностного слоя древесины. Веществом, эффективно подавляющим дым, является диэтиловый эфир фосфористой кислоты, который в стадии пиролиза фосфорилирует компоненты лигноуглеводного комплекса с образованием термостойких соединений.

Исследования в этом направлении будут продолжены.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Butcher E. G., Parnell A. C. Smoke Control in Fire Safety Design. — London, E. & F. N. Spon Ltd., 1979.
2. Асеева Р. М., Серков Б. Б., Сивенков А. Б. Горение древесины и ее пожароопасные свойства. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2010. — 262 с.
3. Пожары и пожарная безопасность в 2011 году. Статистика пожаров и их последствий: статистический сборник. — М. : ВНИИПО МЧС России, 2012. — 137 с.
4. Исаева Л. К. Пожары и окружающая среда. — М. : Издательский дом “Калан”, 2001. — 222 с.
5. Покровская Е. Н. Сохранение памятников деревянного зодчества с помощью элементоорганических соединений. — М. : Изд-во АСВ, 2009. — 136 с.
6. Кобелев А. А. Разработка комплексного огнебиозащитного состава на основе соединений, обеспечивающих поверхностную модификацию древесины : дис. ... канд. техн. наук. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2012. — 128 с.
7. ГОСТ 12.1.044–89*. ССБТ. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. — Введ. 01.01.91 г. — М. : Изд-во стандартов, 1989; ИПК Изд-во стандартов, 1996; 2001.

Материал поступил в редакцию 6 июня 2013 г.

THE SMOKE GENERATION PROPERTY AND COMBUSTION PRODUCTS TOXICITY OF WOOD WHICH WAS MODIFIED BY ORGANOELEMENTAL COMPOUNDS

POKROVSKAYA E. N., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of General Chemistry Department, Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail address: elenapokrovskaya@bk.ru)

PORTNOV F. A., Postgraduate Student of Department of Complex Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail address: wastingtimefilmart@gmail.com)

KOBELEV A. A., Candidate of Technical Sciences, Lecturer of Department of Fire Safety in Construction, State Fire Service Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129336, Russian Federation)

KOROL'CHENKO 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: kafedrapb@yandex.ru)

ABSTRACT

The increase of the smoke and toxic combustion products generation is the critical problem of the most fire retardants which are effective in terms of the suppression of the flammability and the fire spread along the wood surface. A risk of the impact of dangerous fire factors on people still exists in case of the ignition of treated wood.

The modification with the chemical bonds formation is the important factor of the long preservation of fire safety properties. So, these studies are focused on effect of the surface modification of the wood by inorganic and organic acids of the phosphorus, and some of the organosilicon compounds for the purpose of dangerous fire factors reduce. For an explanation of the effect of mechanism on the smoke generation property and combustion products toxicity of wood which was modified by inorganic and organic acids of the phosphorus, and some of the organosilicon compounds carried out some experiments. Purpose of that experiments is properties of carbonized layer which forms in the process of the thermal degradation of the modified wood. The study used the following methods: IR spectroscopy, elemental analysis, pyrolysis gas chromatography, toxicity method for polymer building materials (ISO standard).

The smoke generation property and the combustion products toxicity depends on modifiers nature. The modifiers should inhibit the smouldering process for the effective suppression of dangerous fire factors. The smouldering process forms the surface layer that includes carbon and modifiers residues.

As a result of experiments, the compound, that reduces the smoke and combustion products toxicity generation more effectively, was defined.

Keywords: smoke generation property; smoke; smoke protection; toxicity; wood; organoelemental compounds.

REFERENCES

1. Butcher E. G., Parnell A. C. *Smoke Control in Fire Safety Design*. London, E. & F. N. Spon Ltd., 1979.
2. Aseeva R. M., Serkov B. B., Sivenkov A. B. *Goreniye drevesiny i yeye požaroopasnyye svoystva* [The burning of wood and its flammable properties. Monograph]. Moscow, State Fire Service Academy of Emercom of Russia Publ., 2010. 262 p.
3. *Pozhary i požarnaya bezopasnost v 2011 godu. Statistika požarov i ikh posledstviy. Statisticheskiy sbornik* [Fires and fire safety in the 2011 year. The statistical compilation. Statistics of the fires and their consequences]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia, 2012. 137 p.
4. Isaeva L. K. *Pozhary i okruzhayushchaya sreda* [Fires and the environment]. Moscow, Publishing house Kalan, 2011. 222 p.
5. Pokrovskaya E. N. *Sokhraneniye pamyatnikov derevyannogo zodchestva s pomoshchyu elementoorganicheskikh soyedineniy* [Preservation of monuments of wooden architecture by means of organoelemental compounds]. Moscow, ASV Publ., 2009. 136 p.
6. Kobelev A. A. *Razrabotka kompleksnogo ognеbiovlagozashchitnogo sostava na osnove soyedineniy, obespechivayushchikh poverkhnostnuyu modifikatsiyu drevesiny: dis. kand. tekhn. nauk* [Development of complex fire and moisture resistant structure based on connections for surface modification of wood. Cand. techn. sci. diss.]. Moscow, State Fire Service Academy of Emercom of Russia Publ., 2012. 128 p.
7. *Interstate Standard 12.1.044–89*. Fire and explosion hazard of substances and materials. Nomenclature of indices and methods of their determination*. Moscow, Izdatelstvo standartov, 1989; IPK Izdatelstvo standartov, 1996; 2001 (in Russian).

Мир стремительно меняется, и на рынке появляется огромное количество новых решений, новых материалов, новых технологий, нового оборудования и т. д. Строительная отрасль очень осторожно применяет новые материалы, но это и понятно: ответственность за жизни людей, за их комфорт обуславливает подобное поведение. Однако все когда-то было новым и с течением времени стало привычным, поэтому конференции и различные презентации призваны обновлять имеющуюся информацию. I Межотраслевая конференция «Огнезащита. Современные технологии» позволит в режиме диалога получить новые знания, обсудить опыт, уже имеющийся в сфере огнезащиты, и начать применять на практике наиболее удачные решения.

За прошедший 2012 год в стране произошло свыше 160.000 пожаров. Многие из них могло не быть, а последствия других оказались бы куда менее разрушительными, соблюдай население меры огнезащиты строительных конструкций. Материалы, выполнение работ, конструктивные решения — все это либо снижает, либо повышает пожарную опасность построек.

В рамках Конференции будут рассмотрены вопросы:

- Информирование потребителей о современных материалах огнезащиты и о качестве предоставляемых услуг на рынке огнезащитной продукции
- Ознакомление с требованиями надзорных органов
- Критерии подбора материалов огнезащиты при составлении технической документации проектными институтами

Специальные темы конференции:

- Функции государства и надзорных органов в огнезащите
- Тенденции рынка: способы огнезащиты объектов

- Конструктивные методы огнезащиты
- Огнезащитные материалы
- Оборудование для нанесения и контроля огнезащитных материалов
- Стандарты, технические требования к материалам и выполнению работ
- Экология. Охрана труда

Участники конференции:

- Надзорные органы в сфере строительства и пожарной безопасности
- Строительно-монтажные организации
- Научно-производственные предприятия и лаборатории
- Проектные организации
- Мировые производители лакокрасочных покрытий

I Межотраслевая конференция

«ОГНЕЗАЩИТА. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

25.11.2013 г.

Место проведения:
ул. Ленина 24-А,
Администрация г. Екатеринбурга

I Межотраслевая конференция «Огнезащита. Современные технологии» призвана дать возможность профессионалам обменяться мнениями и получить ценную информацию об огнезащитных материалах и обо всем, что с ними связано. Инновации и стандарты, передовой опыт и проверенные технологии, интересы потребителей, продавцов и представителей государственных органов будут объединены на одной площадке.

I Межотраслевая конференция «Огнезащита. Современные технологии» — прекрасная возможность получить инсайдерские данные, приобрести новые контакты, ознакомиться с новинками, найти оригинальное решение для реальных производственно-коммерческих задач.



По вопросам участия и сотрудничества обращаться в Оргкомитет:

«Образовательный центр Уралгрит»,
г. Екатеринбург, ул. Альпинистов, 57.
Тел.: +7(343) 216-67-06, +7(922)168-24-87
e-mail: Education@uralgrit.com
www.uralgrit.com

М. В. ГРАВИТ, канд. техн. наук, доцент кафедры “Управление и защита в ЧС” Санкт-Петербургского государственного политехнического университета (ФГБОУ ВПО СПбГПУ) (Россия, 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29; e-mail: marina.gravit@mail.ru)

УДК 667.61:614.841.332

ЦВЕТОВОЕ ИСПОЛНЕНИЕ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ОГНЕЗАЩИТНЫМИ ВСПУЧИВАЮЩИМИСЯ ПОКРЫТИЯМИ

Показано, что колерование универсальными колеровочными пастами огнезащитных красок в насыщенные цветовые тона хаотически влияет на кратность вспучивания, в большинстве случаев снижая данный показатель. Аналогичные результаты обнаружены при нанесении на огнезащитные покрытия финишных покрытий, содержащих различные типы пленкообразователей и растворителей. Прогнозируется, что огнезащитная эффективность покрытий (заколерованных либо перекрытых финишными красками) будет снижаться по сравнению со стандартной базовой рецептурой. Показано, что положение о том, что необходимо выполнять работы по огнезащите сертифицированными системами покрытий, хотя и отображено в законодательстве, однако редко применяется в практике строительства.

Ключевые слова: вспучивающиеся покрытия; цвет; колеровочная паста; базовая рецептура; финишное покрытие; совместимость покрытий; кратность вспучивания; огнезащитная эффективность.

Цветовая отделка интерьера помещения, в том числе производственного, должна разрабатываться с учетом общего архитектурно-композиционного решения, способствовать повышению производительности и улучшению гигиенических условий труда, обеспечению безопасности производственных процессов, а также улучшению освещения помещений и повышению эстетического уровня промышленных предприятий.

Подбор цветового решения для интерьеров технологических цехов, как правило, осуществляется в соответствии с СН 181–70 [1], в которых приведены рекомендации по выбору цветовой гаммы для окраски интерьеров, соответствующей технологическому процессу и характеру труда.

Нормы [1] распространяются на проектирование цветовой отделки производственных помещений и окраски оборудования вновь строящихся и реконструируемых промышленных предприятий, а также содержат информацию о цветовой отделке помещений и окраске оборудования, функциональной окраске, последовательности разработки проекта отделки интерьера, а также описание ассоциаций, возникающих при восприятии основных оттенков.

В целом при выборе цветового оформления производственных помещений промышленных предприятий следует учитывать следующие факторы ([1], п. 2.11):

- общий характер работ;
- степень точности работ;
- климатические и географические особенности района, характер и интенсивность освещения, в том числе спектральный состав света, обусловленный типом источника или ориентацией помещения по сторонам света;
- санитарно-гигиенические условия в помещении;
- особенности объемно-пространственной структуры интерьера (абсолютные размеры и пропорции помещений, планировочное решение, степень насыщенности оборудованием и коммуникациями, характер конструктивного решения и др.);
- требования техники безопасности, т. е. сигнально-предупреждающая и опознавательная окраска, знаки безопасности;
- наличие поверхностей, не подлежащих отделке и окраске, цвет которых выбирается исключительно по правилам применения функциональной окраски.

При одновременном действии нескольких факторов, определяющих противоречивые требования, предпочтение следует отдавать имеющему наибольшее значение в данных условиях.

Сигнально-предупреждающую окраску элементов строительных конструкций, способных стать причиной аварий и несчастных случаев, опасных элементов производственного оборудования и

внутрицехового транспорта, устройств и средств пожаротушения, а также цветное решение производственных знаков безопасности необходимо выполнять в соответствии с требованиями ГОСТ 15548–70 [2].

Опознавательная окраска трубопроводов в производственных помещениях регламентируется требованиями ГОСТ 14202–69 [3].

Несущие металлические конструкции промышленных зданий и сооружений в подавляющем большинстве случаев выполнены из стальных профилей: тавров, двутавров, сварных вариантов. Для повышения пределов огнестойкости их необходимо защищать применением соответствующих строительных материалов, а также средств огнезащиты (ст. 58 [4]). В настоящее время в 80 % случаев используются тонкослойные огнезащитные покрытия, имеющие белый ненормируемый цвет краски и белый ненормируемый оттенок образуемого покрытия. К ним, как правило, предъявляется меньше требований по декоративности: допускаются неровности, шероховатости, не учитывается блеск или матовость и т. д. Тем не менее конструкции с выполненной огнезащитой также окрашивают, преследуя различные цели: обеспечение сигнально-предупреждающей и опознавательной функций; увеличение срока эксплуатации огнезащитного покрытия; придание специальных свойств, кроме огнезащитных, за счет финишного покрытия; снижение количества загрязнений на белой поверхности.

Существует всего два метода изменения цвета поверхности огнезащитного покрытия — колеровка краски непосредственно перед образованием покрытия и нанесение финишного покрытия определенного цвета на готовое огнезащитное покрытие.

В аккредитованной лаборатории ООО “Научный инновационный центр строительства и пожарной безопасности” (область аккредитации — разработка огнезащитных составов и покрытий) проведена серия исследований по определению влияния колеровочных паст на коэффициент кратности вспучивания огнезащитных покрытий. В эксперименте использовались составы известных фирм — производителей огнезащитной продукции как на водной основе, так и на растворителях. В качестве колеровочной пасты была выбрана универсальная паста “Униколер” (производитель — АОЗТ “Олки”, г. Санкт-Петербург), предназначенная для тонирования готовых белых строительных красок, водоразбавляемых красок и грунтов, алкидных (глифталевых и пентафталевых) красок, лаков, эмалей.

Поскольку в огнезащитных покрытиях наличие укрывающего пигмента (практически всегда это диоксид титана) составляет от 5 до 10 % масс. ч. на 100 % рецептурного состава, а огнезащитные крас-

ки являются высоконаполненными суспензиями, потребовалось введение колеровочной пасты насыщенных тонов в количестве 10–50 % к объему базовой рецептуры, что составляет очень высокий процент по сравнению с колерованием, например, белых фасадных красок (не более 10 %).

Коэффициент вспучивания огнезащитных покрытий $K_{всп}$ определяли в процессе вспучивания покрытия в муфельной печи, нанесенного толщиной 1 мм на металлическую пластину согласно ГОСТ Р 12.3.047–98 [5], как отношение толщины вспученного слоя h к исходной толщине покрытия h_0 : $K_{всп} = h/h_0$. Согласно [5] образец выдерживали при температуре 600 °С в течение 5 мин: в таком режиме пенококсы вспучивающихся покрытий начинают выгорать и значение $K_{всп}$ снижается. Более информативным для сравнения $K_{всп}$ различных покрытий является режим выдержки при 500 °С в течение 3 мин, поскольку при данной температуре и временном интервале коэффициент вспучивания будет максимальным, причем это справедливо для всех покрытий, независимо от типа пленкообразователя, растворителя и соотношения компонентов интумесцентной системы [6].

Как показали многочисленные исследования, колеровочные пасты, вводимые в количестве более 5 %, создают хаотичное изменение кратности вспучивания огнезащитных покрытий (рис. 1). По этой причине нельзя утверждать, что заявленные огнезащитные свойства для базового покрытия белого цвета, на котором были проведены стандартные испытания для сертификации продукции, сохраняются и для покрытия, в котором содержится колеровочная паста. Другими словами, если производитель огнезащитной краски обещает заколеровать ее в любой цвет, то это значит, что потребителя не просто вво-

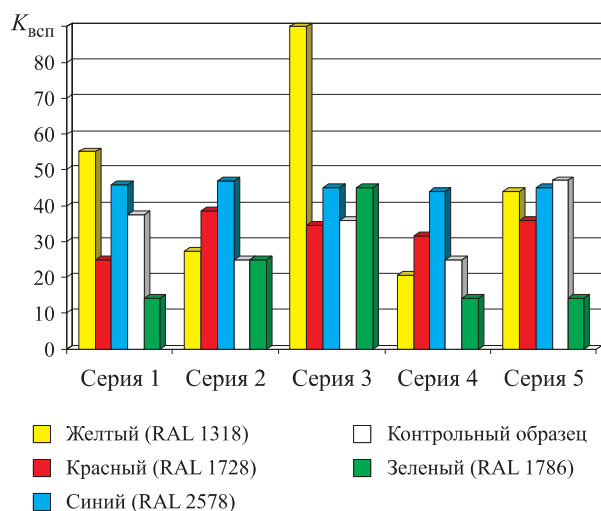


Рис. 1. Зависимость коэффициента вспучивания различных огнезащитных покрытий от цвета заколерованного покрытия (количества и типа колеровочной пасты)

дят в заблуждение, а уже заранее продают ему некачественную продукцию, не отвечающую предъявляемым документам (сертификатам соответствия, паспорту качества и т. д.).

В настоящее время на сайтах крупных производителей огнезащитных красок принято заявлять, что при необходимости получения другого цвета возможно добавление колеровочных паст, но не более 2–3 % (“Protect F”, “Терма®”, “Терма М”, “Аквест-01”, “Nullifire S 706”, “Неохим” и др.). В нормативной документации на данные продукты четко указывается, что возможны только пастельные тона согласно колеровочным системам “Палитра Москвы”, Monicolor, NCS, RAL и др. Однако встречаются производители, которые заявляют, что “возможно все”. Особенно это относится к компаниям, которым важно представить на рынке свои продукты, преимущества которых выгодно отличали бы их от продукции других производителей. Безусловно, важным фактором выступает цена заколерованной огнезащитной краски, которая при первом рассмотрении гораздо ниже, чем у системы покрытий с использованием финишного слоя. При этом нужно учитывать, что, поскольку колеровочная паста для насыщенных цветов используется в количестве от 10 % и более, риск “не попасть в цвет” в данном случае гораздо выше, а общая надежность системы покрытий ниже, чем при использовании заколерованных в промышленных условиях финишных покрытий. К тому же, как отмечалось ранее, огнезащитные свойства такой системы вообще остаются под сомнением.

Были проведены исследования по изменению коэффициента вспучивания покрытий различных производителей в зависимости от типа пленкообразователя финишного слоя (рис. 2). В каждой серии были представлены образцы покрытий определенного производителя. Результаты исследований также показали разброс значений $K_{всп}$ и отсутствие четкой закономерности: коэффициент вспучивания мог как увеличиваться (серия 3), так и уменьшаться (серии 1, 5), причем со значительными отклонениями для разных покрытий. Данный факт объясняется тем, что и собственно огнезащитные покрытия отличаются видом пленкообразователя, и в ряде систем будет отсутствовать совместимость, т. е. будут происходить побочные химические реакции взаимодействия (виды пленкообразователей используемых покрытий при проведении эксперимента были неизвестны, поскольку информация о них составляет коммерческую тайну производителей огнезащитных красок).

Очевидно, что при применении финишного покрытия для огнезащитной краски необходимо убедиться в их совместимости и исследовать коэффи-

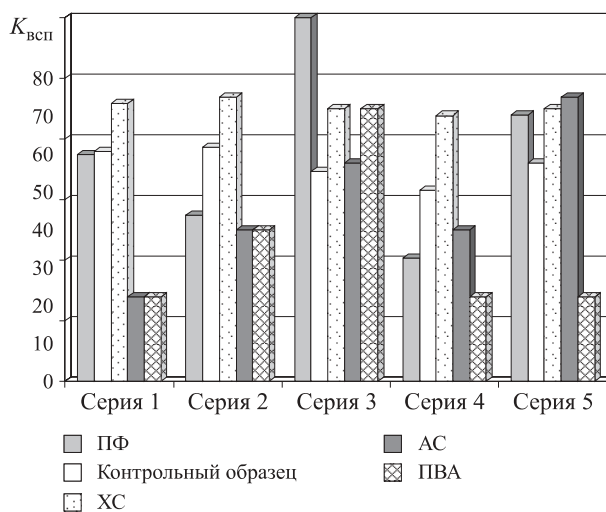


Рис. 2. Показатель коэффициента вспучивания различных огнезащитных покрытий в зависимости от типа финишного слоя: ПФ — пентафталевая эмаль; КС — эмаль на основе сополимера винилхлорида с винилацетатом и эпоксидной смолой; АС — акрилстирольная смола; ПВА — поливинилацетатная дисперсия

циент кратности вспучивания, а в конечном счете — огнезащитную эффективность полученной системы окраски.

Данное положение отображено в ст. 136 “Технического регламента о требованиях пожарной безопасности” (Федеральный закон № 123-ФЗ) [4], которая разрешает “средства огнезащиты применять из материалов с дополнительными покрытиями, обеспечивающими придание декоративного вида огнезащитному слою или его устойчивость к неблагоприятному климатическому воздействию. В этом случае огнезащитная эффективность должна указываться с учетом этого слоя”, т. е. в документах о подтверждении соответствия (сертификате о соответствии требованиям [4]) должно быть подтверждено, что огнезащитная эффективность покрытия испытывалась совместно с финишным слоем.

В итоге, для строительных конструкций промышленных зданий и сооружений практически всегда целесообразно применять огнезащитные покрытия для повышения пределов огнестойкости данных конструкций с использованием именно заколерованного финишного покрытия, а не огнезащитного. Финишное покрытие может также выполнять специальные функции: быть атмосферостойким, радиационностойким и т. д. Кроме того, использование заколерованных финишных покрытий позволяет достигать практически всех оттенков с точным попаданием в цвет. В таком случае конструкции не только будут защищены от пожара, но и будет реализовано любое цветовое дизайнерское решение.

К недостаткам перекрытия огнезащитного слоя финишным слоем следует отнести тот факт, что ог-



Рис. 3. Пентафталевая эмаль на огнезащитном покрытии “Терма®” (сертифицированная система): *а* — ЗАО “Ижорский трубный завод”, площадь огнезащиты более 30 тыс. м²; *б* — ОАО “Челябинский трубопрокатный завод”, площадь огнезащиты более 50 тыс. м²

незащитные краски обладают пористой и шероховатой поверхностью, образованной за счет большого количества наполнителей. Расход финишной краски в такой системе может увеличиться на 30–40 % по сравнению с показателями только по огрунтованной (без огнезащиты) металлической поверхности.

Таким образом, при реализации цветового решения для строительных конструкций промышленных предприятий, на которые нанесен слой огнезащитного покрытия, целесообразно выполнять следующие рекомендации:

- колеровать огнезащитную краску можно, если дизайнерским решением предусмотрена цветовая гамма пастельных тонов, которые обычно применяют в административных корпусах промышленных предприятий;
- специальное, заколерованное в требуемый цвет финишное покрытие может быть любого, даже сильно насыщенного цвета (оттенки красного, синего, желтого, черного); в этом случае вся система покрытия будет обладать необходимыми специальными свойствами, в том числе при условиях эксплуатации в промышленной атмосфере (сернистого, углекислого газов и др.);
- целесообразно проводить испытания на совместимость образцов нескольких покрытий-аналогов в специализированной лаборатории с выдачей соответствующего заключения, в том числе в полевых условиях (на территории строительного объекта);
- в проекте по выполнению огнезащитных работ необходимо выбирать систему покрытий, на которую имеется сертификат соответствия как на систему, состоящую из грунта, огнезащитного покрытия и финишного слоя (рис. 3). К сожалению, это требование редко выполняется на практике, поскольку считается, что если покрытия совместимы на визуальном уровне, то и огнезащитная эффективность такой системы также не меняется. Поэтому при выборе из нескольких сертифицированных систем окраски преимущество должно отдаваться той системе, для которой проводились исследования на старение по ускоренным методам испытаний с указанием прогнозируемых сроков эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СН 181–70. Указания по проектированию цветовой отделки интерьеров производственных зданий промышленных предприятий : утв. ГКНТ СССР, Госстроем СССР 21.07.70 г.; введ. 01.10.1970 г. — М. : Стройиздат, 1972. — 80 с.
2. ГОСТ Р 12.4.026–2001. ССБТ. Цвета сигнальные, знаки безопасности и разметка сигнальная. Назначение и правила применения. Общие технические требования и характеристики. Методы испытаний. — Введ. 01.01.2003 г. — М. : ИПК Изд-во стандартов, 2001. — 72 с.
3. ГОСТ 14202–69. Трубопроводы промышленных предприятий. Опознавательная окраска, предупреждающие знаки и маркировочные щитки. — Введ. 01.01.1997 г. — М. : ИПК Изд-во стандартов, 2001. — 16 с.
4. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности (в ред. Федер. закона № 117-ФЗ от 10.07.2012 г.) : Федер. закон от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ; принят Гос. Думой 04.07.2008 г.; одобрен Сов. Федерации 11.07.2008 г. // Российская газета. — 2008. — № 163. URL : <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=132449> (дата обращения: 05.06.2013 г.).

5. ГОСТ Р 12.3.047–98. ССБТ. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля. — Введ. 01.01.2000 г. — М. : ИПК Изд-во стандартов, 1998. — 86 с.
6. *Гравит М. В.* Исследование влияния различных факторов на коэффициент вспучивания органорастворимых огнезащитных покрытий // *Лакокрасочные материалы и их применение*. — 2013. — № 6. — С. 12–16.

Материал поступил в редакцию 24 июня 2013 г.

English

COLOUR DESIGN FOR FIRE PROTECTION OF BUILDING CONSTRUCTIONS WITH INTUMESCENT COATINGS

GRAVIT M. V., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department Management and Protection in Emergencies, St. Petersburg State Polytechnical University (Polytekhnicheskaya St., 29, St. Petersburg, 195251, Russia Federation; e-mail address: marina.gravit@mail.ru)

ABSTRACT

For the rational decision of colors on the different building objects is recommended to use optimal colors to create the best climate at industrial enterprises. For this purpose developed the appropriate building codes. Building constructions in the industrial enterprises, which are applied fire-retardant paint, also painted in the appropriate color colorants of the method stainer, or applying the finishing coat that color. It is shown that the introduction of strainers in the fire-retardant paint as overcoating the fire-retardant paint topcoat leads to chaotic effect on height of foam of the intumescent coatings. The conclusions about invalidity coloring the fire-retardant paints in rich tones used stainers without preliminary testing on the fire retardant efficiency. Similar conclusions apply to the paint system for an intumescent fire protective coatings using surface finishes.

Keywords: intumescent coatings; colour; stainer; basic recipe; topcoat; coating compatibility; height of foam; fire retardant efficiency.

REFERENCES

1. Building code 181–70. Guidelines for the design color interior trim manufacturing industrial buildings color finishing and coating equipment. Moscow, Stroyizdat Publ., 1972. 80 p. (in Russian).
2. National standard of the Russian Federation 12.4.026–2001. Occupational safety standards system. Safety colors, safety signs and signal marking. Purpose and rules of application. General technical requirements and characteristics. Methods of tests. Moscow, Standartinform Publ., 2001. 72 p. (in Russian).
3. Interstate standard 14202–69. Pipe-lines of industrial plants. Identification coloring, safety signs and marking screens. Moscow, IPK Izdatelstvo standartov, 2001. 16 p. (in Russian).
4. Technical regulations for fire safety requirements (in the red. Federal Law of 10.07.2012 No. 117). *Rossiyskaya gazeta — Russian Newspaper*, 2008, no. 163. Available at: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=132449> (Accessed 5 June 2013) (in Russian).
5. National standard of the Russian Federation 12.3.047–98. Occupational safety standards system. Fire safety of technological processes. General requirements. Methods of control. Moscow, Standartinform Publ., 1998, 84 p. (in Russian).
6. Gravit M. V. Issledovaniye vliyaniya razlichnykh faktorov na koeffitsient vspuchivaniya organorastvorimykh ognenezashchitnykh pokrytiy [Investigation of the influence of various factors on the height of foam organic-retardant coatings]. *Lakokrasochnyye materialy i ikh primeneniye — Russian Coating Journal*, 2013, no. 6, pp. 12–16.



www.ognebioz.ru

Издательство «ПОЖНАУКА»

объявляет об открытии проекта

Средства огне- и биозащиты

Официальная статистика утверждает: ежегодно в России происходит 240—260 тыс. пожаров, в результате которых уничтожается до 70 тыс. строений, погибает до 20 тыс. человек.

Ущерб от пожара не ограничивается стоимостью выгоревших материалов. Воздействию огня и высокой температуры подвергаются также строительные конструкции, из которых выполнено здание. Температура внутри горящих сооружений достигает 1100—1200 °С. При такой температуре горят конструкции из дерева и пластмасс, теряют прочность металлические конструкции, разрушаются конструкции из монолитного или сборного железобетона. При обрушении несущих конструкций ущерб от пожара достигает максимальных размеров.

В связи с этим возникает закономерный вопрос, как свести потери к минимуму, а лучше — предупредить развитие пожара.

Одним из эффективных способов сокращения ущерба от пожара является огнезащита строительных конструкций, обеспечивающая снижение пожарной опасности и повышение огнестойкости конструкций из горючих и негорючих материалов.

Однако при выборе огнезащитных средств возникает проблема: как разобраться во всем многообразии продукции, представленной на рынке? Конечно же каждый производитель имеет свой сайт, выпускает каталоги, где подробно описывает свойства и особенности применения каждого состава и средства. Но что делать, если нужно сравнить несколько позиций разных производителей?

Сайт www.ognebioz.ru представляет собой электронный справочник, аккумулирующий огромный объем информации о средствах огне- и биозащиты, производителях, поставщиках сырья и оборудования, нормативных документах и многом другом. Сайт является электронной версией не раз издававшегося справочника “Средства огне- и биозащиты”.

Наш сайт предназначен для тех, кто хочет защитить свое имущество, знать нормативные требования к средствам огне- и биозащиты и получить советы квалифицированных специалистов по их выбору.

**Приглашаем всех, кого заинтересует наш сайт,
к долгосрочному и успешному сотрудничеству!**

Скажи пламени “Стоп!”

По вопросам размещения информации
обращаться по телефону: +7 (495) 228-09-03
mail@firepress.ru

www.ognebioz.ru

[О проекте](#)

[Средства ОБЗ](#)

[Производители](#)

[Средства
для нанесения](#)

[Контакты](#)

Информационный портал **Средства огне- и биозащиты**

Все об огне- и биозащите
древесины, металла,
тканей и кабельных изделий



*Капля сегодня —
уверенность завтра*

- Подробное описание каждого состава и его особенностей
- Координаты производителей
- Координаты поставщиков сырья и оборудования
- Нормативные требования

ognebioz.ru

Тел.: (495) 228-09-03



В. М. КОМЯК, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры физико-математических дисциплин, Национальный университет гражданской защиты Украины Государственной службы Украины по чрезвычайным ситуациям (Украина, 61023, г. Харьков, ул. Чернышевская, 94)

А. Н. СОБОЛЬ, д-р техн. наук, старший научный сотрудник, начальник кафедры управления и организации деятельности в сфере гражданской защиты, Национальный университет гражданской защиты Украины Государственной службы Украины по чрезвычайным ситуациям (Украина, 61023, г. Харьков, ул. Чернышевская, 94; e-mail: alexander_sobol@i.ua)

В. В. КОМЯК, адъюнкт, Национальный университет гражданской защиты Украины Государственной службы Украины по чрезвычайным ситуациям (Украина, 61023, г. Харьков, ул. Чернышевская, 94)

УДК 614.8

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ ОБЪЕКТОВ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА

Приведены результаты исследования проблемно ориентированных моделей и результаты компьютерного моделирования следующих важных практических задач: размещения пожарных депо в крупных городах; размещения пожарных депо в сельской местности; размещения пожарных гидрантов; взаимодействия подразделений военизированной охраны на железной дороге и пожарно-спасательных подразделений; рациональной компоновки оборудования техники быстрого реагирования; пожарной защиты высотных зданий. Созданы комплексы компьютерного моделирования для решения вышеуказанных задач, которые могут использоваться в качестве оптимизационного ядра в системах автоматизации проектирования противопожарной защиты целого ряда объектов народного хозяйства.

Ключевые слова: противопожарная защита объектов народного хозяйства; оптимизационное геометрическое проектирование; проблемно ориентированные модели.

Постановка проблемы

Экономическое и социальное развитие городов, населенных пунктов сельской местности, объектов народного хозяйства невозможно без наличия надежных, эффективных и экономически целесообразных систем их противопожарной защиты (ППЗ).

Математическое и компьютерное моделирование занимает все более важное место в решении прикладных задач ППЗ. Под руководством профессора Н. Н. Брушлинского были созданы компьютерные имитационные системы для проведения экспертизы текущей деятельности существующей пожарной службы городов и разработки проектов их реорганизации. Интерес представляет также поиск путей повышения эффективности пожарной службы при территориальном изменении объекта защиты, что особенно важно при проектировании новых районов городов и необходимости обоснования размеров их пожарной службы.

Математической моделью множества практических задач ППЗ является задача оптимизационного геометрического проектирования [1]. К этому классу задач относятся задачи оптимального раскроя материалов, задачи построения оптимальных путей и

связывающих сетей, покрытия, разбиения, некоторые задачи теории расписаний и пр. [1, 2].

Анализ публикаций

Классическим примером задачи размещения является задача раскроя, при решении которой длина занятой части области должна быть минимальной (а коэффициент заполнения — максимальным) (рис. 1).

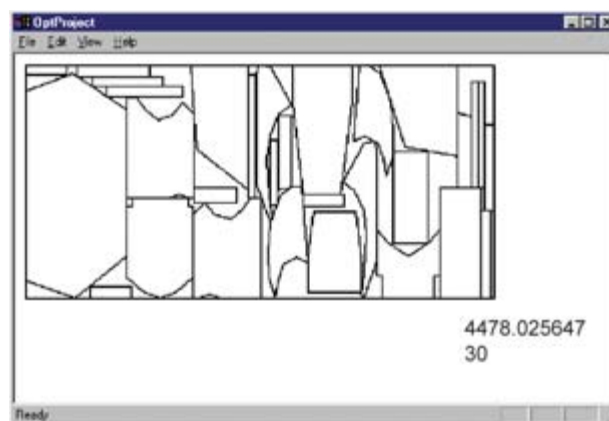


Рис. 1. Пример решения задачи раскроя

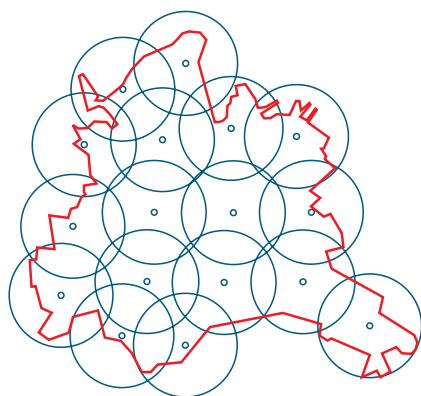


Рис. 2. Результат решения задачи покрытия г. Харькова кругами радиусом 3 км

Основные ограничения задачи — это условия непересечения объектов и их размещения в области.

Вторым важным классом задач геометрического проектирования являются задачи покрытия области геометрическими объектами [3]. В задачах покрытия выдвигается требование, чтобы все точки области были покрыты геометрическими объектами; при этом условия непересечения объектов между собой и их размещения в области могут нарушаться (рис. 2).

В качестве третьего класса задач геометрического проектирования рассмотрим задачи разбиения. Дискретная задача разбиения рассмотрена в работе [4]. В задаче разбиения области на подобласти основными требованиями выступают, как и в задаче размещения, условия непересечения объектов между собой и их размещения в области, но при дополнительном требовании равенства коэффициента заполнения области единице. Результат решения задачи разбиения на примере разбиения посевных площадей пожароопасных культур на участки нормированной площади представлен на рис. 3.

Задачи построения оптимальных путей и связывающих сетей в многосвязных областях представлены в [5] и могут быть рассмотрены в виде четвертого класса задач геометрического проектирования.

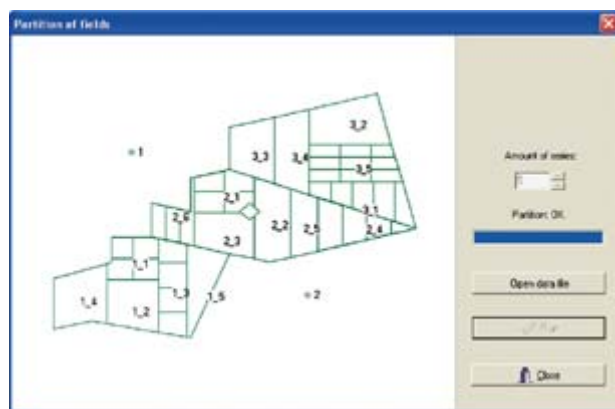


Рис. 3. Разбиение посевных площадей

Цель статьи

Для успешного решения как научных, так и практических задач, возникающих при обеспечении противопожарной безопасности объектов различного назначения отраслей народного хозяйства, необходимы не только общие принципы моделирования размещения объектов, покрытия, разбиения областей, но и разработка, а также исследование проблемно ориентированных моделей, методов, алгоритмов и программного обеспечения для их решения. Разработка проблемно ориентированных моделей для объектов различного назначения приводит к тому, что учет дополнительных технологических ограничений вносит в основную модель новые особенности и, как следствие, необходимость разработки новых методов решения или модификации существующих.

В настоящее время решены следующие задачи.

Задача размещения пожарных депо в крупных городах [6]

Данная задача формулируется следующим образом. В рамках выделяемых ресурсов необходимо определить минимальное нормированное количество пожарных депо для защиты проектируемого района города (всего города) и такие параметры их размещения, которые позволят сократить время прибытия оперативных отделений к возможным очагам пожара.

В работе [6] осуществлена декомпозиция рассматриваемой задачи, в результате чего выделены два основных этапа ее решения.

На первом этапе решения определяется минимальное количество пожарных депо, которые своими нормированными круговыми зонами защиты вместе с зонами защиты существующих пожарных депо полностью покрывают город (см. рис. 2).

На втором этапе решается задача рационального размещения пожарных депо для каждой круговой зоны защиты на стадии проектирования района застройки, когда в основном уже определены архитектурные и планировочные решения. Задача сводится к размещению прямоугольного геометрического объекта постоянных размеров с учетом нормированных максимальных и минимальных расстояний между пожарным депо и зданиями.

В работе [4] решена задача размещения пожарных депо как задача нерегулярного разбиения произвольной области геометрическими объектами, метрические характеристики которых определяются по диаметру объектов, вычисленному исходя из нормированного времени прибытия на пожар (рис. 4).

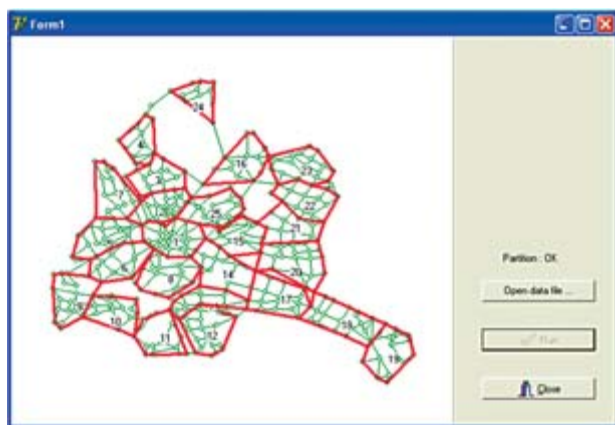


Рис. 4. Разбиение территории г. Харькова на районы защиты

Задача размещения пожарных депо в сельской местности [7]

Административные районы сельской местности имеют ряд особенностей, которые делают неприменимыми перечисленные выше подходы [6]: 1) населенные пункты по территории района размещены, как правило, неравномерно; 2) численность жителей отдельных сельских населенных пунктов существенно различается; 3) районные центры, где, как правило, размещаются пожарные депо, не всегда находятся в географическом центре административного района; 4) существующая сеть дорог развита в направлении соединения населенных пунктов с районным центром, в то время как дороги, соединяющие отдельные населенные пункты, развиты недостаточно.

Возникает следующая задача. Необходимо, исходя из экономической целесообразности, определить параметры пожарной защиты района (количе-



Рис. 5. Оптимальное размещение пяти пожарных депо на множестве из 62 населенных пунктов Кюрдямирского района Республики Азербайджан с выделением областей защиты

ство пожарных депо и параметры их размещения в населенных пунктах района), при которых время прибытия пожарных сил к возможному очагу пожара будет минимальным. При решении задачи необходимо учесть ряд ограничений: по неоднородности плотности населения; плотности застройки; наличию объектов повышенной пожарной опасности; качеству сети дорог, связывающих населенные пункты административного района; условиям размещения пожарных депо в области, занимаемой населенным пунктом. Пример решения задачи приведен на рис. 5.

Задача размещения пожарных гидрантов [8]

Успех в организации и тушении пожаров на промышленных предприятиях, в общественных, жилых зданиях и сооружениях в значительной мере зависит от подготовки городов и населенных пунктов к тушению пожаров. Одним из основных элементов пожаротушения является наличие достаточного количества воды, которое обеспечивается отбором воды из искусственных и естественных источников водоснабжения.

Противопожарное водоснабжение в городах и населенных пунктах обеспечивается сетью водопровода с установлением на ней пожарных гидрантов (ПГ) для забора воды пожарными машинами.

Рассмотрим район города, каждое здание которого должно быть защищено пожарными гидрантами, являющимися источниками для подачи воды по рукавным линиям ограниченной длины.

Возникает задача нахождения минимального количества ПГ, размещенных на сети водопровода так, чтобы сеть, состоящая из ребер, исходящих из ПГ и огибающих каждое из зданий района, удовлетворяла дополнительному условию — не превышения максимально допустимого расстояния по сети от любой граничной точки здания до ближайшего гидранта. Другими словами, необходимо в многосвязной области построить сеть с минимальным количеством вершин на некоторой ломаной и ограничениями на длину ее ребер.

Задача решалась на примере размещения ПГ для защиты зданий Орджоникидзевского района г. Харькова [8].

Задача взаимодействия подразделений военизированной охраны на железной дороге и пожарно-спасательных подразделений [9]

Актуальность данной задачи подтверждается тем, что особо опасными являются чрезвычайные ситуации на железной дороге, которые сопровождаются пожарами (взрывами) цистерн с легковоспламеняющимися и горючими жидкостями, сжиженными газами, а также проливом (выбросом) горючих жид-

костей и сильнодействующих ядовитых веществ. Следует отметить, что основной ущерб в данных случаях связан с временем реагирования оперативных подразделений на чрезвычайные ситуации, которые возникают на объектах железнодорожного транспорта.

В связи с этим рассмотрим следующую задачу. Требуется определить минимальное количество подразделений военизированной охраны на железной дороге и пожарно-спасательных подразделений, которые смогли бы обеспечить надлежащее реагирование на чрезвычайные ситуации, связанные с объектами железной дороги. При этом необходимо, чтобы защищаемые участки железной дороги были полностью покрыты районами функционирования оперативных подразделений, площадь пересечения этих районов была минимальной, были учтены существующие районы обслуживания, сеть дорог, рельеф местности, численность населения в соответствующих населенных пунктах, а также области запрета на размещение оперативных подразделений и чтобы время прибытия данных подразделений не превышало заданное.

Данная задача была сведена к классу задач оптимального покрытия заданных областей геометрическими объектами с переменными метрическими характеристиками, поскольку форма и размеры районов функционирования оперативных подразделений определяются исходя из допустимых мест размещения и существующей сети дорог.

Рациональная компоновка оборудования техники быстрого реагирования [10]

Решена задача, которая возникает при проектировании кузовов специальных автомобилей служб быстрого реагирования на чрезвычайные ситуации. Основной особенностью проектирования автомобилей такого типа является то, что спасательно-техническое вооружение (СТВ) в кузове минимальных размеров должно быть размещено по функциональным отсекам таким образом, чтобы время боевого развертывания спасательными подразделениями с использованием доставленного оборудования было минимальным. При этом необходимо учесть многочисленные ограничения: технологические (на размеры отсеков и способы их размещения в кузове автомобиля); эксплуатационные (на размещение оборудования по функциональным отсекам, а часто используемого оборудования — в легкодоступных местах кузова; на допустимое отклонение центра масс оборудования от центра масс автомобиля); эргонометрические (на размещение СТВ в кузове автомобиля, сокращающее неоправданные перемещения и пересечения личного состава).

На рис. 6 представлены результаты решения задачи компоновки оборудования (аппроксимируется

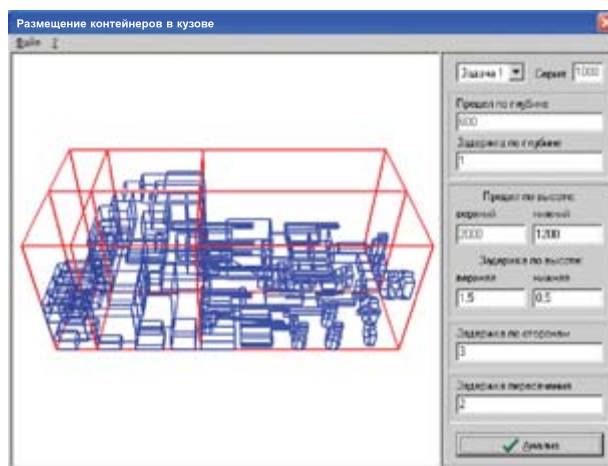


Рис. 6. Решение задачи компоновки оборудования

невыпуклыми многогранниками). При условии, что количество контейнеров с обеих сторон кузова одинаковое и длины у них попарно одинаковые.

Пожарная защита высотных зданий

Данная задача вызывает научный и практический интерес. При проектировании зданий предусматриваются специальные противопожарные решения, которые создают необходимые условия для успешной реализации процесса эвакуации. Поскольку пути эвакуации пронизывают все здание, а их площадь составляет значительную часть его общей площади, то их структура и размеры оказывают значительное влияние на экономические, технические и противопожарные показатели проектных решений. Однако проектные решения можно считать неэффективными, если решения по обеспечению безопасности людей будут приводить к неэффективному использованию объемов здания (или, другими словами, площадей целенаправленного назначения). Поэтому возникает задача о рациональном разбиении проектируемых зданий на области двух видов: первые учитывают эффективность использования целенаправленной площади от решения задачи разбиения, вторые — от решения задачи трассировки.

При проектировании высотных зданий определяющим при эвакуации становится время движения по лестничным клеткам, характерной чертой которых является максимальная плотность потоков в местах их слияния на уровне выходов из этажей. В связи с этим представляет интерес обоснование таких размеров лестничных клеток и их количества, которые бы позволяли осуществить беспрепятственное движение потоков людей [11] за допустимое время.

Когда пути к лестничным клеткам перекрыты, может возникнуть ситуация аварийной эвакуации людей посредством их спуска с помощью стационарных спасательных средств индивидуального или коллективного использования на противопожар-

ные карнизы, расположенные по периметру здания на границе каждого из противопожарных отсеков и разбивающие здание по высоте на противопожарные зоны.

Рассмотрим задачу, постановка которой сводится к следующему. Необходимо определить структуру путей эвакуационного (минимальное количество лестниц, коридоры на этажах, обеспечивающие доступ ко всем помещениям и лифтам, метрические характеристики путей движения) и аварийного (количество и типы спасательных средств, места их размещения) движения потоков людей, при которой максимальное время как полной, так и аварийной эвакуации из любого этажа неравномерно расположенных в здании людей не будет превышать допустимое время, а также осуществить разбиение здания на противопожарные отсеки для аварийной

эвакуации, а этажи — на помещения разного функционального назначения таким образом, чтобы полезно используемая площадь была максимальной.

Работа [12] посвящена разработке и исследованию математической модели оптимизационной задачи разбиения здания на подобласти с одновременной трассировкой в R^3 . В работе [13] предложен подход к решению рассматриваемой задачи.

Выводы

В работе приведены примеры решения практических задач обеспечения противопожарной защиты объектов народного хозяйства различного назначения. Разработанные комплексы компьютерного моделирования могут использоваться в качестве оптимизационного ядра в системах автоматизации проектирования ППЗ объектов народного хозяйства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стоян Ю. Г. Основная задача геометрического проектирования. — Харьков : Ин-т проблем машиностроения АН УССР, 1983. — 36 с.
2. Яковлев С. В., Гиль Н. И., Комяк В. М. и др. Элементы теории геометрического проектирования / Под ред. В. Л. Рвачева. — К. : Наукова думка, 1995. — 241 с.
3. Стоян Ю. Г., Яковлев С. В. Математические модели и оптимизационные методы геометрического проектирования. — К. : Наукова думка, 1986. — 265 с.
4. Садковий В. П., Комяк В. М., Соболев О. М. Рациональне розбиття множин при територіальному плануванні в сфері цивільного захисту : монографія. — Харків : Ліхтар, 2008. — 173 с.
5. Смяляков С. В., Стоян Ю. Г. Моделирование пространства путей в задачах построения оптимальных траекторий // Журнал вычисл. матем. и матем. физики. — 1983. — № 1. — С. 73–82.
6. Коссе А. Г. Метод раціонального розміщення пожежних депо при проектуванні та оновленні районів міста : автореф. дис. ... канд. техн. наук. : 21.06.02 “Пожежна безпека”. — Харків, 2002. — 19 с.
7. Кязимов К. Т. Геометричне моделювання розміщення пожежних підрозділів в сільській місцевості на прикладі Азербайджану : автореф. дис. ... канд. техн. наук. : 05.01.01 “Прикладна геометрія, інженерна графіка”. — К., 2010. — 24 с.
8. Комяк В. М., Романов Р. В., Панкратов А. В. Модель и метод определения допустимых параметров размещения пожарных гидрантов в районе города // Геометричне та комп'ютерне моделювання. — Харків : ХДУХТ, 2009. — Вип. 25. — С. 27–32.
9. Комяк В. М., Соболев О. М., Коссе А. Г., Собина В. О. Особливості методу визначення раціональної кількості та місць розташування оперативних підрозділів для захисту об'єктів залізниці // Проблеми надзвичайних ситуацій : зб. наук. пр. НУЦЗ України. — Харків : НУЦЗУ, 2010. — Вип. 11. — С. 74–79.
10. Комяк В. М., Калашиников А. А. Математическое моделирование компоновки оборудования специальных автомобилей быстрого реагирования // Вестник Херсонского государственного университета. — Вып. 3(19). — Херсон : ХГТУ, 2003. — С. 169–172.
11. Холщевников В. В. Исследование людских потоков и методология нормирования эвакуации людей из зданий при пожаре. — М. : МИПБ МВД России, 1999. — 92 с.
12. Комяк В. М., Путятин В. П., Комяк В. В. Об одной задаче разбиения области на подобласти // Вестник Херсонского национального технического университета. — № 45. — Херсон : ХНТУ, 2012. — С. 171–175.
13. Комяк В. В., Соболев А. Н., Коссе А. Г. Подход к определению рациональных путей (планов) эвакуации для высотных зданий // Проблеми пожежної безпеки : зб. научн. тр. — Харьков : АО “Фолио”, 2012. — Вип. 32. — С. 107–112.

Матеріал надійшов у редакцію 25 квітня 2013 г.

MATHEMATICAL AND COMPUTER MODELING FIRE PROTECTION OF NATIONAL ECONOMY OBJECTS

KOMYAK V. M., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Physics and Mathematics Subjects Department, National University of Civil Defense of Ukraine, State Service of Ukraine of Emergencies (Chernyshevskaya St., 94, Kharkov, 61023, Ukraine)

SOBOL A. N., Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, Head of Management and Organization Activities in Field Civil Defense Department, National University of Civil Defense of Ukraine, State Service of Ukraine of Emergencies (Chernyshevskaya St., 94, Kharkov, 61023, Ukraine; e-mail address: alexander_sobol@i.ua)

KOMYAK V. V., Graduate Student, National University of Civil Defense of Ukraine, State Service of Ukraine of Emergencies (Chernyshevskaya St., 94, Kharkov, 61023, Ukraine)

ABSTRACT

In the paper some examples of applied problems fire protection of national economy objects, which reduced in their statements to the class optimal geometric design, are considered. This class includes optimal placement, covering and cutting set of objects, the construction of optimal routes and connecting networks, some scheduling problems, etc. The basic restrictions of the optimal geometric design problems are analyzed. Also results of investigation problem-oriented models in the following tasks are given for:

- placement of fire stations in cities;
- placement of fire stations in countryside;
- placement of fire hydrants;
- interaction of paramilitary units on the railway and fire-rescue units;
- rational arrangement of equipment on the rapid response technique;
- fire protection of high-rise buildings.

These tasks are related to the different classes of geometric design problems. Also problems required additional restrictions taken into account, and development of new modeling methods. Created computer modeling complexes for solving specified problems would use as a part of automation design systems for fire protection of national economy objects.

Keywords: fire protection of national economy objects; optimal geometric design; problem-oriented models.

REFERENCES

1. Stoyan Yu. G. *Osnovnaya zadacha geometricheskogo proektirovaniya* [The main problem of geometric design]. Kharkov, Institute for Mechanical Engineering Problems Publ., 1983. 36 p.
2. Yakovlev S. V., Gil N. I., Komyak V. M., et al. Ed. V. L. Rvachov. *Elementy teorii geometricheskogo proektirovaniya* [Elements of the theory of geometric design]. Kiev, Naukova Dumka Publ., 1995. 241 p.
3. Stoyan Yu. G., Yakovlev S. V. *Matematicheskiye modeli i optimizatsionnyye metody geometricheskogo proektirovaniya* [Mathematical models and optimization methods of geometric design]. Kiev, Naukova Dumka Publ., 1986. 265 p.
4. Sadkoviy V. P., Komyak V. M., Sobol O. M. *Ratsionalne rozbyttya mnozhin pri teritorialnomu planuvanni v sferi tsivilnogo zakhistu: monografiya* [Rational cutting of the sets for spatial planning in field civil defense. Monograph.]. Kharkov, Likhtar Publ., 2008. 173 p.
5. Smelyakov S. V., Stoyan Yu. G. *Modelirovaniye prostranstva putey v zadachakh postroyeniya optimalnykh trayektoriy* [Modeling the space of paths for problems of optimal trajectories]. *Zhurnal vychislitel'noy matematiki i matematicheskoy fiziki — Computational Mathematics and Mathematical Physics*, 1983, no. 1, pp. 73–82.
6. Kosse A. G. *Metod ratsionalnogo rozmishchennya pozheznykh depo pri proektuvanni ta onovlenni rayoniv mista*. Diss. kand. tekhn. nauk [The method rational placement of fire stations for design and upgrading of city areas. Cand. techn. sci. diss.]. Kharkov, 2002. 19 p.
7. Kyazimov K. T. *Geometrychne modelyuvannya rozmishchennya pozheznykh pidrozdiliv v silskiy mistsevasty na prikladi Azerbaydzhanu*. Diss. kand. tekhn. nauk [Geometric modeling the placement of fire departments in rural areas on the example of Azerbaijan. Cand. techn. sci. diss.]. Kiev, 2010. 24 p.

8. Komyak V. M., Romanov R. V., Pankratov A. V. Model i metod opredeleniya dopustimyykh parametrov razmeshcheniya pozharnykh gidrantov v rayone goroda [The model and the method of determining the possible parameters for placement of fire hydrants in the city area]. *Geometrychne ta kompyuterne modelyuvannya — Geometric and Computer Design*, 2009, no. 25, pp. 27–32.
9. Komyak V. M., Sobol O. M., Kosse A. G., Sobina V. O. Osoblivosti metodu viznachennya ratsionalnoy kilkosti ta mistv roztashuvannya operativnykh pidrozdiliv dlya zakhistu ob'ektiv zaliznitsi [Features of rational method for determining the number and placement of operational units for the protection of railway]. *Problemi nadzvichaynykh situatsiy. Zb. nauk. pr. NUCZ Ukrainy* [Problems of emergencies. Proc. National University of the Civil Protection of Ukraine]. Kharkov, National University of the Civil Protection of Ukraine Publ., 2010, no. 11, pp. 74–79.
10. Komyak V. M., Kalashnikov A. A. Matematicheskoye modelirovaniye komponovki oborudovaniya spetsialnykh avtomobiley bystrogo reagirovaniya [Mathematical modeling the configuration of the equipment in special rapid response vehicles]. *Vestnik Khersonskogo gosudarstvennogo universiteta* [Proc. Kherson State University]. Kherson, Kherson National Technical University Publ., 2003, no. 3(19), pp. 169–172.
11. Kholshchevnikov V. V. *Issledovaniye lyudskikh potokov i metodologiya normirovaniya evakuatsii lyudey iz zdaniy pri pozhare* [Research of human flows and valuation methodology evacuation of people from buildings in case of fire]. Moscow, Moscow Institute of Fire Safety of Ministry of Interior of Russia Publ., 1999. 92 p.
12. Komyak V. M., Putyatin V. P., Komyak V. V. Ob odnoy zadache razbieniya oblasti na podoblasti [A problem of cutting area on subareas]. *Vestnik Khersonskogo natsionalnogo tekhnicheskogo universiteta* [Proc. Kherson National Technical University]. Kherson, Kherson National Technical University Publ., 2012, no. 45, pp. 171–175.
13. Komyak V. V., Sobol A. N., Kosse A. G. Podkhod k opredeleniyu ratsionalnykh putey (planov) evakuatsii dlya vysotnykh zdaniy [The approach to identify efficient ways (plans) for evacuation in high-rise buildings]. *Problemy pozhezhnoy bezpeki. Zb. nauk. tr. NUCZ Ukrainy* [Problems of fire safety. Proc. National University of the Civil Protection of Ukraine]. Kharkov, Folio Publ., 2012, no. 32, pp. 107–112.

СИСТЕМА ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ VGM

Питание от солнечных батарей.




Полная автономность.
Не требует подключения к электросети.
Работает зимой.

- Возможность установки в любом месте
- Видеомониторинг труднодоступных объектов
- Круглосуточный режим работы
- Надежная работа при любых погодных условиях

Не требует подключения к электросети и прокладки кабеля. Устанавливается в течение 30-60 минут.
Работает в автономном режиме, не требует затрат на обслуживание. Срок службы 10 лет.





ЕВРОПЕЙСКОЕ КАЧЕСТВО -
РОССИЙСКАЯ ЦЕНА!

РЕКЛАМА

423800, Татарстан
г. Наб. Челны, 23/11, блок «В»
ООО «ТЭМ-Инвест»
(8552) 54-45-75
(8552) 54-37-96
8-917-260-72-82

E-mail: 399812@mail.ru
www.geliomaster.nnovo.ru

А. Г. МАРКОВ, старший преподаватель кафедры специальной электротехники, автоматизированных систем и связи Академии ГПС МЧС России (Россия, 129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: markov01@yandex.ru)

УДК 621.316.9

ПАРАМЕТРЫ РАЗРЯДОВ СТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА В ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЕМКОСТЯХ

Рассмотрены параметры разрядов статического электричества, проявление которых возможно при эксплуатации и обслуживании резервуаров для хранения ЛВЖ и ГЖ, изготовленных из диэлектрических материалов. Приведены результаты исследований, характеризующие значения зарядов в единичных разрядных импульсах тока, частоту их следования, пиковые значения и крутизну переднего фронта, а также устанавливающие зависимость величины заряда в импульсе от радиуса кривизны электрода. Рассмотрены параметры электризации в процессе трения скольжения — ток электризации, плотность тока, плотность зарядов.

Ключевые слова: электризация; статическое электричество; искробезопасность; система электростатической искробезопасности; электростатика; разряд; электрод; диэлектрик; диэлектрическая жидкость; резервуар; трение.

Возможность применения диэлектриков в качестве конструкционных материалов, применяемых в таре для хранения и транспортировки легковоспламеняющихся (ЛВЖ) и горючих (ГЖ) жидкостей, является вопросом спорным и актуальным по причине опасности проявления разрядов статического электричества. Технологически широкие возможности изготовления различных видов полимерных резервуаров, в том числе для хранения нефтепродуктов на автозаправочных станциях (АЗС), обуславливают необходимость разработки дополнительных научных и инженерных решений и подходов, направленных на обеспечение безопасности применения диэлектриков в этой области. Как следствие, это позволит в перспективе пересмотреть нормативную базу по применению диэлектрических материалов в данной области. Однако при разработке и реализации любых решений, направленных на предотвращение пожаровзрывоопасного проявления разрядов статического электричества, не стоит полностью исключать вероятность их проявления, а значит, необходимо принимать во внимание параметры этих разрядов.

1. Разряды в электростатическом поле наэлектризованных наружных и внутренних поверхностей резервуара

Заряды статического электричества на диэлектрических поверхностях, в том числе на стенках тары, изготовленной из полимерных материалов, а также на поверхности находящейся в ней ЛВЖ, и их электростатические поля создают условия для возникновения разрядов статического электричества на смеж-

ные электропроводящие поверхности или на человека. Области, где проявление разряда наиболее вероятно, примыкают к электропроводящим поверхностям, а возникшие разряды способны вызвать загорание горючей или взрывоопасной среды.

На зажигающую способность таких разрядов влияет:

- полярность электростатического поля (от знака электрических зарядов наэлектризованной поверхности);
- заряд в единичном импульсе разрядного тока;
- линейная плотность энергии в структурном разрядном образовании;
- радиус кривизны электропроводящей поверхности и соответствующая ему начальная напряженность возникновения разряда;
- максимальный потенциал электростатического поля;
- геометрические параметры зоны ионизации вероятного разряда.

Разряды статического электричества на токопроводящие объекты в электрическом поле поверхностных и объемных зарядов могут создавать основную опасность загорания взрывоопасной среды.

2. Разряды статического электричества с наэлектризованной жидкости в емкостях

Заряды статического электричества, находящиеся на поверхности наэлектризованной жидкости, создают возможность возникновения разрядов различной природы:

- с перекрытием разрядного промежутка в сравнительно однородном поле;

- без перекрытия разрядного промежутка в сильно неоднородном поле на электроды (электропроводящие конструкции и детали резервуара), даже не контактирующие с жидкостью и удаленные от зеркала на значительные расстояния.

Разряды первого рода наиболее опасны, так как они могут возникать с изолированных масс наэлектризованных электропроводящих жидкостей или жидкостей с повышенной проводимостью так же, как с плавающих на поверхности жидкости изолированных электропроводящих предметов, например канистр. Повышенной опасностью могут обладать искровые разряды с массы воды, выносимой сравнительно спокойным (не дробящим воду) потоком наэлектризованного низкопроводящего нефтепродукта. Чем выше электропроводность жидкости, тем вероятнее возможность возникновения таких разрядов, но тем эффективнее может обеспечиваться и утечка зарядов с поверхности такой жидкости, если не нарушается ее однородность и электрическая цепь, обеспечивающая ее эквипотенциальность со всеми электропроводящими частями и конструктивными элементами резервуара. В связи с этим опасность возникновения разрядов первого рода можно исключить средствами заземления и эксплуатацией резервуара в надлежащем порядке.

Опасность (зажигаящая способность) разрядов второго рода практически полностью определяется радиусами кривизны электропроводящих поверхностей [1–3], провоцирующих их возникновение. Наименьшей зажигающей способностью обладают разряды (вспышечная корона) на проводящие поверхности с положительным радиусом гауссовой кривизны, равным 2,5 мм (рис. 1).

При оценке пожарной опасности разрядов статического электричества применяют аналитические методы, которые моделируют введение в аппарат сферических электродов определенного радиуса или их сближение с поверхностью наэлектризованного материала. Применяются также методы испытания, при которых аналогичным образом провоцируется образование разрядов статического электричества в испытательной взрывоопасной среде. Например, так проводятся испытания с применением зонда зажигания со сферическим электродом [4] (рис. 2).

Выполненные В. Н. Веревкиным и В. И. Горшковым исследования разрядов на сферические электроды (рис. 3–9) послужили основанием для разработки ряда методов оценки их зажигающей способности, применяемых в системе электростатической искробезопасности (ЭСИБ) слабой электризации [5, 6].

Разряды обеспечивались сближением с разрядниками отрицательно заряженной полиэтиленовой пленки. Подъем пленки обеспечивал ее потенциал

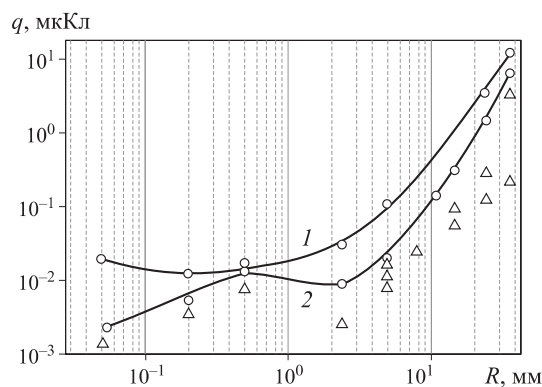


Рис. 1. Зависимость заряда в импульсе q от радиуса кривизны R электрода-разрядника: 1 — максимальные значения зарядов, соответствующие вероятности 10^{-6} ; 2 — максимальные выборочные значения; Δ — наиболее вероятные выборочные значения по данным В. Н. Веревкина [2, 4]

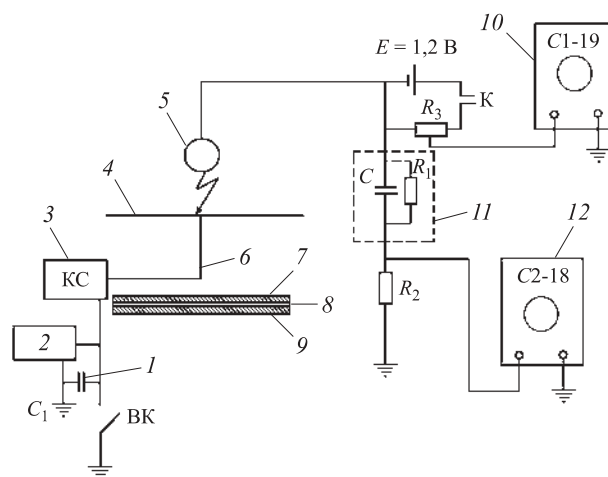


Рис. 2. Принципиальная схема установки для исследования разрядов статического электричества на электроды со сферической поверхностью: 1 — измерительный конденсатор емкостью C_1 ; 2 — статический вольтметр; 3 — контактная система КС; 4 — наэлектризованная пленка; 5 — разрядный электрод; 6 — нить; 7, 9 — листовое органическое стекло; 8 — металлическая фольга; 10, 12 — осциллографы; 11 — интегрирующая цепочка

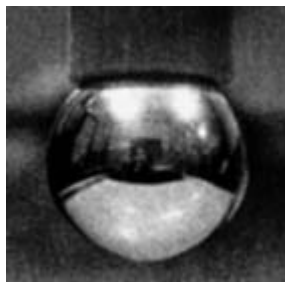


Рис. 3. Электрод с радиусом гауссовой кривизны поверхности 35 мм

до 340 кВ и крутизну фронта нарастания потенциала до 10 МВ/с. В табл. 1 представлены данные по свечению при разрядах на металлические разрядные электроды с различными значениями радиуса кривизны поверхности. Зажигание горючих смесей возможно только в областях свечения. Причем за-



Рис. 4. Разряд статического электричества с электрода радиусом кривизны 35 мм: структура разрядных образований — двухступенчатый стебель с узлом, ветви, область волновой ионизации



Рис. 5. Разряд статического электричества с электрода радиусом кривизны 25 мм: структура разрядных образований — стебель, ветви, область волновой ионизации

жигающая способность в зоне стебля l_c при разрядах на электроды с радиусом кривизны от 5 мм и более на несколько порядков превышает зажигающую способность в ветвях l_v и тем более в зоне волновой ионизации $l_{кр}$. Наименьшая зажигающая способность характерна для разрядов на электрод с радиусом кривизны 2,5 мм. Для электродов с уменьшающимся радиусом кривизны поверхности по мере его убывания зажигающая способность разрядов возрастает. Это объясняется тем, что светящаяся зона при этом удаляется от поверхности электродов, возрастает частота разрядов и суммируется зажигающая способность отдельных разрядных импульсов, наблюдаемых за время индукции горючей смеси. В табл. 1 приведены также рекомендуемые значения времени заряда интегрирующих RC-цепочек при измерении зарядов в единичных импульсах тока при разрядах на электроды в зависимости от радиуса кривизны их поверхности.

Данные табл. 1 определены с учетом результатов исследования характерных для разрядов статического электричества импульсов тока, их длительности и частоты следования. Тем, что на электрод

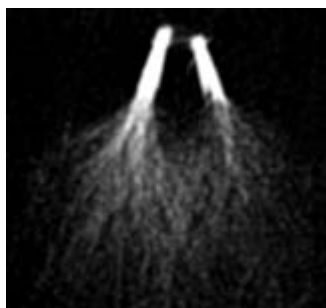


Рис. 6. Разряд статического электричества с электрода радиусом кривизны 15 мм: структура разрядных образований — стебель и область волновой ионизации

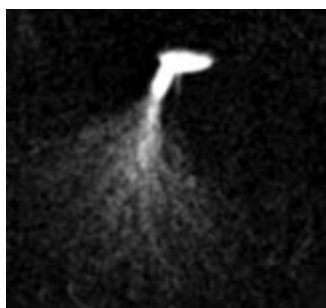


Рис. 7. Разряд статического электричества с электрода радиусом кривизны 5 мм: структура разрядных образований — вспышечная корона (свечение, растекающееся по поверхности), стебель и область волновой ионизации



Рис. 8. Разряд статического электричества с электрода радиусом кривизны 2,5 мм: структура разрядных образований — вспышечная корона, свечение, растекающееся по поверхности

Таблица 1. Данные по свечению при разрядах на металлические разрядные электроды с различными значениями радиуса кривизны поверхности

Радиус кривизны поверхности разрядника, мм	Длина разрядных образований, мм, в зоне			Рекомендуемое время заряда интегрирующей RC-цепочки, мкс
	стебля l_c	ветвей l_v	кроны $l_{кр}$	
35	20–34	50–125	120–160	80–10000
25	18–25	35–68	40–82	50–500
15	16±1	—	62±8	30–200
5,0	5,3±0,1	—	34±1	20–140
2,5; 0,5; 0,2	Свечение поверхности			20–100
0,05 (патефонная игла)	—	—	34±1	15–20

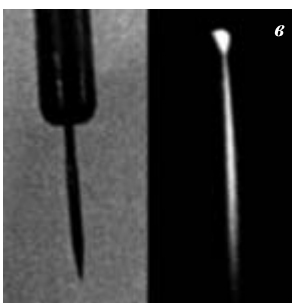
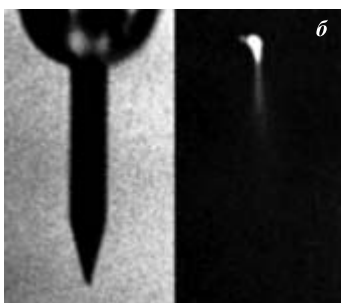
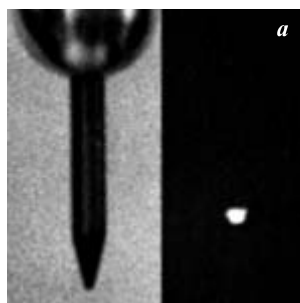


Рис. 9. Разряд статического электричества с электрода радиусом кривизны 0,5 мм (а), 0,2 мм (б) и 0,05 мм (в): структура разрядных образований — вспышечная корона, свечение, растекающееся по поверхности

Таблица 2. Значения зарядов в единичных разрядных импульсах тока, параметры их статистического распределения, частота их следования, пиковые значения и крутизна переднего фронта

Радиус, мм	Параметры статистического распределения		Заряд в импульсе, мкКл			Частота, Гц	Пик тока, А	Крутизна переднего фронта, А/с
	$\lg \bar{q}$	Стандарт S	$\bar{q}$	Максимум q	q при $P = 10^{-6}$			
0,05	–8,854	0,240	0,0014	0,0024	0,02	10000	0,0005	6000
0,2	–8,372	0,096	0,00425	0,0062	0,0125	1000	–	–
0,5	–8,108	0,056	0,0078	0,0125	0,015	1250	0,01	10000
2,5	–8,572	0,221	0,0027	0,009	0,0324	–	–	–
5,0	–7,860	0,082	0,0138	0,023	–	700	–	–
	–7,737	0,160	0,0183	0,025	0,11	–	–	–
	–8,055	0,067	0,0088	0,013	–	–	–	–
8,0	–7,592	0,086	0,0260	0,0425	0,068	850	0,05	100000
15,0	–7,232	0,078	0,0585	0,0925	–	500	–	–
	–7,024	0,110	0,0935	0,15	0,33	–	–	–
	–	–	–	0,31	–	–	–	–
25,0	–6,889	0,075	0,129	0,22	–	200	0,06	100000
	–6,538	0,221	0,290	1,49	3,48	–	–	–
35,0	–6,658	0,236	0,22	1,65	–	–	–	–
	–5,490	0,118	3,23	6,2	12,3	–	–	–

Примечание. P — вероятность.

определенного радиуса за время сближения с заряженной поверхностью возникают различные виды разрядов (что следует уже из вида свечения разрядных образований и по одновременно получаемым осциллограммам импульсов тока), объясняется многомодальность статистических распределений значений зарядов в единичных импульсах тока. В табл. 2 приведены значения зарядов в единичных разрядных импульсах тока, параметры их статистического распределения, частота их следования, пиковые значения и крутизна переднего фронта.

3. Электризация в процессе трения скольжения

Электризация в процессе трения скольжения при перемещении материалов относительно диэлектрических поверхностей может возникать при осуществлении ряда технологических операций: шлифовки, полирования, самотечного транспортирования, смешения, погрузочно-разгрузочных операций и т. п. — и при случайных обстоятельствах. К таким случайным обстоятельствам можно отнести электризацию, возникающую при уборке и протирке поверхностей вследствие трения об одежду диэлектрической тары (канистры) для горюче-смазочных материалов и т. п. В ряде случаев возникновению загораний способствует электризация в результате трения пластмасс и стекла, применяемых в качестве строительных или конструкционных материалов. При использовании диэлектрических материалов

(даже в тех случаях, когда они в своем основном функциональном назначении не подвергаются электризации) в пожаро- или взрывоопасных производствах необходимо учитывать опасность возникновения разрядов статического электричества при электризации в результате трения скольжения.

Выбранные для исследования [7] материалы позволяют перекрыть широкий диапазон значений собственного времени релаксации τ электризуемых материалов: от 4,6 с для оконного стекла до 10^6 с для полиэтилена и полиэтилентерефталата. Диэлектрические поверхности заряжались в процессе сухого трения хлопчатобумажной ткани (бязи). Номинальная площадь контакта образца с поверхностью составляла $0,007 \text{ м}^2$, нагрузка достигала 7 кПа.

Измеритель тока или интегрирующая RC-цепочка включалась в цепь заземления человека или электропроводящего предмета (контртела), обернутого тканью. Экспериментальные данные представлены в табл. 3.

Когда образцы располагались на проводящей подложке, значение тока было на порядок выше по сравнению со случаем, когда они находились на расстоянии 0,25 м от проводящих поверхностей. Наибольший ток наблюдался в первые 10–15 с, а затем его значение уменьшалось. Это объясняется формированием плотности зарядов на диэлектрической поверхности и установлением равновесия между разрядными процессами и процессами электризации.

Таблица 3. Результаты экспериментальных исследований зажигающей способности электризации в процессе трения скольжения для диэлектрических материалов

Материал поверхности	Скорость, м/с	Ток электризации, А	Плотность тока, мкА/м ²	Плотность заряда, мкКл/м ²		Характеристики поверхности	
				в следе трения	на поверхности	τ, с	Знак
Образец на проводящем основании							
Органическое стекло	1,0–2,0	0,2–0,4	26–57	2–8	25–30	3·10 ⁴	+
Полиэтилен	0,5–4,5	0,04–0,17	2,4–22,5	0,3–0,8	40–65	7·10 ⁵	–
Стекло 13в	2,5–4,0	0,10–0,17	16–13	0,4	35–44	37,6	+
Стекло “Сиал”	2,6–4,0	0,10–0,22	14–32	0,3–0,6	54–73	15,5	+
Оконное стекло	2,5–3,0	0,3–0,6	46–88	1,2–2,0	27	4,6	+
Образец без проводящего основания							
Органическое стекло	1,0–2,0	0,02–0,07	5–10	0,2–0,7	2,5–5,0	3·10 ⁴	+

Таблица 4. Заряды в единичных импульсах разрядов на человека при протирке бязью диэлектрических поверхностей

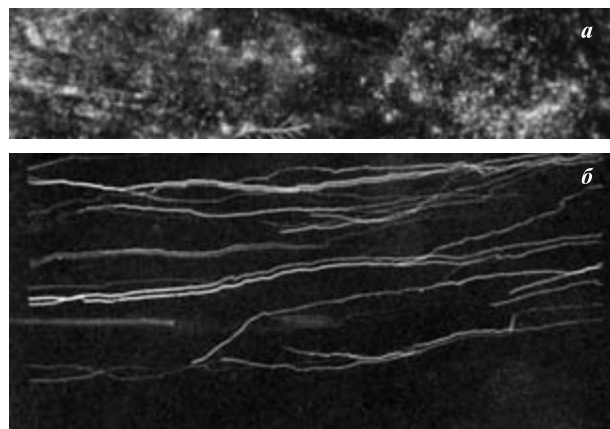
Материал поверхности	Радиус (тип) разрядника, мм	Заряд в импульсе, мкКл				Знак поверхности
		$\bar{q}$	Максимум q	q при $P = 10^{-6}$	Стандарт S	
Стекло оконное	25	0,0016	0,011	0,450	0,500	+
	10	0,0023	0,009	0,500	0,480	
Стекло “Сиал”	25	0,0124	0,046	0,120	0,205	+
Стекло 13в	25	0,0085	0,055	0,500	0,360	+
		0,0112	0,038	0,520	0,340	
Органическое стекло (периметр заземлен)	10	0,0030	0,012	0,150	0,140	+
	25	0,0029	0,009	0,100	0,110	
	Рука	0,0017	0,0064	0,008	0,130	
Полиэтилен	Фольга	0,0052	0,016	0,044	0,170	–
	25	0,0140	0,058	0,260	0,260	

Измеряемый ток является разностью между током электризации и током в разрядах, поэтому непосредственно измеряемые значения токов или напряженности поля не несут информации об опасности разрядов статического электричества. Например, на образцах органического стекла с проводящим основанием измеренный ток был на порядок выше, чем на образцах без проводящего основания, но величина зарядов в отдельных импульсах в первом случае достигала примерно 0,001 мкКл, тогда как во втором случае — 0,35 мкКл.

Значения зарядов в единичных импульсах разрядов на человека при протирке бязью диэлектрических поверхностей приведены в табл. 4.

Данные табл. 4 показывают, что значения зарядов в импульсах разрядов при скольжении контртела относительно поверхности полиэтилена практически не отличаются от аналогичных значений для поверхности стекла. Значения зарядов в импульсах разрядов, а значит, и их зажигающая способность являются наибольшими при скольжении контртела относительно поверхности пустой (незагруженной) тары.

Контактные фотографии разрядов показывают, что во втором случае формируются разряды с яркими каналами, длина которых достигает 0,40 м, а в первом случае такие разряды отсутствуют и наблюдаются свечения с линейными размерами около 0,01 м (рис. 10).

**Рис. 10.** Разряды в следе трения скольжения на поверхности образца оргстекла размером 0,55×1,1×0,04 м с электропроводящим основанием (а) и без него (б)

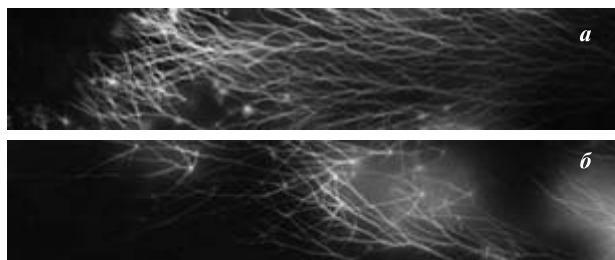


Рис. 11. Разряды в следе скольжения на поверхности трубы диаметром 150 мм из стекла 13В с толщиной стенки 7 мм (а) и “Сиал” с толщиной 4,5 мм (б)

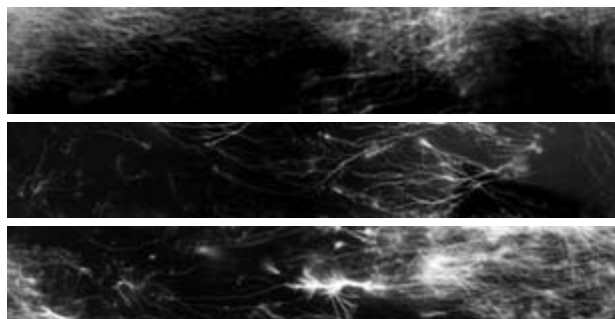


Рис. 12. Разряды в следе трения скольжения на поверхности пленки из полиэтилена толщиной 12 мкм без электропроводящего основания: заряд пленки “—”; разряды с частотой от 200 до 500 Гц

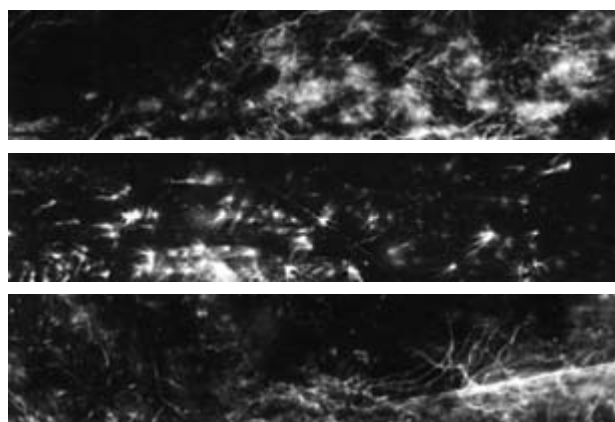


Рис. 13. Разряды в следе трения скольжения на поверхности пленки из полиэтилентерефталата толщиной 20 мкм без электропроводящего основания: заряд пленки “—”; заряд в импульсе менее $2 \cdot 10^{-10}$ Кл

Длина отпечатка 200 мм дает информацию о размере светящихся образований. С другой стороны образца отсутствуют зеркальные каналы разрядов противоположного знака.

На рис. 11 представлены контактные фотографии разрядов в следе трения скольжения на поверхности трубы из стекла 13В и “Сиал” диаметром 150 мм, с толщиной стенки 7,0 и 4,5 мм.

На рис. 12 и 13 приведены контактные фотографии разрядов в следе трения скольжения на поверхности пленок из полиэтилена и полиэтилентерефталата без проводящего основания толщиной соответственно 12 и 20 мкм.

Выводы

В статье рассмотрены различные типы разрядов, проявление которых возможно при эксплуатации и обслуживании резервуаров для нефтепродуктов, изготовленных из диэлектрических материалов. Разряды различаются как по количественным параметрам, так и просто по механизму (условиям) их возникновения:

- на наэлектризованных наружных и внутренних поверхностях резервуара;
- на поверхности наэлектризованной жидкости в емкостях;
- в процессе трения скольжения.

Результаты исследований, характеризующие значения зарядов в единичных разрядных импульсах тока, частоту их следования, пиковые значения и крутизну переднего фронта, а также зависимость величины заряда в импульсе от радиуса кривизны электрода, показывают, что наиболее опасными являются разряды с перекрытием разрядного промежутка. Однако опасность проявления таких разрядов может быть исключена средствами заземления и эксплуатацией резервуара в надлежащем порядке. Опасность (зажигаящая способность) разрядов без перекрытия разрядного промежутка практически полностью определяется радиусами кривизны электропроводящих поверхностей, провоцирующих их возникновение. Наименьшей зажигающей способностью обладают разряды (вспышечная корона) на проводящие поверхности с положительным радиусом гауссовой кривизны, равным 2,5 мм.

Рассмотрены параметры электризации в процессе трения скольжения — ток электризации, плотность тока, плотность зарядов.

Показано, что разряды при трении скольжения относятся к разрядам второго рода. Оценка их зажигающей способности оптимальна по значениям зарядов в разрядных импульсах непосредственно в процессах электризации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 12.1.018–79. ССБТ. Статическое электричество. Искробезопасность. Общие требования. — Введ 01.07.80 г. — М. : Изд-во стандартов, 1979.
2. Вережкин В. Н., Смелков Г. И., Черкасов В. Н. Электростатическая искробезопасность и молниезащита. — М. : МИЭЭ, 2006. — 170 с.

3. Бондарь В. А., Вережкин В. Н. и др. Взрывобезопасность электрических разрядов и фрикционных искр. — М. : Недра, 1976. — 304 с.
4. Вережкин В. Н., Горшков В. И., Попов Б. Г., Бондарь В. А., Кравченко В. С. Временная инструкция по определению воспламеняющей способности разрядов статического электричества по заряду в импульсе (№ 26–70) // Информ. бюл. ВНИИПО. — М. : ВНИИПО, 1970. — Вып. 187. — 17 с.
5. ГОСТ 31613–2012. Межгосударственный стандарт. Электростатическая искробезопасность. Общие технические требования и методы испытания. — Введ. 05.02.13 г. — М. : Стандартинформ, 2013.
6. ИЕС 61340-4-4(2012). Электростатика. Часть 4-4: Стандартные методы испытаний для случаев специальных случаев применения. Электростатическая классификация гибких контейнеров средней грузоподъемности для насыпных грузов. Опул. 18.01.2012 г. URL : www.vniiki.ru/document/4682729.aspx (дата обращения: 20.05.2013 г.).
7. Справочник по электротехническим материалам: в 3 т. Т. 2 / Под ред. Ю. В. Корицкого и др. — М. : Энергоатомиздат, 1987. — 467 с.

Материал поступил в редакцию 10 июня 2013 г.

English

PARAMETERS OF THE DISCHARGE OF STATIC ELECTRICITY IN DIELECTRIC CONTAINERS

MARKOV A. G., Senior Lecturer of Special Electrical Engineering, Automation Systems and Communication, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail address: markov01@yandex.ru)

ABSTRACT

Possibility application of dielectrics as the constructional materials applied in container for storage and transportation inflammable and combustible liquids, is a question disputable and actual because of dangerous displays of discharges of static electricity. Technologically ample opportunities of manufacturing of various kinds of polymeric tanks including at gasoline stations (gas stations) urge to develop additional scientific both engineering decisions and approaches for storage of mineral oil the safety of application of dielectrics directed on maintenance in this area and as consequence, in the long term will allow to reconsider standard base on application of dielectric materials in this area. But by working out and realization of any decisions directed on exception maintenance fire-dangerous displays of discharges of static electricity, it is not necessary to exclude completely probability of their display, and as consequence, it is necessary to take into consideration parameters of these categories.

Lighting ability of such discharges depends from:

- polarity of an electrostatic field (from a mark of electric charges surfaces);
- charge in an individual impulse of a digit current;
- linear density of energy in structural digit formation;
- radius of curvature of an electrospending surface and initial intensity of occurrence of the discharges corresponding to it;
- maximum potential of an electrostatic field;
- geometrical parameters of a zone of ionization of the probable discharges.

Results of researches of charges characterizing meaning in individual digit current pulses, frequency of their following, peak meanings and a steepness of forward front, in an impulse from radius of curvature of an electrode show charge sizes, that the most dangerous are discharges with discharge gap overlapping. But it is possible to consider danger of display of such discharges excluded by earthing provisions and an appropriate method of operation of the tank. Danger (lighting ability) discharges without discharge gap overlapping practically is completely defined by radiuses of curvature of the electrospending surfaces provoking their occurrence. The least lighting ability discharges (corona flash) on spending surfaces with the positive Gaussov radius of curvature equal of 2.5 mm possess.

Parameters of an electrization in the course of a sliding friction are considered: an electrization current, a current density, density of charges.

Discharges at a sliding friction concern categories of the second sort. The estimation of their lighting ability is optimum on meanings of charges in digit impulses directly in electrization processes.

Keywords: electrification; static electricity; spark safety; electrostatic safety system; electrostatic; spark; electrode; insulator; dielectric fluid; container; friction.

REFERENCES

1. Interstate Standard 12.1.018–79. Static electricity — Electrostatic safety — General requirements. Moscow, Izdatelstvo standartov, 1979 (in Russian).
2. Veryovkin V. N., Smelkov G. I., Tcherkasov V. N. *Elektrostaticheskaya iskrobezopasnost i molniezashchita* [Electrostatic spark safety and lightning protection]. Moscow : MIEE Publ., 2006. 170 p.
3. Bondar V. A., Veryovkin V. N. et al. *Vzryvobezopasnost elektricheskikh razryadov i friktsionnykh iskr* [Explosion safety of discharges of electricity and frictional sparks]. Moscow, Nedra Publ., 1976. 304 p.
4. Veryovkin V. N., Gorshkov V. I., Popov B. G., Bondar V. A., Kravchenko V. S. *Vremennaya insruktsiya po izmereniyu plotnosti toka elektrizatsii cherez stenki truboprovodov iz dielektricheskikh materialov* [The time instruction on definition of igniting ability of categories of a static electricity on a charge in an impulse]. *Informatsionnyy byulleten VNIPO* [Information Bulletin VNIPO]. Moscow, All-Union Research Institute for Fire Protection Publ., 1970, vol. 187. 17 p.
5. *Interstate Standard 31613–2012. Static electricity spark safety. General technical requirements and test methods*. Moscow, Standartinform Publ., 2013 (in Russian).
6. *IEC/TR 61340-4-4(2012). Electrostatics — the Part 4-4: Standard test methods for specific applications. — Electrostatic classification of flexible intermediate bulk containers (FIBC)*. Available at: www.vniiki.ru/document/4682729.aspx ((Accessed 20 May 2013) (in Russian).
7. Koritskiy Yu. V. et al. (eds). *Spravochnik po elektrotehnicheskim materialam* [The directory on electro-technical materials]. In 3 vol., vol. 2. Moscow, Energoatomizdat, 1987. 467 p.



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

ХОАНГ ТХО ДЫК, аспирант кафедры комплексной безопасности в строительстве Московского государственного строительного университета (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское ш., 26, e-mail: duc_pccc@mail.ru)

А. Я. КОРОЛЬЧЕНКО, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры комплексной безопасности в строительстве Московского государственного строительного университета (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

УДК 614.841.33

СОПОСТАВЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОВОДНЫХ И БЕСПРОВОДНЫХ СИСТЕМ ОПОВЕЩЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ЭВАКУАЦИЕЙ

Дано понятие надежности и живучести пожарной сигнализации. Проведено сравнение проводных и беспроводных систем оповещения и управления (СОУЭ) по двум критериям — живучести и экономической эффективности. Показано, что, несмотря на то что радиоканальное оборудование стоит дороже проводного, монтажные организации в условиях растущих потребностей рынка могут получать значительную прибыль при работе с беспроводными системами. Показано также, что с технической точки зрения очень важно уже на этапе проектирования оценить надежность и эффективность системы пожарной сигнализации и предусмотреть возможные меры ее повышения. При сопоставлении эффективности этих систем сделан вывод, что наиболее перспективным направлением в области обеспечения противопожарной безопасности является беспроводная пожарная сигнализация объектов.

Ключевые слова: живучесть систем оповещения и управления эвакуацией; экономическая эффективность СОУЭ; эффективность беспроводной СОУЭ.

С выходом Федерального закона № 123 “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности” [1] установлено, что стоимость проводных систем пожарной сигнализации (СПС) резко возрастает из-за обязательного требования использовать огнестойкий тип кабеля. В СП 3.13130.2009 [2] прямо указывается, что “кабели и провода систем противопожарной защиты систем обнаружения пожара, оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре должны сохранять работоспособность в условиях пожара в течение времени, необходимого для полной эвакуации людей в безопасную зону”. Реализовать данное требование можно только применением огнестойкого кабеля с пределом огнестойкости 180 мин. Единственным выходом в сложившейся ситуации является использование беспроводной системы, поскольку в ней таких проводов нет в принципе. Следовательно, конечная стоимость системы получается ниже, чем проводной. Не в последнюю очередь такие выводы базируются на том, что радиоканал в СПС [2] теперь законно считается линией связи.

Остановимся подробнее на эффективности беспроводных и проводных СОУЭ.

Что же нужно для того, чтобы система пожарной сигнализации была способна обеспечить своевременную эвакуацию? Две вещи:

- быть надежной — это раз;
- быть живучей, даже при возникновении нестандартных ситуаций, — это два.

В понятие надежности пожарной сигнализации входят несколько составляющих:

- надежность обнаружения возгорания на ранней стадии развития пожара, отсутствие ложных тревог (снижающих доверие к самой системе);
- возможность безотказного функционирования (при условии регулярного проведения профилактических работ).

Живучесть — это способность системы сохранять работоспособность даже после начала пожара. Эта характеристика систем раньше не принималась во внимание. В задачи систем пожарной сигнализации входило только обнаружение первичного возгорания, после чего предполагалось, что люди покидают здание “быстро и без каких-либо затруднений”.

За последние несколько лет упрощенный взгляд на живучесть системы пожарной сигнализации пришлось пересмотреть. Специалисты в области пожарной безопасности указывают на необходимость обеспечения работоспособности системы пожарной сигнализации (а не только оповещения) на все время, необходимое для эвакуации людей из здания. Только в этом случае имеется возможность отслеживать динамику распространения дыма (по сигналам от

извещателей) по этажам и лестницам и, следовательно, оперативно управлять эвакуацией людей из здания.

К сожалению, обеспечить живучесть проводных систем сигнализации после начала пожара очень непросто. Провода, например, могут перегореть, поэтому никто не может гарантировать работоспособность проводной системы сигнализации уже сразу после начала пожара.

Кабельная сеть, как правило, имеет один общий стояк с поэтажными ответвлениями [2]. На горизонтальных участках кабеля подключаются кабельные коробки, от которых непосредственно отходят шлейфы сигнализации. При построении систем пожарной сигнализации на базе приемно-контрольных приборов с распределенной структурой, в которой блоки или расширители связаны по стыку, прокладывается, как правило, всего одна магистраль. При ее повреждении, например, на 2-м этаже часть здания останется без сигнализации.

Беспроводная система пожарной сигнализации и оповещения, построенная по радиально-узловому принципу с коэффициентом связности, равным трем (в проводных системах — единице), обладает гораздо большим запасом живучести. Более того, при использовании динамической маршрутизации в беспроводной системе пожарной сигнализации вообще исключается влияние структуры системы на ее живучесть. Радиоканал, как известно, “не перегорает”, и сигналы доставляются вне зависимости от стадии развития пожара (например, все на том же 2-м этаже). Таким образом, беспроводная система с динамической маршрутизацией, как никакая другая, способна выполнять свои функции в течение всего времени проведения эвакуации людей из здания, как бы долго этот процесс ни продолжался. Конечно, отдельные извещатели, узлы и элементы, находящиеся в помещениях с открытым огнем, работать уже не будут, но все остальные средства будут функционировать в полном объеме, что позволяет говорить о новом уровне живучести радиосистемы в условиях чрезвычайных ситуаций.

Если учесть, что смонтировать систему пожарной сигнализации в проводном и беспроводном вариантах на одном и том же объекте “под ключ” можно при одинаковых затратах, то необходимо признать, что переход с проводных систем пожарной сигнализации на беспроводные так же неотвратим, как был неотвратим массовый переход к мобильным средствам связи.

Экономическая эффективность

Вместо того чтобы тратить время и силы на прокладку соединительных линий, коммутацию их с устройствами и т. д., заказчик получает практиче-

ски полностью готовую систему. По сути, требуется только установить на объекте заранее запрограммированные радиоустройства и радиоизвещатели, используя значительно меньшее число рабочих рук.

Несмотря на то что радиоканальное оборудование стоит дороже проводного, монтажные организации в условиях растущих потребностей рынка могут получать значительную прибыль при работе с беспроводными системами. Как показывает практика, в среднем цена оборудования в расчете на 1 м² в рамках договора на проектирование, поставку, монтаж и пусконаладочные работы конкретного объекта будет одинаковой как для проводной, так и для радиоканальной систем, а в ряде случаев может оказаться даже ниже. Как объясняют специалисты, на практике эта арифметика неоднократно проверена и отлично себя зарекомендовала.

Итак, во-первых, обеспечивается почти 10-кратное сокращение объема монтажных (самых неквалифицированных) работ. Во-вторых, существенно снижаются затраты на расходные материалы. В-третьих, сокращаются трудозатраты на монтажные работы. Например, система “Стрелец” является профессиональной радиосистемой адресно-аналоговой пожарной сигнализации, поэтому в большей части помещений достаточно установить всего один пожарный радиоизвещатель “Аврора-Р”. В-четвертых, это — качественно новая скорость бизнеса. С учетом того что объемы трудозатрат в человеко-днях для радиосистемы как минимум в 5 раз ниже по сравнению с проводными системами, сроки выполнения всех предусмотренных договором работ (за исключением подготовки проектной документации) сокращаются в 5 раз. Выполняется одно из главных требований заказчика: ценится его время. В-пятых, это — качественно другой уровень трудоемкости работ. Попробуем, например, представить, насколько сложно прокладывать линии связи по потолку на высоте 5–6 м, причем уже не в одиночку, а вдвоем, и не с лестницы, а с лесов. В-шестых, нет необходимости проводить дополнительную ревизию и перекоммутацию уже смонтированных линий связи из-за ошибок, допущенных при проектировании или монтаже. А ведь при традиционном процессе пусконаладочных работ эти ошибки могут достигать 20 %, что часто становится причиной разногласий между проектировщиками, монтажниками и наладчиками.

Практическая целесообразность

Адресно-аналоговые пожарные дымовые радиоизвещатели, которые применяются, например, в “Стрельце”, можно чистить по мере необходимости. Двухсторонний протокол в радиосистеме позволяет оперативно оценить текущую запылен-

ность дымовых камер извещателей и составить список только тех, которые подлежат обязательной очистке.

Более того, известно, что поддержание проводных линий в исправном состоянии требует определенных усилий: каждый год по нормам надлежит делать ревизию или заменять до 10 % проводных линий и проверять все коммутации. Этих проблем у беспроводного оборудования нет. Если изначально все радиоканальные устройства были правильно размещены и на радиоинтервалах между ними имеется достаточный запас уровня сигнала, рассчитанный на непредвиденные обстоятельства (двухсторонний протокол обмена позволяет легко бороться с возможными радиопомехами и преднамеренными попытками вмешательства в работу системы), то при эксплуатации беспроводная система намного надежнее проводной.

Беспроводные системы оповещения представляются обычно как наилучшее решение, так как при их использовании можно достичь значительной экономии при монтаже, а также сократить время на установку такой системы [3]. Тем не менее с момента появления беспроводных систем на российском рынке прошло уже более 10 лет, а они все еще не пользуются заслуженной популярностью. Попробуем разобраться, почему.

Если сравнивать две среды передачи сигналов — радиоволны и провода, то последние имеют много преимуществ. Провода являются наиболее надежной средой, так как в меньшей степени подвержены помехам. Помимо этого, по ним осуществляется и питание устройств.

Проблема радиоканального оборудования заключается в том, что необходимо иметь независимые источники питания в каждом радиоустройстве, а следовательно, периодически их менять. Во многих случаях это представляется сложным, так как оповещатели часто монтируются в подвесных потолках или других труднодоступных местах. Более серьезные проблемы вызывает использование радиоканальной системы пожарной сигнализации (СПС). У СПС все извещатели постоянно активны, поэтому срок их службы уменьшается. Наряду с этим существуют запотолочные пожарные извещатели, к которым невозможно обеспечить свободный доступ, особенно во время эксплуатации здания. Система оповещения, в свою очередь, находится в отключенном состоянии и срабатывает только в случае пожара или тестирования. Следовательно, одного комплекта батарей может хватить на много лет.

Дополнительно хотелось бы отметить совмещенные системы, в которых одна часть выполнена с использованием проводов, другая — на основе радиоканала. Такое решение позволяет совмещать поло-

жительные качества обеих систем и в итоге выйти на чистую экономию без ущерба качеству.

На адресный шлейф пожарной сигнализации можно устанавливать радиоточки и вокруг каждой из них на расстоянии прохождения радиосигнала — располагать несколько устройств: пожарные извещатели, оповещатели (в том числе речевые), указатели направления движения.

Приведем пример использования такой технологии. На действующем объекте осуществляется ремонт на площади 200 м². Потолочное перекрытие — гипсокартон. Заказчик, как нередко это случается, не предупредил вовремя подрядную организацию о необходимости установки пожарной сигнализации и системы оповещения. И если раньше потребовалось бы вскрывать потолки, то теперь достаточно установить радиоточку к ближайшему действующему адресному пожарному извещателю, а затем просто прикрепить к потолку речевые оповещатели.

По мнению специалистов, занимающихся монтажом СОУЭ, преимущества беспроводной (радиоканальной) системы по сравнению с проводной заключаются в следующем:

- отсутствие необходимости в прокладке проводов, сверлении отверстий, установке электротехнических коробов;
- значительное сокращение времени на монтаж и уменьшение количества расходных материалов (в 5 раз);
- выполнение монтажа без остановки деятельности объекта и причинения неудобств работающему персоналу;
- возможность установки в помещениях с законченным ремонтом и сформировавшимся дизайном (музеи, гостиницы, бизнес-центры) без нарушения интерьера помещения;
- снижение затрат на проведение регламентных работ по обязательной очистке. Двухсторонний протокол обмена информацией позволяет составить список датчиков (извещателей) с высокой степенью запыленности дымовых камер и производить очистку не всех подряд, а только нуждающихся в этом датчиков;
- обеспечение высокой информативности адресно-аналоговой системы о месте задымления или срабатывания. Каждый датчик имеет свой индивидуальный номер или адрес, который указывается на плане объекта. При поступлении сигнала от датчика сразу будет известно, в каком конкретном кабинете или помещении произошло срабатывание;
- автономность беспроводной системы пожарной сигнализации. Датчики работают от 4 до 7,5 лет от основных элементов питания. После предупреждения о необходимости замены элементов

питания датчики могут работать на резервных элементах еще 2 месяца;

- мобильность беспроводной системы пожарной сигнализации. В случае переезда на новое место ее можно будет “забрать с собой” и установить на другом объекте;
- простота и легкость демонтажа датчиков (радиоизвещателей) при необходимости проведения ремонта или перепланировки помещений;
- возможность дополнять систему пожарной сигнализации в процессе ее эксплуатации беспроводными охранными датчиками (движения, разбития стекла, открытия двери или окна и т. д.). Таким образом из системы пожарной сигнализации можно легко получить систему охранно-пожарной сигнализации.

Несмотря на очевидные, с первого взгляда, преимущества (исключая цену), следует внимательно оценивать показатели таких систем оповещения и управления эвакуацией, в частности обращать внимание на следующее [4]:

- большинство исполнительных устройств систем оповещения и управления эвакуацией являются сильноточными и, следовательно, должны иметь в своем составе источник электропитания с резервной аккумуляторной батареей и функциями ее контроля;
- трудно решается вопрос обратной связи зоны оповещения с диспетчерской, поэтому они могут найти применение только для систем СОЗ и ниже;
- при чрезвычайной ситуации на объекте могут значительно активизироваться источники мощных электромагнитных помех и другие радиоустройства, работающие в обычной ситуации периодически (радиофицированные блоки автоматики жизнеобеспечения, системы охраны, устройства сотовой и радиосвязи), может произойти отключение силового оборудования, замыкание сильноточных электрических цепей и т. п. В результате нормально функционирующая в безопасной ситуации система может быть заблокирована в самый неподходящий момент.

При расчетах открытых радиоинтервалов основная задача заключается в поиске и анализе влияния зон отражения сигнала от подстилающей поверхности. Наиболее типичные подстилающие поверхности — вода, солончаки, пойменные луга, ровные участки среднепересеченной местности. В городских условиях это — площади, автостоянки, хозяйственные дворы и т. п.

В беспроводных системах в условиях городской застройки на распространение радиоволн дополнительно влияют здания, находящиеся в непосредственной близости от радиолинии. К примеру, с треть-

его этажа одного дома на третий этаж другого дома, находящегося в прямой видимости, требуется передавать сигналы системы ОПС. И вдруг выясняется, что на расстоянии всего каких-нибудь 200–300 м внутри дворовой территории сигнала нет. Использование направленных антенн тоже результата не дает. Поэтому так важно, чтобы монтаж беспроводной системы производился только специалистами, учитывающими все нюансы оснащаемого объекта и прилегающей к нему территории.

Коснемся еще одной особенности распространения радиоволн. Практически все имеющиеся методики оценки радиоинтервалов, в том числе модель зон Френеля, применимы к так называемой дальней зоне электромагнитного поля. В ближней же зоне, которую еще называют областью статического поля, переноса энергии не происходит, и излучение отсутствует. Ближняя зона характеризуется наличием только электрического поля и высоким волновым сопротивлением. Вследствие этого любой токопроводящий предмет, вносимый в ближнюю зону, изменяет распределение электрического потенциала, и, как следствие, это приводит к значительному изменению диаграммы направленности излучающих устройств [5].

Как ни странно, но строительные конструкции, к которым крепятся беспроводные технические средства, являются частично токопроводящими и вносят свой вклад в распределение электромагнитного поля в пространстве. В кирпичных стенах еще могут находиться металлические кладочные сетки, в потолочных перекрытиях — арматура. Поэтому, каким бы парадоксальным это ни казалось, небольшое смещение в пространстве беспроводных устройств оказывает значительное влияние на качество связи.

Вероятность возникновения рассмотренных ситуаций невелика, но если у одного из сотни установленных беспроводных извещателей будет выявлено низкое качество связи при минимальном расстоянии до приемно-контрольного прибора, то уместно лишний раз вспомнить о надежности беспроводных систем и своевременно удостовериться в качестве ее исполнения.

С другой стороны, если в оборудовании предусмотрена возможность автоматической смены рабочих частот и разнесенный радиоприем, то риск столкнуться с описанными ситуациями минимален. Эти возможности целесообразно учитывать непосредственно при выборе самих технических средств.

Вполне вероятно, что большинство специалистов, работающих с беспроводными системами, никогда не столкнутся с перечисленными особенностями радиоканала. Но, как говорится, “предупрежден — значит, вооружен!”. И именно опыт мобильной со-

товой связи наглядно доказал, что радиоканал, действительно, может являться надежной альтернативой проводным системам.

С технической точки зрения очень важно уже на этапе проектирования оценить надежность и эффективность системы пожарной сигнализации и предусмотреть возможные меры ее повышения.

Важное техническое требование для любой системы оповещения и управления эвакуацией — соблюдение мер по обеспечению надежности ее функционирования: аппаратный контроль целостности линий (шлейфов) оповещателей, контроль работоспособности управляющих и питающих устройств и т. д. Применяемые технические средства оповещения должны иметь соответствующее исполнение, а провода и кабели соединительных линий — прокладываться в строительных конструкциях, коробах или каналах из негорючих материалов. Повышенные требования к работоспособности системы объясняются тем, что она должна функционировать в течение времени, необходимого и достаточного для завершения эвакуации людей из здания.

Выводы

В настоящее время наиболее перспективным направлением в области обеспечения противопожарной безопасности является беспроводная пожарная сигнализация объектов. И это неслучайно. На объектах, где отсутствует возможность прокладки традиционных кабельных трасс (музеи, выставочные комплексы, памятники архитектуры, храмы и др.), беспроводная пожарная сигнализация позволит обеспечить выполнение требований по их противопожарной защите. Кроме того, установка беспроводной пожарной сигнализации позволит значительно снизить сроки выполнения монтажных работ.

Если установка пожарной сигнализации выполнена с нарушениями, то в случае пожара может возникнуть ситуация, когда кабель перегорит раньше, чем система обнаружит очаг возгорания. Современная беспроводная пожарная сигнализация позволя-

ет, благодаря непрерывной связи между устройствами системы, контролировать динамику развития пожара, в том числе появление вторичных очагов возгорания, и оперативно управлять эвакуацией и оповещением о пожаре, регулировать ее проведение с учетом динамики развития пожара.

Трагические события в интернатах, домах престарелых и общежитиях, происшедшие на территории России в последние пять лет, еще раз показали, что очень часто при пожаре люди гибнут не от огня, а от дыма. Для своевременной эвакуации людей необходимо непрерывно получать информацию о задымлении помещений во время пожара. Огонь и дым могут распространяться по воздуховодам, межэтажным перекрытиям. Обстановка меняется очень быстро. Тем временем проводные системы сигнализации могут выйти из строя еще на начальной стадии развития пожара. Если, к примеру, перегорят провода, то управлять эвакуацией, например, многоэтажной больницы станет невозможно.

Системы пожарной сигнализации на базе радиоканальной системы “Стрелец” по своей надежности и функциональности, удобству и трудозатратам на монтаж значительно превосходят проводные пожарные системы. Кроме того, обеспечивается уникальная возможность оперативно управлять эвакуацией людей на любой стадии развития пожара.

Повышение эффективности беспроводной СОУЭ достигается за счет работы в диалоговом режиме всех устройств системы, использования резервных каналов связи, постоянной самодиагностики устройств, входящих в систему, а также контроля качества радиосвязи между устройствами. С учетом вышеописанного можно отметить, что беспроводная пожарная сигнализация обеспечивает не менее высокую надежность в работе, чем традиционные проводные системы. Как показывает практика, в настоящее время беспроводная пожарная сигнализация по стоимости сопоставима с проводной сигнализацией, а в некоторых случаях (на объектах большого объема и протяженности) оказывается даже дешевле.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ; принят Гос. Думой 04.07.2008 г.; одобрен Сов. Федерации 11.07.2008 г. // Собр. законодательства РФ. — 2008. — № 30 (ч. I), ст. 3579.
2. СП 3.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Требования пожарной безопасности : приказ МЧС России от 25.03.2009 г. № 173; введен 01.05.2009. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.
3. Ульянов В. А. Экономические аспекты выбора систем оповещения и управления эвакуацией // Пожарная безопасность в строительстве. — 2010. — № 5. — С. 38–49.
4. Якунькин Д. Техническое проектирование систем оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре // Алгоритм безопасности. — 2006. — № 4. — С. 64–67.

5. Елькин М. С. Работа беспроводных систем ОПС на открытых интервалах вне помещений // Системы безопасности. — 2011. — № 1. — С. 134–135.

Материал поступил в редакцию 16 мая 2013 г.

English

COMPARISON OF EFFICIENCY BETWEEN WIRED AND WIRELESS EVACUATION CONTROL AND ALARM SYSTEMS

HOANG THO DUC, Postgraduate Student of Department of Complex Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail address: duc_pccc@mail.ru)

KOROL'CHENKO A. Ya., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Department of Complex Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation)

ABSTRACT

Given concept of reliability and viability of fire alarm. Wired and wireless systems of warning and management (WSEM) are compared on two criteria — viability and economic efficiency. The work presents not only theoretical but also practical comparison. Despite the fact that during growing demand of market, radio channel equipment is more expensive than wired, mounting one, it can be significantly profitable using wireless system. Practice shows that average price of the equipment per square meter under the contract for the design, supply, installation and commissioning of specific object will be the same for both wired and radio channel system, and in some cases it is even cheaper. From a technical point of view it is very important at the design stage to assess the reliability and effectiveness of fire alarm system and provide possible measures to improve it. Conclusion is made by comparing the efficiency of these systems and increase efficiency of wireless warning system and evacuation and the most promising area in the field of fire safety is a wireless fire alarm facilities.

Keywords: evacuation control and alarm systems viability; economic efficiency of WSEM; efficiency of wireless WSEM.

REFERENCES

1. Technical Regulations on Fire Safety: Law of Russian Federation on 22.07.2008 No. 123. *Sobraniye zakonodatelstva RF — Collection of Laws of the Russian Federation*, 2008, no. 30 (part I), art. 3579 (in Russian).
2. Set of rules No. 3.13130.2009. Systems of fire protection. System of annunciation and management of human evacuation at fire. Requirements of fire safety. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2009 (in Russian).
3. Ulyanov V. A. Ekonomicheskiye aspekty vybora sistem opoveshcheniya i upravleniya evakuatsiyey [Economic aspects of selection of warning systems and evacuation management]. *Pozharnaya bezopasnost v stroitelstve — Fire Safety in Construction*, 2010, no. 5, pp. 38–49.
4. Yakunkin D. Tekhnicheskoye proektirovaniye sistem opoveshcheniya i upravleniya evakuatsiyey lyudey pri pozhare [Technical design of systems of warning and evacuation management in case of fire]. *Algoritm bezopasnosti — Algorithm Security*, 2006, no. 4, pp. 64–67.
5. Yelkin M. S. Rabota besprovodnykh sistem OPS na otkrytykh intervalakh vne pomeshcheniy [Operation of wireless security and fire warning systems on open intervals outdoors]. *Sistemy bezopasnosti — Security Systems*, 2011, no. 1, pp. 134–135.

УДК 614.8:661.48

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЕРФТОРИРОВАННЫХ ПАВ В ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЯХ — “ВТОРОЕ ПРИШЕСТВИЕ” ГАЛОГЕНОРГАНИКИ С НАИХУДШИМ СЦЕНАРИЕМ РАЗВИТИЯ ДЛЯ ОБИТАТЕЛЕЙ ЗЕМЛИ

© **В. В. БОЧАРОВ**, д-р биол. наук, канд. хим. наук, профессор кафедры общей химии НИУ “Белгородский государственный университет” (Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85; e-mail: bocharov25@gmail.com)

© **М. В. РАЕВСКАЯ**, старший преподаватель кафедры естественно-математического образования ОГАОУ ДПО “Белгородский институт развития образования” (Россия, 308007, г. Белгород, ул. Студенческая, 14, корп. 4), аспирант кафедры общей химии НИУ “Белгородский государственный университет” (Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85)

В 1992 г. в Рио-де-Жанейро на конференции ООН по окружающей среде и развитию была предложена концепция “устойчивого развития общества”, а лозунг “Мысли глобально, действуй локально”, казалось, станет актуальным на многие годы вперед. Однако что мы наблюдаем сегодня? Нежелание крупных мировых компаний отказаться от прибыли в пользу экологической безопасности, манипулирование общественным сознанием, некомпетентность и недальновидность ряда представителей научного сообщества в экологической тематике. Иллюстрацией этого может служить ситуация, которая сложилась вокруг проблемы использования пенообразователей для пожаротушения на основе перфторированных ПАВ (далее — перфторПАВ).

В качестве примера манипулирования сознанием (даже специалиста по пенообразователям) можно привести статью И. Ф. Безродного, в которой автор, опираясь на рекламу производителей и не проанализировав современное состояние проблемы, активно пропагандирует использование перфторПАВ в пожаротушении, не обращая внимания на чрезвычайно высокую опасность данных соединений и метаболитов, обусловленную их абсолютной неспособностью к биоразложению, гидролизу и фотолизу. По мнению автора [1], перфторПАВ применяют в малых количествах (0,02 % от объемов углеводородных ПАВ, используемых в производстве синтетических моющих средств и товаров бытовой химии, содержание же в воде водоемов не только перфторПАВ, но и углеводородных ПАВ, никем не контролируется).

Напомним, что первым признаком превышения предельно допустимой концентрации ПАВ (ПДК_{ПАВ}) (от 0,1 до 0,5 мг/л) в воде водоемов является образование на поверхности воды пены. Поэтому, пока на поверхности водоемов нет пены, все нормально. При этом ПДК_{ПАВ вод} совпадает или в 5–15 раз ниже ПДК для рыб и гидробионтов и в 25–50 раз ниже

ПДК для животных (по санитарно-токсикологическому признаку вредности), что обуславливает надежность ПДК_{ПАВ}, устанавливаемых по порогу пенообразования.

Уроки истории или чему нас должен научить опыт использования ДДТ

Рассматривая вопрос об использовании перфторПАВ в составах пенообразователей, следует провести аналогию с “победным” применением инсектицида ДДТ, который был отмечен в 1948 г. Нобелевской премией “как универсальный высокоэффективный контактный яд”. С момента первого использования ДДТ (1939 г.) и в течение последующих 30–35 лет мир быстро приобрел “положительный” опыт его применения. Кроме пользы от использования его в быту (против мух, тараканов, моли) и в сельском хозяйстве (против колорадского жука и тли), ДДТ общепризнан в мире как средство, предотвратившее в 1938–1965 гг. эпидемии тифа в Неаполе, малярии в Греции и Индии, висцерального лейшманиоза в Индии (спасены от смерти более 10 млн. человек). Кроме того, использование его в сельском хозяйстве значительно повысило урожай и стало ключевым фактором в развитии так называемой “зеленой революции”. Этот опыт не только привел к росту производства и применения ДДТ, но и позволил сформировать представление о нем как о безвредном средстве, что обусловило безалаберность при его использовании и халатное отношение к нормам санитарно-гигиенической безопасности.

Пик применения ДДТ (почти 80 тыс. т) пришелся на 1962 г., после чего объемы его производства начали падать. Причиной этому явилась развернувшаяся во всем мире дискуссия по вопросу о вредном влиянии ДДТ на функцию воспроизводства у птиц. При этом отметим, что дозы и концентрации ДДТ, применявшиеся в медицине и сельском хозяй-

стве, для человека были безвредны. Они не вызывали серьезных побочных эффектов у человека ни сразу, ни после длительного контакта с ним. Усугубляющим фактором стала чрезвычайно высокая стабильность молекул ДДТ к биотической и физико-химической деградации. Высокая токсичность ДДТ для водных беспозвоночных при остром воздействии составляет всего 0,3 мкг/л, причем токсические эффекты пролонгированы и проявляются в нарушениях репродуктивной функции. Попадая в пищевую цепь, ДДТ обращается в ней в неизменном виде и накапливается в значительных количествах сначала в растениях, а затем и в теплокровных животных (в том числе в человеческом организме). ДДТ был обнаружен даже в Антарктике, в тысячах километрах от ближайших мест применения этого химиката [2, 3].

Горькая ирония заключается в том, что пока экологи разбирались с ДДТ, они пропустили производство и применение на порядок более опасных перфторПАВ, которые не только чрезвычайно стабильны в воде и почве, т. е. устойчивы к деградации под воздействием биохимических и физико-химических факторов, но и из-за своих поверхностно-активных свойств обладают выраженной субхронической токсичностью для теплокровных, в том числе для человека.

Экологические риски при использовании перфторированных ПАВ в составе пенообразователей

Перфтороктансульфонаты (ПФОС) и их производные стали применяться в ряде отраслей, в том числе в составах пенообразователей для пожаротушения, в Европе в 60-е годы, в РФ — более 20 лет назад. ПФОС вводятся в пенообразователи специального назначения для пожаротушения ЛВЖ (фтор-синтетические пленкообразующие (AFFF) и фтор-протеиновые пленкообразующие (FFFP)) в количестве 0,5–5,0 %. В отличие от других сфер применения перфторПАВ в ходе тушения пожаров, попадая в почву и воду, остаются там в неизменном виде и, мигрируя по пищевым цепям, кумулируются в растениях и живых организмах.

Обоснованную тревогу по поводу использования перфторированных ПАВ экологи забили примерно 15 лет назад, после того как ПФОС и их производные были обнаружены в биоте Арктики [4], а также в крови морских млекопитающих и даже людей [5].

Эти факты инициировали комплексные исследования механизмов биоразлагаемости и токсичности данных соединений, которые проводились под эгидой таких организаций, как ОЭРС, ЮНЕП и др. Для ПФОС и перфтороктанкарбоксилатов (ПФОА) было установлено, что они не биоразлагаются ни в аэроб-

ных, ни в анаэробных условиях; не гидролизуются в водной среде (в интервале pH 1,5–11,0 при температуре до 50 °C; период же полураспада их при гидролизе превышает 41 год, т. е. продолжительность их существования в неизменном виде не менее 246 лет!); признаков прямого или косвенного фотолитического разложения их в водной среде не наблюдается ни при каких экспериментальных условиях. При этом ПФОС и ПФОА являются достаточно токсичными веществами, которые легко кумулируются в жировых тканях и серозных оболочках животных и человека [6].

До 2003 г. исходные продукты для синтеза перфторПАВ получали электрохимическим фторированием алкансульфинов, после 2003 г. — теломеризацией перфторэтилена (рис. 1). По первой технологии образуется до 30 % соединений с разветвленной углеродной цепью и количеством атомов углерода 4, 5, 6, 7, 8, 9; по второй — продукты линейного строения с количеством атомов углерода в цепи 6, 8, 10, 12 (реже 14) [7]. Ранее считалось, что продукты, полученные электрохимическим способом, более опасны с экологической точки зрения, однако сегодня установлено, что оба способа несут в себе равнозначные экологические риски, обусловленные стабильностью, миграцией и кумуляцией перфторПАВ и метаболитов в окружающей среде [8].

Присоединив к гидрофобному линейному перфтортеломеру углеводородные гидрофильные фрагменты (этилсульфобетаиновую или спиртовую группу), химики-синтики “отрапортовали” о значительном улучшении биоразлагаемости и снижении токсичности названных продуктов [9], которые, по их мнению, стали намного безопаснее ПФОС, произведенных методом электрохимического фторирования. Однако эти данные противоречивы (табл. 1).

При исследовании механизмов биоразложения различных классов перфторированных соединений, содержащих нефторированные фрагменты (перфтортеломерные спирты и кислоты, перфторалкилсульфонамиды, перфторалкилпроизводные бетаинов), установлено [10], что во всех случаях конечными продуктами биоразложения являются перфторированные алкансульфонаты и алканкарбоксилаты, т. е. биоассимилируется только углеводородная часть модифицированной молекулы перфторПАВ. Образовавшиеся же перфторалкансульфонаты и перфторалканкарбоксилаты остаются в неизменном виде и в зависимости от количества атомов углерода с большей или меньшей скоростью кумулируются живыми организмами, мигрируя по пищевым цепочкам [8].

Следовательно, какими бы ни были показатели токсичности перфторированных ПАВ с углеводородными нефторированными фрагментами, полученными по разным технологиям, в конечном счете

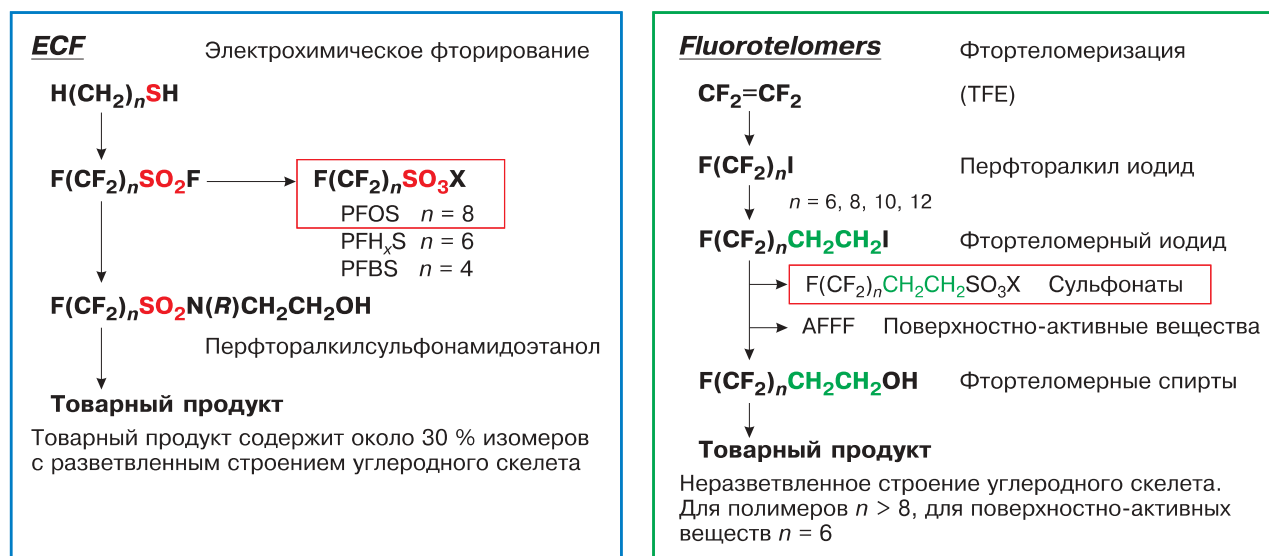


Рис. 1. Принципиальные схемы производства современных перфторПАВ — компонентов концентратов специальных пенообразователей для пожаротушения [9]

они превращаются в наиболее токсичные продукты их метаболизма.

Из схемы на рис. 2 следует, что количество молей перфторПАВ в системе остается неизменным, а токсичность их метаболитов по мере биоассимиляции углеводородных фрагментов увеличивается в 200–1000 раз. Для справки: в РФ за 20 лет использовано в пенообразователях примерно $30 \cdot 20 = 600$ т перфторПАВ, что соответствует $600 \cdot 10^9$ мг/(262 мг/кг·60 кг) $\approx$

≈ 38 млн. *субхроническим дозам для человека, которые могут привести к заболеванию и смерти.*

По-прежнему существуют серьезные проблемы, обусловленные потенциальной и реальной опасностью перфторПАВ, а отказ от их использования принимается как превентивная мера.

25 января 2006 г. Агентство по охране окружающей среды США объявило о программе добровольного сокращения выбросов ПФОС и в дальнейшем

Таблица 1. Показатели биоразлагаемости ПАВ-содержащих составов, определенные различными методами

Торговое наименование пенообразователя; его состав, % масс.	Биоразлагаемость	
	по ГОСТ Р 50595–93	по OECD 301 A-F (из паспортов безопасности в редакции производителя)
Forafac® 1157N: натрия перфторгексилэтилсульфонамидобетаины — 0,3–0,5; натрия алкилсульфаты фр. C ₈ –C ₁₀ — 14–28; этиленгликоль — 9,0–12,5; полезные добавки; вода — до 100	1) $T_{\text{инд}}$, сут: углеводородные компоненты — 11 ± 1 , перфторПАВ — более 60; 2) МНК _а , мг/л: по товарному — 75, по перфторПАВ — ≈ 1 ; 4-й класс (чрезвычайно медленно разлагаемые); 3) $X_{\text{полн}}^{28}$, % масс.: углеводородных ПАВ — 93 ± 2 . Метаболиты (ПФГС и ПФГА) не разлагаются	В соответствии с результатами испытаний биологического разложения данный продукт не считается легко разлагаемым
FLUOEX SC (Fire Fighting Foam Concentrate 3FFF): перфторПАВ — 3–5; алкилсульфаты фр. C ₈ –C ₁₂ — 14–28; этиленгликоль — 9,0–12,5; вода — до 100	1) $T_{\text{инд}}$, сут: углеводородные компоненты — 11 ± 1 , перфторПАВ — более 60; 2) МНК _а , мг/л: по товарному — 15, по перфторПАВ — ≈ 1 ; 4-й класс (чрезвычайно медленно разлагаемые); 3) $X_{\text{полн}}^{28}$, % масс.: углеводородных ПАВ — 93 ± 2 . Метаболиты (ПФГС и ПФГА) не разлагаются	Легко биоразлагаемый пенообразователь (79 % через 5 дней), если сбрасывается в воду. Перфторированные органические соединения сохраняются в окружающей среде и биоаккумулируются в живых существах
Chemische Fabrik Pirna-Copitz GmbH: Finiflam allround F-15 Expyrol A3F 6 % Finiflam A3F/A	1) $T_{\text{инд}}$, сут: перфторПАВ — более 60; 2) МНК _а , мг/л: по товарному — 15, по перфторПАВ — ≈ 1 ; 4-й класс (чрезвычайно медленно разлагаемые). Метаболиты (ПФГС и ПФГА) не разлагаются	Биоразлагаемость: хорошая — 5 дней, 66 % хорошая — 11 дней, 72 % отличная — 25 дней, 99 %

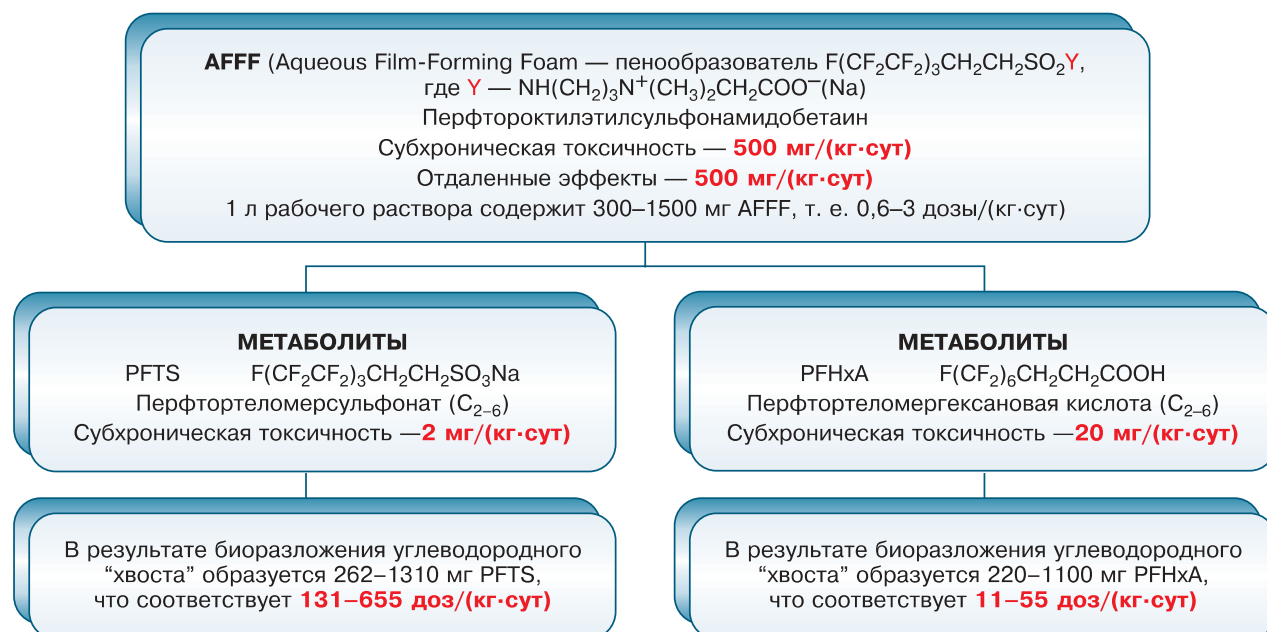


Рис. 2. Повышение токсичности метаболитов перфторПАВ в результате биоразложения их углеводородных фрагментов

(к 2015 г.) о прекращении их использования как таковых, разрешив, однако, их применение в качестве промежуточных химических продуктов для производства других веществ. А 15 февраля 2006 г. Научно-консультативный совет Агентства проголосовал за то, чтобы одобрить рекомендацию, заключающуюся в том, что ПФОС и ПФОА “следует считать скорее всего канцерогенами”. На шестом совещании комитета по рассмотрению стойких органических загрязнителей при ООН (Женева, 11–15 октября 2010 г.) было принято “Руководство по альтернативам перфтороктановой сульфоновой кислоте и ее производным” [11].

Казалось бы, предприняты очень важные шаги на пути решения экологических проблем, связанных с пенообразователями. Тем не менее возник ряд вопросов. Например, в связи с тем что в ЕС, США, Канаде запасы пенообразователей на основе ПФОС велики [11] и срок их хранения составляет 10–15 лет, а утилизация стоит достаточно дорого, напрашивается вывод: не стали ли производители под различными предлогами искать новые рынки сбыта для своего товара (в том числе в России). Возможно, по этой причине количество производителей пенообразователей с перфторПАВ в РФ увеличилось более чем в 3 раза, тогда как в недавнем прошлом пенообразователи выпускались на семи предприятиях. Уменьшение же длины фрагмента $-C_nF_{2n+1}$ в молекуле перфторПАВ с целью снижения их токсичности нельзя назвать положительной мерой, так как укорачивание перфторалкильной части молекулы приведет к соответствующему снижению скоростей их гидролиза (единственно возможного способа деградации для таких соединений).

Цель настоящей работы — сравнительная оценка биоразлагаемости современных пенообразователей для пожаротушения из углеводородных ПАВ и содержащихся в них дополнительно перфторированных ПАВ.

Методы определения биоразлагаемости

Методы определения биоразлагаемости (EN ISO 11733:2004 и 14593:1999), используемые в ЕС, в силу ряда причин методического характера не позволяют дифференцировать ПАВ по способности их к биоразложению.

В отличие от названных методов ЕС определение показателей биоразлагаемости ПАВ по ГОСТ Р 50595 [12] проводят с использованием как минимум двух модельных аэротенков (контрольного и опытного), функционирующих в непрерывном проточном режиме нормальных условий работы биологических очистных сооружений. В аэротенки загружают $(2,7 \pm 0,3)$ г/дм³ неадаптированного активного ила (специально культивируемого на синтетической сточной воде (ССВ) стандартного состава) и на вход подают ССВ. В ССВ, подаваемую в опытный аэротенк, вводят ПАВ (или ПАВ-содержащий состав) с постоянной массовой концентрацией $C_{ПАВвх} = \text{const}$ в течение 30-суточного периода испытаний; периодически измеряют остаточные массовые концентрации ПАВ ($C_{ПАВвых}$ и $ХПК_{вых}$) в очищенной воде из опытного аэротенка, а также $ХПК_{вых(конт)}$ очищенной сточной воды контрольного аэротенка; поддерживают концентрацию активного ила в указанном интервале; контролируют показатели функционирования активного ила в опытном и контрольном аэротенках. По результатам анализов очищен-

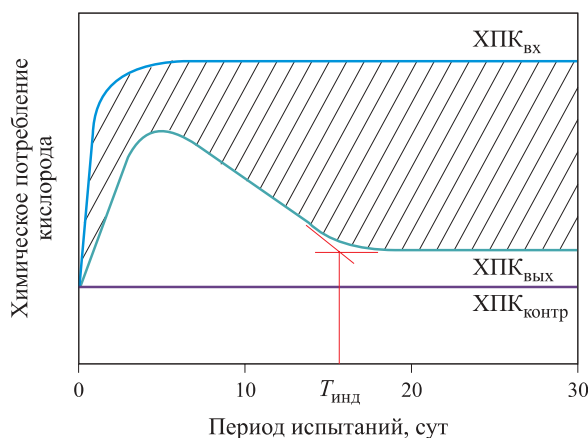


Рис. 3. Типичный график временной зависимости полной биоразлагаемости ПАВ

ной сточной воды строят временные зависимости процесса биоразложения $\Delta\text{ХПК}_{\text{вых}} = f(t)$ (рис. 3).

Из графиков временных зависимостей (см. рис. 3) вычисляются следующие показатели биоразлагаемости (биоассимиляции) ПАВ:

1) *продолжительность индукционного периода* $T_{\text{инд}}$ (сут), в течение которого неадаптированный активный ил адаптируется к испытуемому ПАВ (или ПАВ-содержащему составу).

Определение величины $T_{\text{инд}}$ сводится к нахождению той области функций $(\Delta\text{ХПК}_{\text{вых}}, t)$, в которой зависимости $\Delta\text{ХПК}_{\text{вых}} = f(t)$ через перегиб выходят на плато.

Величина $T_{\text{инд}}$, определенная в стандартных условиях, является специфической характеристикой способности молекул испытуемого ПАВ к биоассимиляции. По продолжительности индукционного периода (сут) устанавливается класс биоразлагаемости ПАВ: быстрорастворяемые — до 3 (включ.); умеренно разлагаемые — свыше 3 до 10 (включ.); медленно разлагаемые — свыше 10 до 25 (включ.); чрезвычайно медленно разлагаемые — более 25;

2) *максимальная не действующая массовая концентрация ПАВ в синтетической сточной воде* МНК_a (мг/дм³) — концентрация ПАВ, не вызывающая нарушений режимов функционирования аэротенка в течение 30-суточного периода испытаний. Отклонения МНК_a для составов на основе ПАВ от ее величины для этого же ПАВ без добавок позволяют судить о негативном (или позитивном) влиянии компонентов состава на биоразлагаемость испытуемого ПАВ;

3) *степень полного* $X_{\text{полн}}^{28}$ (и/или *первичного* $X_{\text{перв}}^{28}$) *биоразложения ПАВ* (% масс. от суммарно поданного в систему ПАВ) *неадаптированным активным илом за 28 сут* (заштрихованные области на рис. 3) для санкционирования допуска ПАВ (или ПАВ-содержащих составов) к обращению на рынке. При этом значение $X_{\text{полн}}^{28}$ должно быть не менее 70 % (по изъятию ХПК).

Компоненты современных пенообразователей, используемых в РФ для пожаротушения

В табл. 2 приведены основные компоненты, используемые в пенообразователях, и показатели их биоразлагаемости.

Результаты определения биоразлагаемости синтетических пенообразователей на основе углеводородных и перфторированных ПАВ

На рис. 4 представлены сравнительные данные по биоразлагаемости пенообразователя первого поколения ПО-6К, современных синтетических пенообразователей второго поколения — с углеводородными ПАВ (ТЭАС, ПО-6ЦС, ПО-6ТС) и третьего поколения — с перфторПАВ (ПО-3ТФ, ПО-6FFFFP, Тимэкс, Genex).

Из рис. 4 следует, что пенообразователь *первого поколения* ПО-6К (алкилбензолсульфонаты на керосиновой фракции) имеет: $\text{МНК}_a = 100$ мг/л; $T_{\text{инд}} > 30$ сут, т. е. ПО-6К является чрезвычайно медленно разлагаемым (“биологически жестким”) ПАВ.

Современные пенообразователи *второго поколения*: ТЭАС (триэтаноламина алкилсульфаты фр. $\text{C}_8\text{--C}_{10}$, натрия сульфозетоксилаты), ПО-6ЦТ (триэтаноламина алкилсульфаты, натрия альфа-олефинсульфонаты, карбитолы) и ПО-6ТС (триэ-

Таблица 2. Компоненты, используемые в пенообразователях, с показателями их биоразлагаемости

ПАВ и другие компоненты	Содержание, % масс.	Показатель биоразлагаемости	
		$T_{\text{инд}}$, сут	МНК_a , мг/л
Триэтаноламина (или натрия) алкилсульфаты фр. $\text{C}_8\text{--C}_{14}$	1–40	1–3	100–150
Натрия альфа-олефин-сульфонаты фр. $\text{C}_{12}\text{--C}_{14}$	1–11	2–3	50–100
Натрия алкилполиоксидэтилен(3)сульфаты фр. $\text{C}_{12}\text{--C}_{14}$	1–11	5–6	30–40
Алкилдиметиламин-оксиды фр. $\text{C}_{12}\text{--C}_{14}$	1–5	3–5	30–40
Гидролизаты коллагена (белка)		1–3	100
Бутанол	1–9	5–6	40–50
Карбитолы — моноалкиловые эфиры этиленгликоля	0,5–6	5–6	40–50
Этиленгликоль	1–4	1–3	50
Перфтороктил(гексил)-этилсульфонамидобетайны или другие перфторПАВ	0,5–5	Не биоразлагаются	≈1

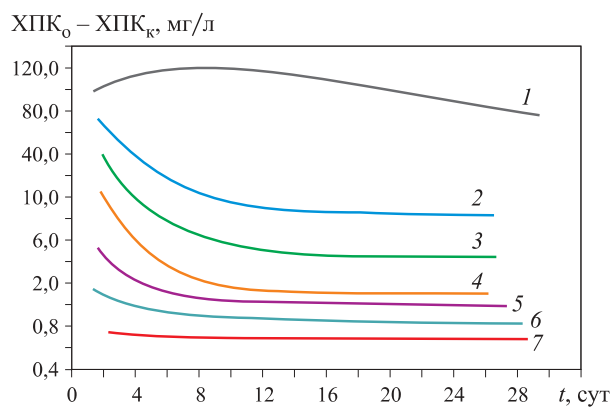


Рис. 4. Временные зависимости процессов биоразложения пенообразователей по ГОСТ Р 50595 при концентрациях, равных МНК_а: 1 — ПО-6К (МНК_а = 150 мг/л); 2 — ТЭАС (МНК_а = 150 мг/л); 3 — ПО-6ЦТ (МНК_а = 60 мг/л); 4 — ПО-6ТС (МНК_а = 75 мг/л); 5 — Тимэкс (МНК_а = 20 мг/л); 6 — Genex (МНК_а = 10 мг/л); 7 — ПО-3ТФ (МНК_а = 12 мг/л), ПО-6FFFF (МНК_а = 14 мг/л)

ноламина алкилсульфаты, натрия сульфэтоксилаты, натрия альфа-олефинсульфонаты, ПЭГ, гликоли, карбитолы) — также имеют: МНК_а = 70÷150 мг/л, $T_{\text{инд}} = 3\div 7$ сут (в 5–10 раз меньше, чем у ПО-6К), т. е. относятся к быстро и умеренно разлагаемым. Пенообразователи *третьего поколения*, содержащие перфторПАВ (ПО-3ТФ, ПО-6FFFF, Тимэкс), имеют: МНК_а = 10÷30 (ед. ХПК), а в пересчете на перфторПАВ — МНК_а ≈ 1 мг/л и $T_{\text{инд}} = \infty$. При этом у всех углеводородных пенообразователей по завершении индукционного периода $T_{\text{инд}}$ пенообразование прекращается, а у пенообразователей на основе перфторПАВ, несмотря на то что $\Delta\text{ХПК} \approx 0$, пенообразование продолжается, что свидетельствует о наличии в очищенной воде перфторПАВ. На рис. 5 приведены данные по высоте столба пены в аэротенках, зафиксированные при испытаниях пенообразователей, содержащих перфторПАВ, и концентратов, из которых были приготовлены товарные пенообразователи. Было установлено, что МНК_а пенообразователей, содержащих перфторПАВ, и их концентратов на входе аэротенка были равны по перфторПАВ примерно 1 мг/л (или по $\text{ХПК}_{\text{вх.тов}}$ — 10÷30 мг/л). В результате биоразложения пенообразователей или их концентратов активным илом в аэротенках, содержащих наряду с перфторПАВ алкилсульфаты, углеводородные ПАВ (алкилсульфаты) и углеводородная часть молекул Forafac® 1157N и FLUOEX SC (бетаиновая) биоассимилируются, а образовавшиеся метаболиты (перфтороктан(гексан)сульфоокислоты и перфтороктан(гексан)карбоновые кислоты) остаются в неизменном виде. Доступного достоверного метода их количественного определения в очищенной сточной воде при концентрации менее 1 мг/л у нас не было (они не реагируют с хромовой смесью, а $\Delta\text{ХПК}_{\text{вых}} \approx 0$). По-

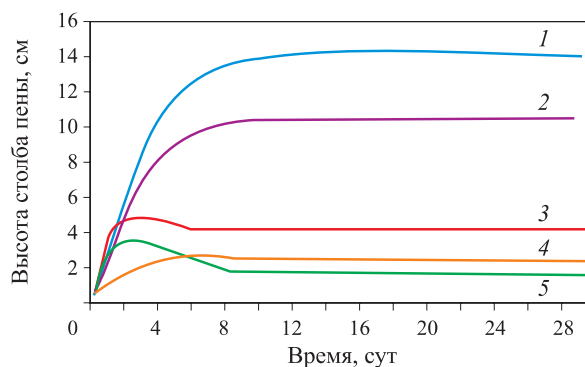


Рис. 5. Временные зависимости биоразложения при определении биоразлагаемости пенообразователей на основе перфторПАВ: 1 — концентрат Тимэкс Forafac 1157N ($C_{\text{вх}} = 1$ мг/л (по перфторПАВ), $\text{ХПК}_{\text{вх}} = 10$ мг/л); 2 — Тимэкс AFFF ($C_{\text{вх}} = 100$ мг/л, $\text{ХПК}_{\text{вх}} = 42$ мг/л); 3 — ПО-3ТФ ($C_{\text{вх}} = 15$ мг/л, $\text{ХПК}_{\text{вх}} = 10$ мг/л); 4 — концентрат перфторПАВ для ПО-3ТФ ($C_{\text{вх}} = 1$ мг/л (по перфторПАВ), $\text{ХПК}_{\text{вх}} = 10$ мг/л); 5 — ПО-6FFFF ($C_{\text{вх}} = 30$ мг/л, $\text{ХПК}_{\text{вх}} = 20$ мг/л)



Рис. 6. Высота столба пены (14–15 см) в опытном аэротенке (708/1) с 1-х по 60-е сутки проведения эксперимента по оценке биоразлагаемости концентрата Forafac 1157N (перфторгексилэтилсульфонамидобетаин, $C_{\text{вх}} = 1$ мг/л по перфторПАВ, $\text{ХПК}_{\text{вх}} = 10$ мг/л; $\Delta\text{ХПК}_{\text{вых}} = 0$)

этому в качестве индикатора присутствия перфторПАВ в очищенной в аэротенке воде использовалась высота столба пены в нем, которая фиксировалась ежедневно в течение 30-суточного периода испытаний. Напоминаем, что при достижении адаптации активного ила к углеводородным ПАВ в аэротенке *пенообразование всегда прекращается*. Кроме того, практически для 98 % ПАВ ПДК в воде водоемов хозяйственно-бытового назначения установлены по пороговой концентрации пенообразования. Как видно из рис. 5, в течение всего периода испытаний (с 1-х по 30-е сутки) пена в аэротенках не исчезала, т. е. адаптации ила к перфторПАВ не происходит.

На рис. 6 приведен фотоснимок аэротенка, в который в течение 60 сут (на 30 сут больше, чем требуется по ГОСТ Р) подавали концентрат пенообразо-

вателя концентрата Forafac 1157N, что свидетельствует об отсутствии адаптации в течение этого времени.

Таким образом, экспериментально установлено, что современные синтетические углеводородные пенообразователи при попадании в объекты окружающей среды биоассимилируются в течение недели. Напротив, пенообразователи, содержащие перфторПАВ, даже модифицированные углеводородными блоками, под воздействием микробного сообщества трансформируются в перфторалкансульфонаты и перфторалканкарбоксилаты, которые не разлагаются глубже под воздействием биохимических и физико-химических факторов в реальном промежутке времени, однако их токсичность по сравнению с исходными продуктами повышается в сотни раз, что представляет чрезвычайную опасность для всего живого.

Выводы

1. Современные синтетические углеводородные пенообразователи имеют $MH_a = 70 \div 150$ мг/л, продолжительность индукционного периода $T_{инд} = 3 \div 7$ сут (т. е. в 5–10 раз меньше, чем у ПО-6К); относятся к быстро и умеренно разлагаемым. Это означает, что при попадании в воду и почву при соответствующем разбавлении они биоассимилируются практически полностью в течение недели и, следовательно, малоопасны для объектов окружающей среды. Пенообразователи же на основе перфторПАВ по сравнению с “биологически жестким” ПО-6К токсичны для микроорганизмов более чем в 150 раз и стабильнее к деградации более чем в 2500 раз (для ПФОС $T_{1/2 \text{ гидролиза}}$ превышает 41 год,

тогда как ПО-6К биоассимилируется примерно за 35–40 сут, т. е. $T_{инд} \approx 40$ сут).

2. Заблокировав гидрофильную часть молекул перфторПАВ углеводородным фрагментом, производители модифицированных перфторПАВ вводят в заблуждение потребителей этих веществ относительно их токсичности и биоразлагаемости. Молекулы перфторПАВ биоассимилируются лишь частично — только до перфторалкансульфонатов и перфторалканкарбоксилатов, токсичность которых на порядки превышает токсичность исходных перфторалканэтилсульфонамидобетайнов. Стабильность же их к распаду в воде под действием различных факторов остается на уровне перфторированного фрагмента. Вышесказанное подтверждает чрезвычайную опасность пенообразователей на основе перфторПАВ (и образующихся из них метаболитов), предназначенных для пожаротушения.

3. Производители пенообразователей с перфторПАВ, а также организации, согласующие, утверждающие НТД на названные пенообразователи и санкционирующие их обращение на рынке, нарушают федеральные законы № 7-ФЗ (ст. 47, пп. 1, 2) [13] и № 52-ФЗ (ст. 14; ст. 18, п. 4; ст. 43, пп. 1, 2) [14]. Для принятия обоснованных решений о возможности и условиях их применения необходимо проведение независимых исследований по обоснованию ПДК перфторПАВ в аккредитованных организациях.

4. Использование для пожаротушения пенообразователей на основе перфторПАВ возможно лишь на объектах, оборудованных соответствующим образом, позволяющих проводить сбор и утилизацию стоков, образующихся после пожаротушения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безродный И. Ф. Экология пожаротушения — пока это только слова... // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 6. — С. 85–89.
2. Toxicology / Eds Marquardt H., Schaefer S. G., McClellan R. O. — San Diego, CA : Academic Press, 1999.
3. ДДТ (инсектицид): история создания, получения, применения. Словари и энциклопедии на Академике. URL : <http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1473761> (дата обращения: 25.07.2013 г.).
4. Martin J. W., Smithwick M. M., Braune B. M., Hoekstra P. F., Muir D. C. G., Mabury S. A. Identification of long-chain perfluorinated acids in biota from the Canadian Arctic // Environ. Sci. Technol. — 2004. — No. 38. — P. 373–380.
5. Kannan K., Corsolini S., Falandysz J., Fillmann G., Kumar K. S., Loganathan B. G., Mohd M. A., Olivero J., van Wouwe N., Yang J. H., Aldous K. M. Perfluorooctanesulfonate and related fluorochemicals in human blood from several countries // Environ. Sci. Technol. — 2004. — No. 38. — P. 89–95.
6. U. S. Environmental Protection Agency. Long-Chain Perfluorinated Chemicals (PFCs), 12/30/2009. URL : http://www.epa.gov/oppt/existingchemicals/pubs/pfcs_action_plan1230_09.pdf (дата обращения: 25.07.2013 г.).
7. De Voogt P., Berger U., de Coen W., de Wolf W., Heimstad E., McLachlan M., van Leeuwen S., van Roon A. Perfluorinated organic compounds in the European environment (Perforce). Report to the EU. — Amsterdam, Netherlands : University of Amsterdam, 2006. — P. 1–126.

8. Ellis D. A., Martin J. W., De Silva A. O., Mabury S. A., Hurley M. D., Andersen M. P. S., Wallington T. J. Degradation of fluorotelomer alcohols: a likely atmospheric source of perfluorinated carboxylic acids // Environ. Sci. Technol. — 2004. — No. 33. — P. 16–21.
9. DuPont Surface Protection Solutions. DUPONT™ CAPSTONE® Repellents and Surfactants Product Stewardship Detail. URL : http://www2.dupont.com/Capstone/en_US/assets/downloads/K-20614-3_Capstone_Stewardship_Detail_Brochure.pdf (дата обращения: 25.07.2013 г.).
10. Rhoads K. R., Janssen E. M.-L., Luthy R. G., Criddle C. S. Aerobic biotransformation and fate of N-ethyl perfluorooctane sulfonamidoethanol (N-EtFOSE) in activated sludge // Environ. Sci. Technol. — 2008. — No. 42. — P. 2873–2878.
11. Guidance for the Inventory of Perfluorooctane Sulfonic Acid (PFOS) and related Chemicals under the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. UNEP, UNIDO, UNITAR. Version 1. December 2011 (Руководство по инвентаризации перфтороктановой сульфоновой кислоты (ПФОС) и связанных с ней химических веществ в рамках Стокгольмской конвенции о стойких органических загрязнителях. ЮНЕП, ЮНИДО, ЮНИТАР. Версия 1. Декабрь 2011).
12. Бочаров В. В., Перегудин Ю. Ф., Раевская М. В., Рыжкова О. А. 25 лет методу определения биоразлагаемости ПАВ по ГОСТ Р 50595: основные феномены и закономерности, установленные с его использованием // Бытовая химия. — 2012. — № 45. — С. 28–36.
13. Об охране окружающей среды : Федер. закон от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ; принят Гос. Думой 20.12.2001 г.; одобрен Сов. Федерации 26.12.2001 г.; введен 12.01.2002 г. // Российская газета. — Январь 2002.
14. О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения : Федер. закон от 30.03.99 г. № 52-ФЗ; принят Гос. Думой 12.03.99 г.; одобрен Сов. Федерации 17.03.99 г.; введен 06.04.99 г. // Российская газета. — 1999. — № 64–65; Собр. законодательства РФ. — 1999. — № 14.

Материал поступил в редакцию 30 июля 2013 г.



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу

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



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

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

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

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

**ВОПРОС:**

Обязательно ли использовать устройство заземления и контроля (УЗА) на автозаправочных станциях, сливноналивных эстакадах и других объектах нефтеперерабатывающей промышленности?

ОТВЕТ:

На сегодняшний день существует несколько нормативных документов, регламентирующих использование УЗА на объектах нефтеперерабатывающей промышленности.

В первую очередь, это НПБ 111–98* [1]. В п. 71 данного документа указано, что для контроля заземления автоцистерн (АЦ) *рекомендуется* применять специализированные автоматизированные устройства заземления, обеспечивающие автоматическое прекращение наполнения резервуара или включение сигнализации при неисправности системы заземления АЦ. Кроме того, все технологические системы *рекомендуется* оснащать датчиками контроля заряда статического электричества, позволяющими в случае превышения его допустимых значений обеспечивать предупредительную сигнализацию и автоматическое прекращение наполнения резервуара топливом из АЦ. В нормативных документах обычно под словом “рекомендуется” подразумевают, что предложенное решение является одним из лучших, но необязательным (см. п. 1.1.17 [2]). Следовательно, в НПБ [1] применение УЗА носит необязательный характер.

Еще одним документом, предписывающим применение УЗА, является ПОТ РМ-021–2002 [3]. В п. 3.8.12 [3] указано, что АЦ должны иметь устройства для отвода статического электричества при их сливе и наливке, а для контроля заземления АЦ *рекомендуется* применять специализированные автоматизированные устройства заземления, осуществляющие автоматическое прекращение наполнения резервуара или включение сигнализации при неисправности системы заземления АЦ. В п. 5.4.11 [3] сказано, что цистерны во время операций слива-налива легковоспламеняющихся и горючих нефтепродуктов *должны* присоединяться к заземлителям с помощью устройства автоматического контроля заземления с искробезопасным контактным устройством или непосредственно к заземляющему устройству. Слово “должны” носит обязательность выполнения требований данного документа (см. п. 1.1.17 [2]), но союз “или” говорит о возможности выбора между использованием УЗА и прямым присоединением цистерн к заземляющему устройству. Поэтому данный документ [3] не дает однозначного ответа на вопрос об обязательности использования УЗА.

Стоит отметить, что в п. 4.7.21 общих правил взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств¹ [4] при проектировании сливноналивных пунктов СГГ, АВЖ и ГЖ должны предусматриваться, а при проведении сливноналивных операций должны осуществляться меры защиты от атмосферного и статического электричества (при этом конкретные меры не указываются). Для объектов нефтяной и газовой промышленности существуют свои правила безопасности² [5]. В п. 716

данных правил отмечено, что стояки для налива автомобильных или железнодорожных цистерн должны иметь заземляющие устройства и устройство контроля цепи заземления (т. е. УЗА), которое должно срабатывать на отключение насосов в случае разрыва цепи заземления.

Из приведенной выше информации следует, что с точки зрения предписаний нормативных документов УЗА может использоваться в качестве как основного, так и дополнительного способа контроля заземления цистерн при сливе-наливе нефтепродуктов. В случае если УЗА не используется, контроль заземления должен осуществляться самим водителем, выполняющим слив-налив нефтепродуктов (см. п. 13.6 РД 153-39.2-080–01 [6]). Суть контроля заземления водителем сводится к простому визуальному осмотру целостности электрической цепи АЦ — заземляющее устройство. Такой способ контроля, по сути, не дает 100 %-ной уверенности в том, что цистерна заземлена. Именно из-за человеческого фактора зачастую возникают взрывы и пожары на автозаправочных станциях и других объектах нефтеперерабатывающей промышленности. В связи с этим на таких объектах для снижения риска возникновения взрывов и пожаров, а также обеспечения безопасности обслуживающего персонала необходимо использовать УЗА.

Примечания:

¹ Указанные правила вступают в действие с 10 декабря 2013 г.

² Правила безопасности вступают в действие с 18 декабря 2013 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. НПБ 111–98*. Автозаправочные станции. Требования пожарной безопасности : утв. МЧС России 18.06.2003 г.; введ. 18.06.2003 г. — М. : ГУГПС, ВНИИПО МВД России, 1998.
2. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). — 7-е изд. — М. : Изд-во НЦ ЭНАС, 2002.
3. ПОТ РМ-021–2002. Межотраслевые правила по охране труда при эксплуатации нефтебаз, складов ГСМ, стационарных и передвижных автозаправочных станций : утв. постановлением Минтруда РФ от 06.05.2002 г. № 33; введ. 01.09.2002 г. — М. : Минтруда РФ, 2002.
4. Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств : утв. приказом Ростехнадзора от 11.03.2013 г. № 96; введ. 10.12.2013 г. — М. : Ростехнадзор, 2013.
5. Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности : утв. приказом Ростехнадзора от 12.03.2013 г. № 101; введ. 18.12.2013 г. — М. : Ростехнадзор, 2013.
6. РД 153-39.2-080–01. Правила технической эксплуатации автозаправочных станций : утв. приказом Минэнерго РФ от 01.08.2001 г. № 229 (с изм. от 17.06.2003 г.); введ. 01.11.2001 г. — М. : Минэнерго, 2001.

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**

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ!

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

Редакция просит авторов при подготовке рукописи руководствоваться изложенными ниже правилами.

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

2. Материал статьи должен излагаться в следующем порядке.

2.1. Номер УДК (универсальная десятичная классификация).

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

2.3. Информация об авторах.

2.3.1. Имена, отчества и фамилии всех авторов (полностью, на русском языке и в транслитерации). Авторами являются лица, принимавшие участие во всей работе или ее главных разделах. Лица, участвовавшие в работе частично, указываются в сносках.

2.3.2. Степени, звания, должность, адресные сведения о месте работы всех авторов (на русском и английском языках). Здесь необходимо указать: официальное полное название организации вместе с ведомством, к которому оно принадлежит (при переводе — желательно его официально принятый английский вариант), индекс, страну, город, название улицы, номер дома, а также контактные телефоны и электронный адрес хотя бы одного из авторов. Все почтовые сведения на иностранном языке (кроме наименования улицы, которое должно быть в транслитерированном виде) должны быть представлены на английском языке, в том числе название города и страны.

Пример: *Institute for Problem in Mechanics, Russian Academy of Sciences (Prospekt Vernadskogo, 101, 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 (должны излагаться существенные результаты работы; не должен включаться материал, который отсутствует в основной части публикации);
- структурированным (т. е. следовать логике описания результатов в публикации);
- “англоязычным” (написано качественным английским языком; необходимо использовать активный, а не пассивный залог, т. е. “*The study tested*”, но не “*It was tested in this study*”);
- объем текста авторского резюме должен быть не менее 100–250 слов.

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

Результаты работы описывают предельно точно и информативно. Приводятся основные теоретические и экспериментальные результаты, фактические данные, установленные взаимосвязи и закономерности.

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

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

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

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

В авторском резюме не даются ссылки на публикации, приведенные в списке литературы к статье.

2.6. Ключевые слова (на русском и английском языках).

2.7. Текст статьи (в формате Word через 1,5 инт.; формулы должны быть набраны в Equation 3.0 или MathType).

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

Цитируемая литература должна быть оформлена в виде общего списка в порядке цитирования. В тексте ссылка на литературу отмечается порядковой цифрой в квадратных скобках, например [1]. При этом цитируемый один в один текст из других публикаций следует брать в кавычки. Библиографические данные приводятся по титульному листу издания. Порядок изложения элементов библиографического описания определяется требованиями ГОСТ 7.1–2003 и ГОСТ Р 7.0.5–2008.

2.9. Пристайные списки литературы в романском алфавите (латинице) — References.

Для References можно предложить следующий формат:

Author A. A., Author B. B., Author C. C. Title of article. *Title of Journal*, 2005, vol. 10, no. 2, pp. 49–53.

Примеры описаний в References

Статьи из журнала:

Zagurenko A. G., Korotovskikh V. A., Kolesnikov A. A., Timonov A. V., Kardymon D. V. Tekhniko-ekonomicheskaya optimizatsiya dizayna gidrorazryva plasta [Techno-economic optimization of the design of hydraulic fracturing]. *Neftyanoye khozyaystvo — Oil Industry*, 2008, no. 11, pp. 54–57.

(Авторы (транслитерация), название статьи в транслитерированном варианте [перевод названия статьи на английский язык в квадратных скобках] (представление в References только транслитерированного (без перевода) описания недопустимо), курсивом название журнала (транслитерация — перевод), год выхода издания, номер журнала, интервал страниц. Нежелательно в ссылках делать произвольные сокращения названий источников).

Статьи из электронного журнала:

Swaminathan V., Lepkowska-White E., Rao B. P. Browsers or buyers in cyberspace? An investigation of electronic factors influencing electronic exchange. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 1999, vol. 5, no. 2. Available at: <http://www.ascusc.org/jcmc/vol5/issue2/> (Accessed 28 April 2011).

Статьи с DOI:

Zhang Z., Zhu D. Experimental research on the localized electrochemical micro-machining. *Russian Journal of Electrochemistry*, 2008, vol. 44, no. 8, pp. 926–930. doi: 10.1134/S1023193508080077.

(Если описываемая публикация имеет doi, его указание обязательно в References).

Статьи из периодического издания (сборника трудов):

Astakhov M. V., Tagantsev T. V. Eksperimentalnoye issledovaniye prochnosti soyedineniy “stal—kompozit” [Experimental study of the strength of joints “steel—composite”]. *Trudy MGTU “Matematicheskoye modelirovaniye slozhnykh tekhnicheskikh sistem”* [Proc. of the Bauman MSTU “Mathematical Modeling of Complex Technical Systems”], 2006, no. 593, pp. 125–130.

Материалы конференций:

Usmanov T. S., Gusmanov A. A., Mullagalina I. Z., Mukhametshina R. Ju., Chervyakova A. N., Sveshnikov A. V. Osobennosti proyektirovaniya razrabotki mestorozhdeniy s primeneniye gidrorazryva plasta [Features of the design of field development with the use of hydraulic fracturing]. *Trudy 6 Mezhdunarodnogo Simpoziuma “Novyye resursosberegayushchiye tekhnologii nedropolzovaniya i povysheniya neftegazootdachi”* [Proc. 6th Int. Symp. “New Energy Saving Subsoil Technologies and the Increasing of the Oil and Gas Impact”]. Moscow, 2007, pp. 267–272.

Книги (монографии, сборники):

Nenashev M. F. *Posledneye pravitelstvo SSSR* [Last government of the USSR]. Moscow, Krom Publ., 1993. 221 p.

Переводные книги:

Timoshenko S. P., Young D. H., Weaver W. *Vibration problems in engineering*. 4th ed. New York, Wiley, 1974. 521 p. (Russ. ed.: Timoshenko S. P., Iang D. Kh., Uiver U. *Kolebaniya v inzhenernom dele*. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1985. 472 p.).

Интернет-ресурс:

Pravila Tsitirovaniya Istochnikov [Rules for the Citing of Sources] Available at: <http://www.scribd.com/doc/1034528/> (Accessed 7 February 2011).

Диссертации или авторефераты диссертаций:

Semenov V. I. *Matematicheskoye modelirovaniye plazmy v sisteme kompaktnyy tor*. Dis. dokt. fiz.-mat. nauk [Mathematical modeling of the plasma in the compact torus. Dr. phys. and math. sci. diss.]. Moscow, 2003. 272 p.

ГОСТы:

State Standard 8.586.5–2005. Method of measurement. Measurement of flow rate and volume of liquids and gases by means of orifice devices. Moscow, Standartinform Publ., 2007. 10 p. (In Russian).

Описание патента:

Palkin M. V., e. a. *Sposob orientirovaniya po krenu letatel'nogo apparata s opticheskoy golovkoy samonavedeniya* [The way to orient on the roll of aircraft with optical homing head]. Patent RF, no. 2280590, 2006.

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

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

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

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

6. К статьям, авторами которых являются соискатели ученых степеней, следует прилагать рецензию, которая должна быть подписана рецензентом из сторонней организации (с указанием его Ф. И. О., ученого звания, ученой степени, должности, места работы), заверена отделом кадров (ученым секретарем) и печатью.

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

8. Плата за публикацию работ с аспирантов не взимается.

Приглашаем Вас к сотрудничеству на страницах нашего журнала.

28–30 мая

Красноярск

2014



X специализированный форум-выставка



- **Безопасность банковского сектора – NEW**
- Технические средства и системы безопасности
- Инженерно-технические средства физической защиты
- Пожарная безопасность
- Аварийно-спасательное оборудование
- Транспорт
- Экипировка. Индивидуальные средства защиты
- Информационная безопасность

РЕКЛАМА



сибирь
международный
выставочно-деловой центр



Организаторы:



Информационная поддержка:

БЕЗОПАСНОСТЬ
всероссийский специализированный журнал

ПОЖНАУКА
Издательство



МВДЦ «СИБИРЬ»

ул. Авиаторов, 19

тел.: (391) 22-88-400

22-88-611 – круглосуточно

ccb@krasfair.ru, www.krasfair.ru



Пенообразователи

Шторм

Точный расчет на безопасность!



РЕКЛАМА

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

ГЕФЕСТ
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ КОМПАНИЯ

Тел.: (495) 925 51 31
www.gefestnpk.ru
www.shtpena.ru



XIX Международный ФОРУМ®

Технологии Безопасности



**ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЕ
CCTV, IP-РЕШЕНИЯ
ИНТЕГРИРОВАННЫЕ
СИСТЕМЫ**



**КОНТРОЛЬ ДОСТУПА
ОХРАНА ПЕРИМЕТРА
ОХРАННО-ПОЖАРНАЯ
СИГНАЛИЗАЦИЯ**



**АНТИТЕРРОР
ОХРАНА ГРАНИЦЫ
БЕЗОПАСНОСТЬ
НА ТРАНСПОРТЕ**



**ЗАЩИТА СВЯЗИ
И ИНФОРМАЦИИ
БИОМЕТРИЯ
СПЕЦТЕХНИКА**

**ПОЖАРНАЯ ЗАЩИТА
ПОЖАРУТУШЕНИЕ
БЕЗОПАСНОСТЬ
И ОХРАНА ТРУДА**

11-14.02.2014

КРОКУС ЭКСПО / МОСКВА

КОНФЕРЕНЦИИ И СТРАТЕГИЧЕСКИЕ САММИТЫ ПРИ УЧАСТИИ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ ФЕДЕРАЛЬНЫХ И РЕГИОНАЛЬНЫХ ОРГАНОВ ЗАКОНОДАТЕЛЬНОЙ И ИСПОЛНИТЕЛЬНОЙ ВЛАСТИ, ЭКСПЕРТЫ МИРОВОГО КЛАССА НА ТЕХНИЧЕСКИХ МАСТЕР-КЛАССАХ, НОВЫЕ СИСТЕМЫ И РЕШЕНИЯ В ДЕМО-ЗОНАХ, СЕМИНАРЫ И ПРЕЗЕНТАЦИИ НА СТЕНДАХ ВЕДУЩИХ РОССИЙСКИХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ И ПОСТАВЩИКОВ ОБОРУДОВАНИЯ И РЕШЕНИЙ, КОЛЛЕКТИВНЫЕ ЭКСПОЗИЦИИ ФСТЭК РОССИИ И ФСБ РОССИИ

БЕСПЛАТНАЯ РЕГИСТРАЦИЯ НА WWW.TBFORUM.RU



Организатор **Groteck**
Business Media

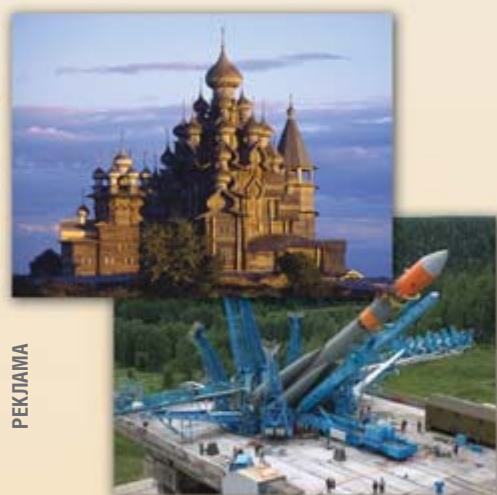
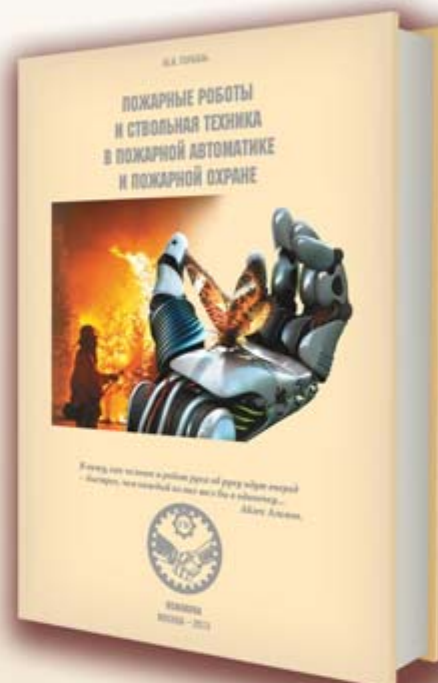
РЕКЛАМА

Ю. И. ГОРБАНЬ

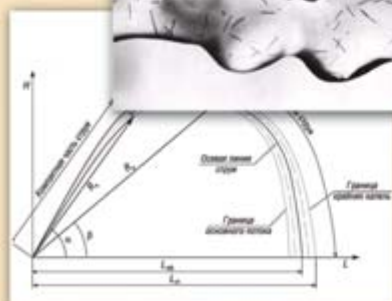
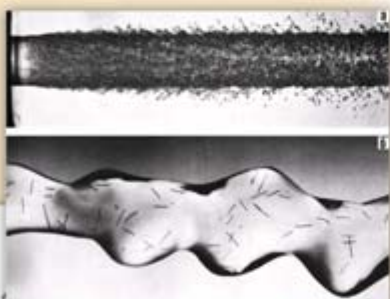
**ПОЖАРНЫЕ РОБОТЫ И СТВОЛЬНАЯ ТЕХНИКА
В ПОЖАРНОЙ АВТОМАТИКЕ И ПОЖАРНОЙ ОХРАНЕ**

М.: Пожнаука, 2013. - 352 с.

- ♦ Для специалистов в области пожарной автоматики и пожарной охраны.
- ♦ В книге представлены новые технологии пожаротушения с применением пожарных роботов, выполненных на базе современной ствольной пожарной техники. Показано, как создавались пожарные роботы в России, как совершенствовалась их конструкция, как они применялись в техногенных катастрофах и как они защищают объекты различного назначения.
- ♦ Рассмотрены основные понятия по гидравлике в пожарном деле и баллистике струй, а также по огнеопасным материалам и огнетушащим веществам, применяемым в ствольной технике.
- ♦ Дана подробная информация по применению роботизированных установок пожаротушения и пожарных стволов для защиты пожароопасных объектов, включая сведения, необходимые для проектировщиков и конструкторов.



РЕКЛАМА



СОДЕРЖАНИЕ:

- Часть 1. От первого пожарного робота до Завода пожарных роботов
- Часть 2. Гидравлика в пожарном деле
- Часть 3. Баллистика струй
- Часть 4. «Jet Fog» - летающие и распыленные огнетушащие вещества
- Часть 5. Пожароопасность и пожаробезопасность в расчетах пожарной автоматики
- Часть 6. Ручные пожарные стволы
- Часть 7. Пожарные лафетные стволы
- Часть 8. Пожарная робототехника
- Часть 9. Защита объектов лафетными стволами
- Часть 10. Защита объектов с применением роботизированных пожарных комплексов

ПО ВОПРОСАМ ПРИОБРЕТЕНИЯ КНИГИ ОБРАЩАЙТЕСЬ:

ЗАО „Инженерный центр пожарной робототехники “ЭФЭР”

185031, г. Петрозаводск, ул.Заводская, д. 4

Тел./факс: (8142) 57-11-27, 77-49-23

e-mail: office@firerobots.ru, <http://www.firerobots.ru>

Представительство ЗАО „Инженерный центр „ЭФЭР” в г. Москве:

143956, Московская обл., г. Балашиха, мкр. Никольско-Архангельский,

Разинское ш., д. 5, бизнес-центр “Вешняки”, офис 204

Т./ф.: +7(498) 665-75-35, моб.т. +7(916) 652-70-78

ООО „Издательство „Пожнаука”

Тел: (495) 228-09-03

e-mail: mail@firepress.ru, <http://www.firepress.ru>

ООО «ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПОЖНАУКА»

ПРЕДЛАГАЕТ ВАШЕМУ ВНИМАНИЮ

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

ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ во взрывопожароопасных зонах

Справочное пособие

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



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

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

- 1 **Сводь правил. Системы противопожарной защиты** (электронная версия). — 2011. Цена 500 руб.
- 2 **Федеральный закон "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности"**. — 2010. — 150 с. Цена 220 руб.
- 3 АНТОНЕНКО А. А., БУЦЫНСКАЯ Т. А., ЧЛЕНОВ А. Н. **Основы эксплуатации систем комплексного обеспечения объектов**: учебно-справочное пособие. — 2010. — 220 с. — ISBN 978-5-91444-017-3. Цена 380 руб.
- 4 АСЕЕВА Р. М., СЕРКОВ Б. Б., СИВЕНКОВ А. Б. **Горение древесины и ее пожароопасные свойства**: монография. — 2011. — 262 с. — ISBN 978-5-9229-0045-4. Цена 350 руб.
- 5 БРУШЛИНСКИЙ Н. Н., КОРОЛЬЧЕНКО А. Я. **Моделирование пожаров и взрывов**. — 2000. — 492 с. Цена 540 руб.
- 6 ГОРБАНЬ Ю. И. **Пожарные роботы и ствольная техника в пожарной автоматике и пожарной охране**. — 2013. — 352 с.: ил. — ISBN 978-591444-023-8. Цена 450 руб.
- 7 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я. **Процессы горения и взрыва**: учебник. — 2007. — 266 с.: ил. — ISBN 978-5-91444-001-2. Цена 450 руб.
- 8 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я., ЗАГОРСКИЙ Д. О. **Категорирование помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности**. — 2010. — 118 с. — ISBN 978-5-91444-015-9. Цена 250 руб.
- 9 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я., КОРОЛЬЧЕНКО Д. А. **Основы пожарной безопасности предприятия. Полный курс пожарно-технического минимума**: учебное пособие. — 2011. — 320 с. — ISBN 978-591444-021-X. Цена 350 руб.
- 10 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я., КОРОЛЬЧЕНКО Д. А. **Основы пожарной безопасности предприятия. Полный курс пожарно-технического минимума**: учебное пособие [Электронная версия]. — 2011. Цена 300 руб.
- 11 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я., КОРОЛЬЧЕНКО О. Н. **Средства огнезащиты**. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — 2009. — 560 с.: ил. — ISBN 978-5-91444-010-4. Цена 540 руб.
- 12 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я., КОРОЛЬЧЕНКО О. Н. **Средства огне- и биозащиты**. — Изд. 3-е, перераб. и доп. — 2010. — 250 с. БЕСПЛАТНО.
- 13 КОРОЛЬЧЕНКО Д. А., ГРОМОВОЙ В. Ю. **Огнетушители. Устройство. Выбор. Применение**. — 2010. — 94 с. — ISBN 978-5-91444-014-02. Цена 140 руб.
- 14 ПИЛЮГИН Л. П. **Обеспечение взрывоустойчивости зданий с помощью предохранительных конструкций**. — 2000. — 224 с.: ил. — ISBN 5-901283-03-1. Цена 240 руб.
- 15 ПИЛЮГИН Л. П. **Прогнозирование последствий внутренних аварийных взрывов**. — 2010. — 380 с. — ISBN 978-5-91444-016-6. Цена 450 руб.
- 16 СМЕЛКОВ Г. И., ЧЕРКАСОВ В. Н., ВЕРЕВКИН В. Н., ПЕХОТИКОВ В. А., РЯБИКОВ А. И. **Электроустановки во взрывопожароопасных зонах**: справочное пособие. — 2012. — 222 с. — ISBN 978-5-91444-022-X. Цена 300 руб.
- 17 ЧЕРКАСОВ В. Н., ЗЫКОВ В. И. **Обеспечение пожарной безопасности электроустановок**: учебное пособие. — 2010. — 406 с. — ISBN 978-5-91444-020-3. Цена 470 руб.

СУПЕРСКИДКИ

- 1 СОБУРЬ С. В. **Заполнение проемов в противопожарных преградах**: пособие. — Изд. 2-е, с изм. и доп. — 2006. — 168 с. — ISBN 5-98629-005-4. Цена 90 руб.
- 2 СОБУРЬ С. В. **Пожарная безопасность сельскохозяйственных предприятий**: справочник. — 2005. — 88 с. — ISBN 5-98629-004-6. Цена 36 руб.
- 3 ТЕРЕБНЕВ В. В., АРТЕМЬЕВ Н. С., ГРАЧЕВ В. А. **Транспорт: наземный, морской, речной, воздушный, метро**: учебное пособие. — 2007. — 383 с. — ISBN 5-903049-09-5. Цена 220 руб.
- 4 ТЕРЕБНЕВ В. В., АРТЕМЬЕВ Н. С., ПОДГРУШНЫЙ А. В. **Леса, торфяники, лесосклады**. — 2007. — 358 с. — ISBN 5-903049-12-5. Цена 220 руб.
- 5 ТЕРЕБНЕВ В. В., АРТЕМЬЕВ Н. С., ПОДГРУШНЫЙ А. В. **Объекты добычи, переработки и хранения горючих жидкостей и газов**: учебное пособие. — 2007. — 325 с. — ISBN 5-903049-11-7. Цена 220 руб.

■ Адрес: 121352, г. Москва, а/я 43. Заказ книг: тел.: (495) 228-09-03, 8-909-940-01-85; e-mail: info@fire-smi.ru, mail@firepress.ru; www.fire-smi.ru, www.firepress.ru.

- В бланке заказа на приобретение книг просьба указать:
- 1) название организации полностью;
 - 2) реквизиты (ИНН/КПП обязательно);
 - 3) наименование и количество заказываемой литературы;
 - 4) почтовый адрес, тел./факс, e-mail, контактное лицо;
 - 5) способ доставки: самовывоз или по почте.

■ **ВНИМАНИЕ!!!** Цены указаны без стоимости доставки, которая составляет 25 % стоимости заказа.

■ **Постоянным покупателям предоставляются скидки!**

Издательство “Пожнаука” предлагает Вам оформить подписку на журнал “Пожаровзрывобезопасность” на 2-е полугодие 2013 г.

**Подписка на полугодие включает в себя
шесть номеров журнала “Пожаровзрывобезопасность”.
Стоимость полугодовой подписки составляет 4950 руб. (НДС — 0 %).**



**ПЕРСОНАЛЬНАЯ ПОДПИСКА
на журнал**

**ПОЖАРОВЗРЫВО-
БЕЗОПАСНОСТЬ**



ISSN 0869-7493

КУПОН '2013

Издание	Цена подписки, руб.	Количество экземпляров	Стоимость подписки, руб.
Журнал “Пожаровзрывобезопасность” (2-е полугодие 2013 г.)	4950		

- ☐ Укажите в таблице количество экземпляров, которое Вам необходимо.
В связи с введением обязательного составления счетов-фактур при совершении операций по реализации просим прислать также карточку Вашей организации. Эти сведения необходимы для подготовки и высылки Вам счета-фактуры.
- ☐ Заполненный купон и копию платежного поручения вышлите по e-mail:
info@fire-smi.ru, mail@firepress.ru в отдел распространения.
- ☐ Оплату за подписку Вы можете произвести по следующим реквизитам:
ООО “Издательство “ПОЖНАУКА”
Почтовый адрес: 121352, г. Москва, а/я 43
ИНН / КПП 7731652572 / 773101001
Р/с 40702810930130056301 в ОАО “Промсвязьбанк” г. Москва
К/с 30101810400000000555
БИК 044525555
Главный редактор — *Корольченко Александр Яковлевич*

***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 “Интер-Почта 2003”, ООО “ИНТЕР-ПОЧТА-РЕГИОН”,
ООО “Урал-Пресс XXI”, ООО “Информнаука”,
ЗАО “МК-ПЕРИОДИКА”



БЕЗОПАСНОСТЬ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ
ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЙ КОНКУРС «ЭТАЛОН БЕЗОПАСНОСТИ»
ТЕХНОЛОГИИ БЕЗОПАСНОСТИ В РОЗНИЧНОЙ ТОРГОВЛЕ
БЕЗОПАСНОСТЬ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ
ДЕНЬ МОНТАЖНИКА И ПРОЕКТИРОВЩИКА
БЕЗОПАСНОСТЬ БОЛЬШОГО ГОРОДА
ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ КРУПНЫХ ОБЪЕКТОВ
ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ. НЕВСКИЙ ДИАЛОГ

Здесь определяется вектор безопасности

**12-15
НОЯБРЯ
2013**

Место проведения:
Санкт-Петербург, Ленэкспо



Sfiteх

St. Petersburg International Security & Fire Exhibition

IS.CS

4-я СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА
ИНФОРМАЦИЯ, ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ ЗАЩИТЫ



ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ
АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫЕ СРЕДСТВА
СИСТЕМЫ И СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
БЕЗОПАСНОСТЬ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

ОХРАНА И БЕЗОПАСНОСТЬ
22-й МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ

Получите электронный
билет на сайте:

www.sfiteх.ru

Организатор:



primexpo



+7 (812) 380 6009/00, SECURITY@PRIMEXPO.RU

Генеральный
интернет партнер:



консультант
в области безопасности

Медиа-партнер:



Информационная
поддержка:



РЕКЛАМА