

4-2018

ПОЖ Издательство
НАУКА

ПОЖАРОВЗРЫВО-

БЕЗОПАСНОСТЬ



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ISSN 0869-7493 (Print)
ISSN 2587-6201 (Online)

КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

пожарная • промышленная • производственная • экологическая



ТРЕБУЕМЫЙ УРОВЕНЬ
ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
МУЗЕЕВ — ОБЪЕКТОВ
КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

Красноярск

**30 мая
1 июня 2018**



При поддержке Национального
антитеррористического комитета

**XIV Всероссийский
специализированный форум-выставка**

АНТИТЕРРОР

современные
системы
безопасности

Информационная безопасность

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

**Деловая программа с участием представителей
федеральной власти**



сибирь
международный
выставочно-деловой центр
имени Карена Мурадяна

Организаторы:



РЕКЛАМА

ИТОГИ выставки 2017 г.:
91 экспонент
9054 посетитель
1999 специалистов отрасли из
43 территорий РФ

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

УЧРЕДИТЕЛЬ –

ООО "Издательство "ПОЖНАУКА"

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

СМИ зарегистрировано Федеральной службой
по надзору в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций –
свидетельство ПИ № ФС 77-43615 от 18
января 2011 г.

РЕДАКЦИЯ:

Зав. редакцией Корольченко О. Н.

Шеф-редактор Соколова Н. Н.

Редактор Крылова Л. В.

Адрес редакции:

121357, Россия, г. Москва,
ул. Вересаева, д. 10.

Адрес для переписки:

121352, Россия, г. Москва, а/я 43.

Тел./факс: (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.

Журнал включен в перечень ведущих рецензи-
руемых научных журналов и изданий, реко-
мендованных ВАК России для публикации
трудов соискателей ученых степеней, в Рефе-
ративный журнал и базы данных ВИНТИ РАН,
в базу данных Российского индекса научного
цитирования (РИНЦ), в базу данных Russian
Science Citation Index на платформе Web
of Science, в справочно-библиографическую
службу EBSCO. Сведения о журнале ежегодно
публикуются в Международной справочной
системе по периодическим и продолжающимся
изданиям "Ulrich's Periodicals Directory".
Переводные версии статей журнала входят
в Международный реферативный журнал
"Chemical Abstracts".

Перепечатка материалов журнала "Пожаро-
взрывобезопасность / Fire and Explosion Safety"
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 мне-
нием авторов опубликованных материалов.

Подписано в печать 16.04.2018.

Выход в свет 25.04.2018.

Формат 60x84 1/8. Тираж 2000 экз.

Бумага мелованная матовая.

Печать офсетная.

Отпечатано в типографии ООО "ДИАЛОГ"
(125315, г. Москва, Ленинградский просп.,
д. 80, корп. Г).

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

Корольченко А. Я., д. т. н., профессор, академик МАНЭБ (Национальный
исследовательский Московский государственный строительный университет,
Москва, Россия)

ЗАМ. ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

Мольков В. В., д. т. н., профессор (Ольстерский университет, Ольстер, Велико-
британия)

Стрижак П. А., д. ф.-м. н. (Национальный исследовательский Томский политех-
нический университет, Томск, Россия)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Бакиров И. К., к. т. н. (Уфимский государственный нефтяной технический уни-
верситет, Уфа, Россия, Республика Башкортостан)

Барбин Н. М., д. т. н., профессор (Уральский государственный аграрный универ-
ситет, Екатеринбург, Россия)

Брушлинский Н. Н., д. т. н., профессор, академик РАЕН, заслуженный деятель
науки РФ (Академия Государственной противопожарной службы МЧС России,
Москва, Россия)

Бурханов А. И., д. ф.-м. н. (Волгоградский государственный технический уни-
верситет, Волгоград, Россия)

Вагнер П., д. т. н. (Академия пожарной службы Берлина, Берлин, Германия)

Корольченко Д. А., к. т. н., академик МАНЭБ (Национальный исследовате-
льский Московский государственный строительный университет, Москва, Россия)

Кузнецов С. В., д. ф.-м. н., профессор (Институт проблем механики им. А. Ю. Иш-
линского Российской академии наук, Москва, Россия)

Ложкин В. Н., д. т. н., профессор (Санкт-Петербургский университет Государ-
ственной противопожарной службы МЧС России, Санкт-Петербург, Россия)

Малыгин И. Г., д. т. н., профессор (Институт проблем транспорта им. Н.С. Соло-
менко Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия)

Поландов Ю. Х., д. т. н., профессор (Орловский государственный университет
им. И.С. Тургенева, Орел, Россия)

Пузач С. В., д. т. н., профессор, член-корреспондент НАНПБ, заслуженный
деятель науки РФ (Академия Государственной противопожарной службы МЧС
России, Москва, Россия)

Раимбеков К. Ж., к. ф.-м. н. (Кокшетауский технический институт Комитета по
чрезвычайным ситуациям МВД Республики Казахстан, Кокшетау, Казахстан)

Рестас А. (Институт управления при ЧС Национального университета Государ-
ственной службы, Будапешт, Венгрия)

Серков Б. Б., д. т. н., профессор, действительный член НАНПБ (Академия Госу-
дарственной противопожарной службы МЧС России, Москва, Россия)

Тамразян А. Г., д. т. н., профессор, действительный член ВАНКБ (Национальный
исследовательский Московский государственный строительный университет,
Москва, Россия)

Топольский Н. Г., д. т. н., профессор, академик РАЕН и НАНПБ, заслуженный
деятель науки РФ (Академия Государственной противопожарной службы МЧС
России, Москва, Россия)

Холщевников В. В., д. т. н., профессор, академик и почетный член РАЕН, ака-
демик ВАНКБ, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации
(Национальный исследовательский Московский государственный строительный
университет, Москва, Россия)

Чирик Р. М., д. т. н., профессор (Высшая техническая школа, Нови Сад, Сербия)

Шебеко Ю. Н., д. т. н., профессор, действительный член НАНПБ (ВНИИПО МЧС
России, Балашиха, Россия)

Шилдс Т. Дж., профессор (Ольстерский университет, Ольстер, Великобритания)

Якуш С. Е., д. ф.-м. н. (Институт проблем механики им. А. Ю. Ишлинского Рос-
сийской академии наук, Москва, Россия)

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

ЕРЕМИНА Т. Ю., ЮГ А.
Некоторые аспекты основ подготовки методических
рекомендаций по организации учебной эвакуации
детей различного возраста

6

БЕЗОПАСНОСТЬ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

КОБЕЛЕВ А. А., КРУГЛОВ Е. Ю.,
АСЕЕВА Р. М., СЕРКОВ Б. Б., ШУТОВ Ф. А.
Термическое поведение полимерной теплоизоляции
пониженной горючести

13

ПОРТНОВ Ф. А.
Влияние модификаторов на характеристики
пенококса, образующегося при термическом
разложении древесины

24

БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ОБОРУДОВАНИЯ

ПОЛАНДОВ Ю. Х., КОРОЛЬЧЕНКО А. Д.
Способ расчета концентрации газа
в негерметичной емкости в процессе ввода газа

33

БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ, ОБЪЕКТОВ

ПРИСАДКОВ В. И., ЕРЕМИНА Т. Ю., БОГДАНОВ А. В.,
СУШКОВА О. В., ТИХОНОВА Н. В.
Требуемый уровень пожарной безопасности музеев –
объектов культурного наследия

42

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ И СРЕДСТВА

ВЫТОВТОВ А. В., КАЛАЧ А. В., ТРОФИМЕЦ В. Я.
Методика автоматизированного мониторинга
линейных объектов нефтегазового комплекса
с беспилотного воздушного судна

50

СРЕДСТВА И СПОСОБЫ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

АХМЕДОВ А. Б., ШИМКО В. Ю., ПУЗАЧ С. В.
Ослабление лучистого теплового потока
противопожарной преградой "СОГДА"

58

ДИСКУССИИ

ПОЛЕГОНЬКО В. И., КОЧЕТЫГОВ В. А.
Когда же Росаккредитация услышит специалистов
в области пожарной безопасности?

67

ВОПРОС – ОТВЕТ

ХАРЛАМЕНКОВ А. С.
Требования боевого устава подразделений пожарной
охраны к участникам тушения пожара при наличии
электроустановок под напряжением

70

CONTENTS

GENERAL QUESTIONS OF COMPLEX SAFETY

EREMINA T. Yu., JUG A.
Some aspects of evaluation guidelines
on evacuation training for variously-aged
children

SAFETY OF SUBSTANCES AND MATERIALS

KOBELEV A. A., KRUGLOV E. Yu.,
ASEEVA R. M., SERKOV B. B., SHUTOV F. A.
Thermal behavior of polymer thermal insulation
with the reduced combustibility

PORTNOV F. A.
Influence of modifiers on coked foam structure
and properties formed with thermal
decomposition of wood

SAFETY OF TECHNOLOGICAL PROCESSES AND EQUIPMENT

POLANDOV Yu. Kh., KOROLCHENKO A. D.
Method for calculating concentration of gas
in a non-tight container during gas introduction

SAFETY OF BUILDINGS, STRUCTURES, OBJECTS

PRISADKOV V. I., EREMINA T. Yu., BOGDANOV A. V.,
SUSHKOVA O. V., TIKHONOVA N. V.
Required fire safety level for museums –
cultural heritage objects

AUTOMATED SYSTEMS AND MEANS

VYTOVTOV A. V., KALACH A. V., TROFIMETS V. Ya.
Methodology of automated monitoring
of linear objects of oil and gas complex
with a free aircraft

MEANS AND WAYS OF FIRE EXTINGUISHING

AKHMEDOV A. B., SHIMKO V. Yu., PUZACH S. V.
Reduction of radiant heat flux by "SOGDA"
fire barrier

DISCUSSION

POLEGONKO V. I., KOCHETYGOV V. A.
When will RusAccreditation finally understand experts
in fire safety

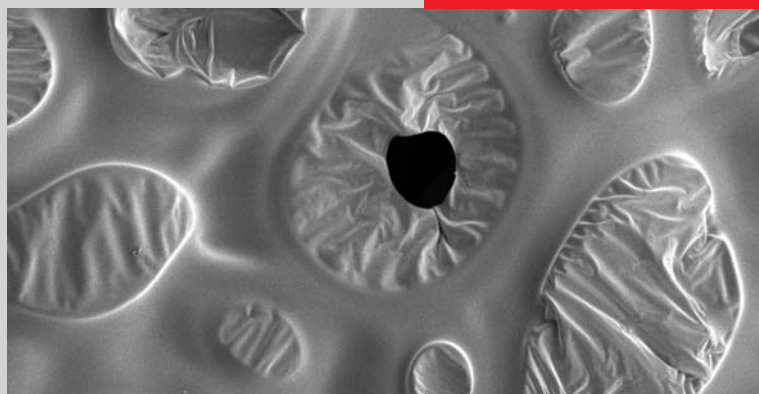
QUESTION – ANSWER

KHARLAMENKOV A. S.
Requirements of the combat regulations
of the fire brigade units to participants in firefighting
in the presence of electrical installations under voltage



Рекомендации по организации учебной эвакуации детей

Стр. 6



Влияние модификаторов на характеристики пенококса древесины

Стр. 24



Пожарная безопасность музеев — объектов культурного наследия

Стр. 42



Автоматизированный мониторинг линейных объектов

Стр. 50



Стр. 58

Ослабление лучистого теплового потока противопожарной преградой



FOUNDER —

"POZHNAUKA" Publishing House, Ltd.

Journal founded in 1992,
issued 12 times per year.

Publication is registered by the Federal
Service for Supervision of Communications,
Information Technology, and Mass Media
of Russia. Registration certificate
PI No. FS 77-43615 on January 18, 2011.

EDITORIAL STAFF:

Chief of editorial staff **Korolchenko O. N.**

Editorial director **Sokolova N. N.**

Editor **Krylova L. V.**

Address of editorial staff:

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

Corresponding to: Post office box 43,
Moscow, 121352, Russia.

Phone/Fax: (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.

"Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion
Safety" is included in the List of periodical
scientific and technical publication, recommended
by Higher Attestation Commission of the Russian
Federation for publishing aspirants' works for
candidate and doctoral degree, in Abstracting
Journal and Database of VINITI RAS, in Russian
Science Citation Index, EBSCO. Information
about the journal is annually published
in "Ulrich's Periodicals Directory". English version
of "Fire and Explosion Safety" articles is included
in Chemical Abstract Service (CAS).

No part of this publication may be used or re-
produced in any form or by any means without
the prior permission of the Publishers. Repro-
ducing 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 16.04.2018.
Date of publication 25.04.2018.
Format is 60x84 1/8.
Printing is 2000 copies.
Chalk-overlay mat paper.
Offset printing.

Printed at "DIALOG", Ltd.
(Leningradskiy Avenue, 80, build. G,
Moscow, 125315, Russian).

EDITOR-IN-CHIEF:

Korolchenko A. Ya., Dr. Tech. Sci., Professor, Academician of International Academy of
Ecology and Life Safety (National Research Moscow State University of Civil Engineering,
Moscow, Russia)

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF:

Molkov V. V., Dr. Tech. Sci., Professor (Ulster University, Ulster, Northern Ireland, UK)

Strizhak P. A., Dr. Phys.-Math. Sci. (National Research Tomsk Polytechnic University,
Tomsk, Russia)

EDITORIAL BOARD:

Bakirov I. K., Cand. Tech. Sci. (Ufa State Petroleum Technological University, Ufa,
Russia, Republic of Bashkortostan)

Barbin N. M., Dr. Tech. Sci., Professor (Urals State Agrarian University, Yekaterinburg,
Russia)

Brushlinskiy N. N., Dr. Tech. Sci., Professor, Academician of Russian Academy of
Natural Sciences, Honoured Scientist of the Russian Federation (State Fire Academy of
Emercom of Russia, Moscow, Russia)

Burkhanov A. I., Dr. Phys.-Math. Sci. (Volgograd State Technical University, Volgo-
grad, Russia)

Wagner P., Dr. Tech. Sci. (Berlin Fire and Rescue Academy, Berlin, Germany)

Korolchenko D. A., Cand. Tech. Sci., Academician of International Academy of
Ecology and Life Safety (National Research Moscow State University of Civil Engineering,
Moscow, Russia)

Kuznetsov S. V., Dr. Phys.-Math. Sci., Professor (A. Ishlinsky Institute for Problems in
Mechanics of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia)

Lozhkin V. N., Dr. Tech. Sci., Professor (Saint Petersburg University of State Fire Service
of Emercom of Russia, Saint Petersburg, Russia)

Malygin I. G., Dr. Tech. Sci., Professor (Solomenko Institute of Transport Problems of
the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia)

Polandov Yu. Kh., Dr. Tech. Sci., Professor (Orel State University named after I. Tur-
genev, Orel, Russia)

Puzach S. V., Dr. Tech. Sci., Professor, Corresponding Member of National Academy of
Fire Science (State Fire Academy of Emercom of Russia, Moscow, Russia)

Raimbekov K. Zh., Cand. Phys.-Math. Sci. (Kokshetau Technical Institute, Committee
of Emergency Situations of the Ministry of Internal Affairs of the Republic of Kazakhstan,
Kokshetau, Kazakhstan)

Restas A., Ph. D. (National University of Public Service, Institute of Disaster Manage-
ment, Budapest, Hungary)

Serkov B. B., Dr. Tech. Sci., Professor, Full Member of National Academy of Fire Science
(State Fire Academy of Emercom of Russia, Moscow, Russia)

Tamrazyan A. G., Dr. Tech. Sci., Professor, Full Member of World Academy of Sciences
for Complex Safety (National Research Moscow State University of Civil Engineering,
Moscow, Russia)

Topolskiy N. G., Dr. Tech. Sci., Professor, Academician of Russian Academy of Natural
Sciences, Academician of National Academy of Fire Science, Honoured Scientist of
the Russian Federation (State Fire Academy of Emercom of Russia, Moscow, Russia)

Kholshchevnikov V. V., Dr. Tech. Sci., Professor, Academician and Honoured Member
of Russian Academy of Natural Sciences, Academician of World Academy of Sciences
for Complex Safety, Honoured Higher Education Employee of the Russian Federation
(National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia)

Ciric R. M., Ph. D., Professor (The Higher Technical School of Professional Studies, Novi
Sad, Serbia)

Shebeko Yu. N., Dr. Tech. Sci., Professor, Full Member of National Academy of Fire
Science (All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia,
Balashikha, Russia)

Shields T. J., Ph. D., Professor (Ulster University, Ulster, Northern Ireland, UK)

Yakush S. E., Dr. Phys.-Math. Sci. (A. Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics of
the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia)



Перед динамическими испытаниями



Перед статическими испытаниями



РЕКЛАМА

После статических испытаний. Общий вид

ИСПЫТАНИЕ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ОТ ПАДЕНИЯ С ВЫСОТЫ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

**СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

Контакты:

Тел.: 8 (495) 109-05-58

e-mail: ikbs@mgsu.ru,

mail@ikbs-mgsu.com

www.ikbs-mgsu.com

Т. Ю. ЕРЕМИНА, д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории испытаний строительных материалов, конструкций и огнезащитных составов, Институт комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: main@stopfire.ru)

А. ЮГ, д-р. техн. наук, доцент Беккер Колледж (США, Массачусетс 01609, Ворчестер, Север стрит, 61); председатель рабочей комиссии по предотвращению пожаров CTIF (Международная ассоциация пожарных и спасателей) (<http://www.ctif.org/index.php/commissions-and-groups/fire-prevention>); президент комиссии по предотвращению пожаров Ассоциации пожарных Словении; факультет мореходства и транспорта, Университет Любляны (Словения, 6320, Порторож, Дорога Мореходов, 4)

УДК 614.849

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ОСНОВ ПОДГОТОВКИ МЕТОДИЧЕСКИХ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ОРГАНИЗАЦИИ УЧЕБНОЙ ЭВАКУАЦИИ ДЕТЕЙ РАЗЛИЧНОГО ВОЗРАСТА

Рассмотрены подходы к подготовке методических рекомендаций по организации эвакуации детей различного возраста из образовательных учреждений и зданий с массовым пребыванием людей. Проанализирован российский опыт разработки соответствующих документов. Проведен обзор педагогического инструментария для разработки методик адаптации учащихся к экстремальным ситуациям. Приведены основные положения регламента проведения проверок пожарной безопасности в школах Бостона. Внесены предложения по совершенствованию существующего регламента проведения эвакуации детей в случае пожара.

Ключевые слова: эвакуация при пожаре; эвакуационные пути; эвакуационные выходы; учебная эвакуация; действия в экстремальных ситуациях; здания с массовым пребыванием; дети различного возраста.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.04.6-12

Введение

Министерством Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС РФ) 2017 год объявлен годом культуры безопасности. В соответствии с этим предусмотрено:

- проведение информационно-профилактических мероприятий;
- дни открытых дверей и уроки безопасности;
- развитие у населения твердых теоретических знаний и практических навыков в области безопасности жизнедеятельности;
- получение специалистами всех органов государственной власти уникального опыта, накопленного сотрудниками МЧС, в вопросах защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций.

Трагедия с массовой гибелью детей в г. Кемерово привлекла внимание всех профессионалов, заинтересованных в обеспечении безопасности, и показала необходимость разработки методических рекомендаций по проведению учебной эвакуации детей

различного возраста, которые могли бы быть реализованы в начале нового 2018/2019 учебного года.

25 марта 2018 г. в торгово-развлекательном центре “Зимняя вишня” (Кемерово) произошел пожар, потушить который удалось только на следующий день. Погибли 64 чел., в том числе 41 ребенок. В здании “Зимней вишни”, построенном в 1968 г., изначально размещалась кондитерская фабрика. В 2013 г. здание было перестроено под торгово-развлекательный центр.

Пожар начался в батутной яме на территории детской игровой зоны. Рабочие версии причины пожара — поджог и короткое замыкание электропроводки.

Стремительному распространению огня способствовало наличие пустот в перекрытиях и старая вентиляция. Работа по тушению осложнялась запутанной планировкой и огромными размерами торгового центра, а также наличием баллонов, которые пришлось выносить и охлаждать. В результате произошел один взрыв.

В момент возникновения пожара в здании не сработала ни одна из систем противопожарной защиты, знаки эвакуационных выходов не светились, аварийного освещения не было, эвакуационные выходы были закрыты.

По официальной информации Департамента надзорной и профилактической деятельности МЧС «сигнализация была переведена в ручное управление, и сигнал «пожар» поступил к охраннику на пульт на первый этаж. Если бы сигнализация была включена в автоматическом режиме, то мгновенно должны были включиться системы дымоудаления, лифты опуститься на первый этаж, все эскалаторы должны были переключиться на спуск, а двери эвакуационных выходов разблокированы. Но сигнализация находилась в ручном управлении, а потому охраннику самому нужно было нажимать на пульте кнопки оповещения, отключения лифтов и эскалаторов. Но он этого не сделал и не оповестил МЧС о пожаре» [1].

Инцидент в «Зимней вишне» — не первый случай массовой гибели детей при пожарах в Российской Федерации. Приведем некоторые из них (<http://tass.ru/info/2503071>):

7 апреля 2003 г. в с. Сыдыбыл (Якутия) в результате пожара в средней школе погибли 22 ученика 5–11 классов, и еще 94 человека, в том числе четыре учителя, получили ожоги. Причиной пожара стало короткое замыкание;

10 апреля 2003 г. в Махачкале (Дагестан) вследствие замыкания возник пожар в школе-интернате для глухонемых детей. От ожогов и отравления продуктами горения на месте происшествия погибли 28 воспитанников заведения в возрасте от 8 до 14 лет, еще двое детей позднее скончались в больнице. Пострадало порядка 140 чел.;

10 ноября 2004 г. в общежитии Кызыльской ТЭЦ на ул. Паротурбинной в Кызыле (Республика Тыва) замыкание в электрораспределительном щите вызвало пожар. В результате ЧП погибло 26 чел. (в том числе 12 детей), пострадало 189 чел. Двухэтажное здание постройки 1960-х годов было полностью уничтожено огнем.

Статистика последних лет показывает, что удается добиться тенденции к снижению количества погибших и пострадавших при пожаре детей. Вместе с тем необходимо иметь в виду, что за период 2006–2010 гг. из 1 млн. пожаров примерно 19 тыс. возникли из-за детской шалости с огнем; при этом погибло свыше 75 тыс. чел., из которых более 3 тыс. — дети (около 70 % в возрасте до 6 лет), свыше 6 тыс. детей получили травмы [2–4].

Проблемам обеспечения безопасной эвакуации посвящены многие современные исследования [5–7]. При этом необходимо помнить, что поведение детей во время эвакуации имеет свою специ-

фику и должно рассматриваться отдельно от поведения взрослых. Дети часто полагаются на своих родителей или лидера группы, который ведет их, а родители, несомненно, будут искать друг друга и своих детей, часто не подчиняясь инструкциям.

В работе проанализированы существующие подходы к организации учебной эвакуации в случае пожара, выдвинуты предложения по актуализации учебно-методических материалов.

Организация тренировок по эвакуации

Среди отечественных разработок в данной области можно отметить следующие:

- Кириллов Г. Н., Ненашев Ю. П., Хондошко Ю. П. Организация тренировок по эвакуации персонала предприятий и учреждений при пожаре и иных чрезвычайных ситуациях. Методические рекомендации / Под общ. ред. Г. Н. Кириллова. — М., 2007 (рассматриваются только вопросы эвакуации взрослых);
- Учебно-методическое пособие по организации и проведению занятий с персоналом образовательных учреждений Санкт-Петербурга по эвакуации учащихся и тушению условного пожара (Санкт-Петербург, 2009);
- Методические рекомендации о порядке действий работников государственного образовательного учреждения по обеспечению эвакуации учащихся при пожаре (Санкт-Петербургское государственное учреждение «Пожарно-спасательный отряд противопожарной службы Санкт-Петербурга по Центральному району Санкт-Петербурга» (отдел профилактики пожаров и предупреждения ЧС, 2014/15 уч. год));
- Методические рекомендации по подготовке документов в целях организации и проведения тренировки по экстренной эвакуации учащихся, преподавателей и технического персонала из помещений и зданий образовательных учреждений в случае возникновения пожара и других чрезвычайных ситуаций (Муниципальное общеобразовательное учреждение «Старобесовская основная общеобразовательная школа имени А. Ф. Юртова»).

Проведенный анализ методической литературы позволяет заключить, что единые методические рекомендации по организации эвакуации детей и требования к ним отсутствуют.

Объектами исследования в данной области стали следующие работы:

- Формирование у подростков навыков пожарной безопасности в системе дополнительного образования [8] (разработка, теоретическое обоснование и экспериментальная проверка модели данного процесса);

- Практикум в курсе “Основы безопасности жизнедеятельности” как условие адаптации учащихся к экстремальным ситуациям [9] (разработка методики практикума);
- Педагогические средства проектирования интегративного курса “Основы культуры безопасной жизнедеятельности” [10] (обоснование системы педагогических средств проектирования содержания учебного курса, раскрывающего основные положения культуры безопасной жизнедеятельности, и апробация его в образовательной деятельности);
- Общепедагогические основы физического саморазвития и безопасности жизнедеятельности учащихся в современном общеобразовательном учреждении [11] (разработка общепедагогических основ);
- Психолого-педагогическое обеспечение процесса формирования навыков безопасного поведения в чрезвычайных ситуациях у учащихся общеобразовательных школ [12] (определение, обоснование и реализация психолого-педагогического обеспечения данного процесса);
- Проблемно-тренинговые ситуации как средство формирования пожаробезопасного поведения младших школьников [13] (выявление, теоретическое обоснование и проверка опытно-поисковым путем педагогических возможностей проблемно-тренинговых ситуаций).

Данные теоретические исследования так и не были обобщены и сведены в единые методические рекомендации или руководство, а стали только предпосылками для этого.

Вопросам организации и проведения учебной эвакуации посвящены многие зарубежные исследования [14–21]. Международный опыт можно проанализировать на примере основных положений документа, используемого персоналом учебных заведений и инспекторами, проводящими проверки пожарной безопасности, в школах Бостона: “Superintendent’s Circular. Fire Safety Practices. Boston Public Schools” (Инструкции по проверке обеспечения пожарной безопасности в государственных общеобразовательных школах Бостона). Согласно этим положениям:

- с началом нового учебного года анализируются и обновляются планы по предотвращению пожаров, обеспечению безопасности жизни и эвакуации во всех школах. Эта работа выполняется в сотрудничестве с органами пожарной охраны;
- разрабатывается актуальный чек-лист по пожарной безопасности, который предъявляется представителям пожарного департамента при проверке здания;

- все системы пожарной безопасности постоянно поддерживаются в рабочем состоянии. Сигнал о возникновении пожара автоматически передается в пожарный департамент, который одновременно с получением сигнала отправляет пожарные подразделения в школу;
- после эвакуации из здания школы из-за тревоги в него никто не допускается без разрешения сотрудника пожарного департамента. Директор или его уполномоченный представитель в рамках инструкций по противопожарной подготовке устанавливает процедуру проведения таких эвакуаций;
- по прибытии к месту пожара Бостонское пожарное управление предпринимает необходимые меры для защиты от пожара людей и имущества. Эвакуационные пути и выходы в каждой школе должны поддерживаться в работоспособном состоянии:

- пути и выходы должны быть свободными в любое время;
- использование цепей, тросов, щеколд, так называемых “голландских замков” или любых других несанкционированных устройств, препятствующих эвакуации, запрещено во время проведения занятий в школьных зданиях;
- двери, которые должны быть закрыты, не должны находиться в открытом состоянии; никакие устройства не должны препятствовать функционированию по назначению дверей с автоматическим закрытием; запрещается использовать запирающие устройства, блокирующие коридоры и лестничные клетки;
- двери между помещениями не должны быть заблокированы или заперты.

Все школы должны соблюдать следующие правила пожарной безопасности:

- ответственный школьный администратор должен разработать план защиты и эвакуации всех лиц в случае пожара или другой чрезвычайной ситуации совместно с соответствующими представителями Бостонского пожарного управления и собственником/управляющим объекта;
- директор или его уполномоченный представитель должен убедиться, что каждый сотрудник перед вступлением в должность получает и изучает инструкции о процедуре эвакуации для помещения или части здания, в которой этот сотрудник выполняет свои обязанности. В школе должен храниться журнал, в котором документируется получение сотрудниками инструкций и ознакомление с требованиями пожарной безопасности;
- ежеквартально (сентябрь, декабрь, март и июнь) должна проводиться противопожарная подго-

товка с участием всех учащихся и сотрудников. Отчет о проведении должен быть задокументирован по установленной форме и храниться в разделе “Пожарная безопасность” в Плане безопасности/действий в чрезвычайных ситуациях школы;

- каждый из учащихся во всех школах должен быть проинформирован о проведении противопожарной подготовки и принять участие в *тренировке в течение трех дней после начала занятий в школах в сентябре*. Процедура проведения учений в помещениях должна быть вывешена в каждом из них. Должны быть отработаны все возможные сценарии возникновения пожара и проведения эвакуации;
- в соответствии с законом штата Массачусетс CMR 527,10.09 начальник пожарной службы или назначенный им сотрудник посещает каждую школу четыре раза в год для ежеквартальных проверок, анализа планов пожарной безопасности, проведения пожарных учений и бесед с администраторами. Семинары могут проводиться без предварительного предупреждения школьного персонала, кроме лица, ответственного за школу в данное время;
- планы пожарной охраны должны учитывать проведение экстренной эвакуации учащихся и сотрудников с ограниченными возможностями. Эти процедуры также должны быть включены в План безопасности школы/действий в чрезвычайных ситуациях. Этот элемент плана должен включать данные об учащихся и сотрудниках с ограниченными возможностями, точные списки посещаемости классов и конкретные места для эвакуации.

Заклучение

Авторами с учетом сложившейся обстановки предлагается разработать основы для подготовки методических рекомендаций по организации эвакуации из зданий различного назначения с массовым пребыванием детей и апробировать их в течение года. Для этого необходимо:

- проанализировать максимальное количество зданий, в которых возможно массовое скопление детей различного возраста (детские сады, школы, больницы, центры дополнительного образования, музыкальные, творческие школы и т. п.), и время нахождения в них детей;
- разработать новую классификацию зданий и помещений с массовым пребыванием детей различного возраста;
- в зависимости от времени регламентировать усиление мероприятий по обеспечению безопасности; предусмотреть увеличение количества соответствующих учебных тренировок во время каникул (с учетом массового посещения детьми музеев, развлекательных центров, аквапарков и т. п.), увеличение численности персонала государственного пожарного надзора и прошедших специальную подготовку волонтеров в сфере пожарной безопасности;
- проанализировать процедуру проведения тренировок в различных заведениях для методической проработки требований по обеспечению безопасной эвакуации детей, для создания чек-листа;
- разработать соответствующий стандарт Российской Федерации, включающий следующие основные требования к учебной эвакуации детей:
 - тренировки по эвакуации проводить в начале учебного года и каждой четверти (ответственные: директор школы, персонал учебного заведения);
 - назначить ответственного за эвакуацию для каждого класса (по два сотрудника учебного заведения);
 - проводить занятия со школьниками (теоретические положения и тренировки) с предварительным согласованием плана организации таких занятий;
 - тренинг по эвакуации проводить один раз в месяц (в присутствии ответственного за объект инспектора и директора учебного заведения).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисов Т. После пожара. Сигнализация в торговом центре сработала, но до пожарных сигнал тревоги не дошел (интервью с директором Департамента надзорной деятельности и профилактической работы МЧС России Р. Ш. Еникеевым) // Российская газета. — 01.04.2018. — Федер. вып. № 7531(68). URL: <https://rg.ru/2018/04/01/reg-sibfo/enikeev-v-rf-nuzhno-vernut-provedeniye-vnezapnyh-protivopozharnyh-rejdov.html> (дата обращения: 01.03.2018).
2. Брушлинский Н. Н., Соколов С. В., Григорьева М. П. Анализ основных пожарных рисков в странах мира и в России // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2017. — Т. 26, № 2. — С. 72–80. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.02.72-80.
3. Брушлинский Н. Н., Соколов С. В. Международная пожарная статистика Международной ассоциации пожарно-спасательных служб // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. — 2016. — № 1(18). — С. 71–103.

4. Сидоркин В. А. Психологические аспекты в обеспечении безопасности детей // Вестник Бурятского государственного университета. — 2012. — № 5. — С. 134–139.
5. Холицевников В. В. Терминология или идеология — препятствие безопасной эвакуации людей из высотных зданий при пожаре // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 1. — С. 5–26. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.01.5-26.
6. Thompson P., Nilsson D., Boyce K., McGrath D. Evacuation models are running out of time // Fire Safety Journal. — 2015. — Vol. 78. — P. 251–261. DOI: 10.1016/j.firesaf.2015.09.004.
7. Слюсарев С. В., Самошин Д. А. Параметры движения маломобильных детей для определения расчетного времени эвакуации из зданий с их массовым пребыванием // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2016. — Т. 25, № 4. — С. 43–55. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.04.43-55.
8. Скрипник Л. Ю. Формирование у подростков навыков пожарной безопасности в системе дополнительного образования : дис. ... канд. пед. наук. — М., 2010. — 234 с.
9. Данченко С. П. Практикум в курсе “основы безопасности жизнедеятельности” как условие адаптации учащихся к экстремальным ситуациям : дис. ... канд. пед. наук. — СПб., 2004. — 185 с.
10. Кайгородов П. И. Педагогические средства проектирования интегративного курса “Основы культуры безопасной жизнедеятельности” : дис. ... канд. пед. наук. — Ростов-на-Дону, 2002. — 185 с.
11. Костенко П. И. Общепедагогические основы физического саморазвития и безопасности жизнедеятельности учащихся в современном общеобразовательном учреждении : дис. ... д-ра. пед. наук. — Челябинск, 2002. — 307 с.
12. Черный С. П. Психолого-педагогическое обеспечение процесса формирования навыков безопасного поведения в чрезвычайных ситуациях у учащихся общеобразовательных школ : дис. ... канд. пед. наук. — Красноярск, 2007. — 181 с.
13. Каплан Я. Б. Проблемно-тренинговые ситуации как средство формирования пожаробезопасного поведения младших школьников : дис. ... канд. пед. наук. — Тюмень, 2009. — 199 с.
14. Brunner J., Lewis D. Safe evacuation for students with disabilities // Principal Leadership. — 2004. — No. 5(4). — P. 65–66.
15. Hoffmann N., Steenbakkers P. Human touch // Fire Prevention Magazine and Fire Engineers Journal. — 2005. — No. 65(253). — P. 18–19.
16. Thompson P. A., Marchant E. W. A computer model for the evacuation of large building populations // Fire Safety Journal. — 1995. — Vol. 24, Issue 2. — P. 131–148. DOI: 10.1016/0379-7112(95)00019-p.
17. Proulx G. A stress model for people facing a fire // Journal of Environmental Psychology. — 1993. — Vol. 13, Issue 2. — P. 137–147. DOI: 10.1016/s0272-4944(05)80146-x.
18. Heliövaara S. Computational models for human behavior in fire evacuations : M. Sci. Thesis. — Helsinki : Helsinki University of Technology, 2007.
19. DO THE DRILL! A school resource guide for safety planning / Oregon Office of State Fire Marshal. URL: <http://www.oregon.gov/osp/sfm/docs/yfpi/schoolresources/dothedrill.pdf> (дата обращения: 02.03.2018).
20. Yoon Thomas. Fire evacuation drill with a difference. URL: <http://www.articlesfactory.com/articles/technology/fire-evacuation-drill-with-a-difference.html> (дата обращения: 02.03.2018).
21. Hill Bryan. Creating an effective fire evacuation plan. URL: <http://www.articlesfactory.com/articles/business/creating-an-effective-fire-evacuation-plan.html> (дата обращения: 02.03.2018).

Материал поступил в редакцию 6 марта 2018 г.

Для цитирования: Еремина Т. Ю., Юг А. Некоторые аспекты основ подготовки методических рекомендаций по организации учебной эвакуации детей различного возраста // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 4. — С. 6–12. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.04.6-12.

SOME ASPECTS OF EVALUATION GUIDELINES ON EVACUATION TRAINING FOR VARIOUSLY-AGED CHILDREN

EREMINA T. Yu., Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of Testing Laboratory for Materials, Constructions and Fire-Proof Compositions, Institute of Integrated Safety in Construction, National Research Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail: main@stopfire.ru)

JUG A., Doctor of Technical Sciences, Assistant Professor of Becker College (Sever St., 61, Worcester, 01609 Massachusetts, USA); Chairman of Fire Prevention Commission at CTIF (International Association of Fire and Rescue Service) (<http://www.ctif.org/index.php/commissions-and-groups/fire-prevention>); President of Fire Prevention Commission at Firefighters Association of Slovenia; Faculty of Maritime Studies and Transport, University of Ljubljana (Pot Pomorščakov, 4, Portorož, 6320, Slovenia)

ABSTRACT

Fire in shopping center “Zimnyaya vishnya” on the 25th March 2018 claimed the lives of 64 people, including 41 children.

The fire began at children play zone and spread very quickly because of cavities in ceilings and out-dated ventilation system. Fire protection systems didn't work, and many egress exits were blocked.

Short-circuit failure was considered as one of the reason of this fire. Analysis of fires with mass mortality in Russian Federation has shown that this reason is the most common.

It's necessary to develop actual evaluation guidelines for evacuation training with variously-aged children.

Russian developments in this field include evaluation guidelines for personal evacuation in case of fire and other emergencies (only adult evacuation) and materials developed in different educational institutions. There is no uniform evaluation guideline for variously-aged children evacuation and requirements for them.

Evaluation guideline development should take into account appropriate international experience. Fire safety inspections in schools of Boston (USA) are based on documents developed by school personnel and fire safety inspectors. Actual fire safety check-list is developed. Egress means and exits are inspected.

Fire drill must be conducted quarterly (September, December, March and June). All fire scenario and evacuation routes are considered. Plans include information on evacuation for disable students and staff.

Authors suggest to develop evacuation guidelines for variously-aged children and implement it.

Keywords: fire evacuation; egress mean; emergency exit; evacuation training; emergency response; high occupancy buildings; variously-aged children.

REFERENCES

1. Borisov T. After the fire. Fire alarm has worked, but fire-fighters haven't received the alert (interview with R. Sh. Enikeev — the director of Supervisory and Preventive Efforts Departmen of Emercom of Russia). *Rossiyskaya gazeta / Russian Newspaper*, 01.04.2018, Federal Issue 7531(68) (in Russian). Available at: <https://rg.ru/2018/04/01/reg-sibfo/enikeev-v-rf-nuzhno-vernut-provedenie-vnezapnyh-protivopozharnyh-rejdov.html> (Accessed 1 March 2018).
2. Brushlinskiy N. N., Sokolov S. V., Grigoryeva M. P. Major fire risks analysis in the countries of the world and in Russia. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 2, pp. 72–80 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.02.72-80.
3. Brushlinskiy N. N., Sokolov S. V. International fire statistics the International Association of Fire and Rescue Services. *Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MChS Rossii / Bulletin of Voronezh Institute of State Firefighting Service of Emercom of Russia*, 2016, no. 1(18), pp. 71–103 (in Russian).
4. Sidorkin V. A. The psychological aspects in provision the children safety. *Vestnik Buryatskogo gosudarstvennogo universiteta / The Buryat State University Bulletin*, 2012, no. 5, pp. 134–139 (in Russian).

5. Kholshchevnikov V. V. Terminology or ideology — obstruction to safe evacuation of people from high-rise buildings in case of fire. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 1, pp. 5–26 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.01.5-26.
6. Thompson P., Nilsson D., Boyce K., McGrath D. Evacuation models are running out of time. *Fire Safety Journal*, 2015, vol. 78, pp. 251–261. DOI: 10.1016/j.firesaf.2015.09.004.
7. Slyusarev S. V., Samoshin D. A. Parameters of the movement children with limited mobility for definition of an evacuation time estimate from buildings with their mass stay. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 4, pp. 3–55 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2016.25.04.43-55.
8. Skripnik L. Yu. *Fire safety skills formation in additional education system*. Cand. pedag. sci. diss. Moscow, 2010. 234 p. (in Russian).
9. Danchenko S. P. *“Life safety” course practice as a condition for student adaptation to emergencies*. Cand. pedag. sci. diss., Saint Peterburg, 2004. 185 p. (in Russian).
10. Kaigorodov P. I. *Pedagogical techniques for integrative course “Life safety”*. Cand. pedag. sci. diss. Rostov-on-Don, 2002. 185 p. (in Russian).
11. Kostenok P. I. *General pedagogical basis of physical self-development and life safety for students in a modern educational institution*. Dr. pedag. sci. diss. Chelyabinsk, 2002. 307 p. (in Russian).
12. Chernyy S. P. *Psychological and pedagogical support of forming the skills of safe behavior in emergency situations for students in general education schools*. Cand. pedag. sci. diss. Krasnoyarsk, 2007. 181 p. (in Russian).
13. Kaplan Ya. B. *Problem-training situations as a means of forming fire-safe behavior of younger school-children*. Cand. pedag. sci. diss. Tyumen, 2009. 199 p. (in Russian).
14. Brunner J., Lewis D. Safe evacuation for students with disabilities. *Principal Leadership*, 2004, no. 5(4), pp. 65–66.
15. Hoffmann N., Steenbakkens P. Human touch. *Fire Prevention Magazine and Fire Engineers Journal*, 2005, no. 65(253), pp. 18–19.
16. Thompson P. A., Marchant E. W. A computer model for the evacuation of large building populations. *Fire Safety Journal*, 1995, vol. 24, issue 2, pp. 131–148. DOI: 10.1016/0379-7112(95)00019-p.
17. Proulx G. A stress model for people facing a fire. *Journal of Environmental Psychology*, 1993, vol. 13, issue 2, pp. 137–147. DOI: 10.1016/s0272-4944(05)80146-x.
18. Heliövaara S. *Computational models for human behavior in fire evacuations*. M. Sci. Thesis. Helsinki, Helsinki University of Technology, 2007.
19. Oregon Office of State Fire Marshal. *DO THE DRILL! A school resource guide for safety planning*. Available at: <http://www.oregon.gov/osp/sfm/docs/yfpi/schoolresources/dothedrill.pdf> (Accessed 2 March 2018).
20. Yoon Thomas. *Fire evacuation drill with a difference*. Available at: <http://www.articlesfactory.com/articles/technology/fire-evacuation-drill-with-a-difference.html> (Accessed 2 March 2018).
21. Hill Bryan. *Creating an effective fire evacuation plan*. Available at: <http://www.articlesfactory.com/articles/business/creating-an-effective-fire-evacuation-plan.html> (Accessed 2 March 2018).

For citation: Eremina T. Yu., Jug A. Some aspects of evaluation guidelines on evacuation training for variously-aged children. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 4, pp. 6–12 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.04.6-12.

А. А. КОБЕЛЕВ, канд. техн. наук, преподаватель кафедры пожарной безопасности в строительстве, Учебно-научный центр проблем пожарной безопасности в строительстве, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: artemkobelev@gmail.com)

Е. Ю. КРУГЛОВ, научный сотрудник Учебно-научного центра проблем пожарной безопасности в строительстве, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: 89268196698@mail.ru)

Р. М. АСЕЕВА, д-р хим. наук, профессор кафедры пожарной безопасности в строительстве, Учебно-научный центр проблем пожарной безопасности в строительстве, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: rm-aseeva@yandex.ru)

Б. Б. СЕРКОВ, д-р техн. наук, профессор кафедры пожарной безопасности в строительстве, Учебно-научный центр проблем пожарной безопасности в строительстве, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: serkov@antip.ru)

Ф. А. ШУТОВ, д-р техн. наук, профессор РГХТУ им. Д. И. Менделеева (Россия, 125047, г. Москва, ул. Миусская, 9; e-mail: fashutov@mail.ru)

УДК 641.841

ТЕРМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ ПОЛИМЕРНОЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ПОНИЖЕННОЙ ГОРЮЧЕСТИ

Приведен анализ применения органической теплоизоляции в строительстве. В качестве объектов исследования выбраны две марки пенополистирола и новый пенокомпозит "Репосом". Изучено поведение выбранных объектов при нагреве. Исследование термического поведения полимерных теплоизоляционных материалов (ТИМ) основано на определении эффективных кинетических параметров (энергия активации, предэкспоненциальный множитель) и физическом механизме термического и термоокислительного разложения. Приведены результаты линейной усадки ряда органических и неорганических ТИМ при нагреве.

Ключевые слова: пенополистирол; термоокислительная деструкция; макрокинетические параметры; энергия активации; линейная термоусадка; термогравиметрический анализ.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.04.13-23

Введение

Теплоизоляционные материалы (ТИМ) находят широкое применение в строительной индустрии России и всего мира. Объем производства и потребления ТИМ в РФ, достигший в последние годы 50 млн. м³ [1, 2] в натуральном выражении, характеризуется разнонаправленными колебаниями, обусловленными причинами, выходящими за рамки интересов данной статьи. В структуре производства и потребления ТИМ неорганические волокнистые материалы занимают на данный момент 69 %, остальная доля рынка приходится на газонаполненные ТИМ на органической основе.

В структуре производства ТИМ на органической основе беспрессовый пенополистирол самозатухающий (ППС) занимает 18 %, экструдированный пенополистирол (ЭПС) — 11 %. Еще 2 % рынка приходится на быстроразвивающееся направление по производству полиуретановых (ПУР, ПИР) теплоизоляционных материалов [2].

Наряду с уже известными теплоизоляционными материалами, на рынке появились новые композиции, которые по заявленным разработчиками характеристикам могут превосходить традиционные полимерные пены по целому комплексу характеристик: теплоизолирующей способности, механическим свойствам, стойкости к воздействию огня. Одним из таких новых материалов является пенокомпозит "Репосом".

Репосом — это инновационный материал, экологически безопасный при изготовлении и применении, производится по энергосберегающей технологии без подвода тепла и давления.

Продукт с такими заявленными свойствами может являться хорошей альтернативой традиционным теплоизоляционным материалам при хорошем сочетании теплофизических, механических и пожаробезопасных характеристик.

Цель настоящей работы состояла в изучении механизма термоокислительной деструкции (ТОД) по-

лимерной теплоизоляции пониженной горючести — двух промышленных образцов ППС и трудногорючего полимерного пенокомпозиата “Penocom”.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- провести сравнительный анализ формоустойчивости разных видов ТИМ, как несгораемых неорганических, так и полимерных пенопластов пониженной горючести, при динамическом режиме нагрева от 25 до 900 °С;
- определить механизм и макрокинетические параметры пиролиза и термоокислительной деградации газонаполненных ТИМ на основе термопластичного самозатухающего пенополистирола, а также неплавкого, карбонизирующегося, трудносгораемого пенокомпозиата “Penocom” на основе термореактивных олигомеров.

Объекты и методы исследования

Источником полистирольных ТИМ являются полимеры и сополимеры стирола. Современный объем производства полимеров стирола приведен в табл. 1 [3].

В строительной отрасли полимеры стирола в настоящее время используются в виде беспрессового (ППС) и экструдированного (ЭПС) пенополистирола. ППС применяется в качестве вспененных утеплительных плит, в сэндвич-панелях, опалубке, фасадных системах, ЭПС — для шумо-, тепло- и гидроизоляционных плит и листов, в качестве облицовочных и декоративных материалов (потолочная плитка, плинтусы и пр.) [3].

Несмотря на то что стирол впервые был получен в 1831 г., а первые образцы пенополистирола — в 1845 г., его практическое применение и решение связанных с этим проблем началось только в XX веке. В 40-х годах прошлого века ППС в противоударной упаковке появился в таких странах, как США и Германия, а в 50-х годах он начал применяться и в других странах, в частности в качестве теплоизоляции фасадов зданий [4, 5]. ППС зарекомендовал себя как долговечный, экологичный, эффективный материал при комплексном утеплении мало- и многоэтажных домов, монтаже межэтажных перекрытий, утеплении магистральных трубопроводов и пр.

В настоящее время в России производство пенополистирольных теплоизоляционных плит, изготавливаемых беспрессовым способом из вспенивающегося полистирола, регламентируется ГОСТ 15588–2014. В новом стандарте вместо классификации по плотности материала введена новая система, учитывающая прочность на сжатие, изгиб и растяжение, теплопроводность, влажность, водопоглощение, время самостоятельного горения. Материал, не соответствующий всем этим требованиям для заданной марки, не может поставляться на рынок.

Все требуемые свойства изложены в таблицах ГОСТ 15588–2014. Например, пенополистирольные плиты типа “Р” (резаные из крупногабаритных блоков) марки ППС 10 должны обладать плотностью не менее 10 кг/м³, прочностью на сжатие при 10 %-ной линейной деформации не менее 40 кПа, теплопроводностью в сухом состоянии при температуре (25±5) °С не более 0,044 Вт/(м·К).

Наличие комплекса требований к ППС в ГОСТ 15588–2014 позволило современным производителям значительно расширить номенклатуру материалов с учетом области их применения и степени ответственности объекта. В основном все производители ППС, в том числе наиболее крупные, линейку производимых материалов выстраивают в соответствии с приложением к ГОСТ 15588–2014, которое носит рекомендательный характер. Рекомендуемая область применения пенополистирольных плит с различными характеристиками приведена в табл. 2.

В соответствии с табл. 2 для пенополистирольных плит на объектах без значительных нагрузок требуются материалы с маркировкой от ППС 10 до ППС 23. Наиболее широко применяются плиты типа “Р”. Плиты марок ППС 10, ППС 12, ППС 13 и ППС 14 используются для теплоизоляции в каркасных стенах, скатных кровлях, сэндвич-панелях. Плиты с маркировкой “Ф” применяются для теплоизоляции в фасадных теплоизоляционных композиционных системах с наружными штукатурными слоями ФТКС (ГОСТ 33740–2016). Плиты марок ППС 17, ППС 20, ППС 23 используются для теплоизоляции обогреваемых полов, полов по грунту, полов холодильников, в кровлях и сэндвич-панелях повышенной надежности. Наиболее прочные плиты

Таблица 1. Объем производства полимеров стирола в период 2011–2016 гг.

Table 1. The volume of production of styrene polymers in the period 2011–2016

Показатель / Index	Год / Year					
	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Объем производства, тыс. т Production volume, thousand tons	348	378	457	537	536	536
Темп роста, %/год Growth rate, %/year	—	13	9	21	–0,2	0

Таблица 2. Область применения пенополистирольных плит по ГОСТ 15588–2014**Table 2.** Field of application of expanded polystyrene (EPS) boards in appliance with State Standard 15588–2014

Марка плит типа / Type of boards			Область применения / Application area
Р	РГ / PG	Т	
ППС 10 / EPS 10 ППС 12 / EPS 12 ППС 13 / FPS 13 ППС 14 / FPS 14	— — — —	— — — —	В качестве ненагруженной тепловой изоляции в среднем слое трехслойных ограждающих конструкций As an unloaded thermal insulation in the middle layer of three-layered enclosing structures
ППС 16Ф EPS 16F	ППС 15Ф EPS 15F ППС 20Ф EPS 20F	— —	Для утепления вертикальных ограждающих конструкций фасадными теплоизоляционными композиционными системами с наружными штукатурными слоями For insulation of vertical enclosing structures with facade thermal insulation composite systems with external plaster layers
ППС 17 / EPS 17 ППС 20 / EPS 20 ППС 23 / EPS 23	— — —	ППС 15 / EPS 15	Для нагружаемой тепловой изоляции кровель, полов и других конструкций For loadable thermal insulation of roofs, floors and other structures
ППС 25 / EPS 25 ППС 30 / EPS 30 ППС 35 / EPS 35 — — —	— — — — — —	ППС 20 / EPS 20 ППС 25 / EPS 25 ППС 30 / EPS 30 ППС 35 / EPS 35 ППС 40 / EPS 40 ППС 45 / EPS 45	В качестве тепловой изоляции поверхностей, подвергаемых при эксплуатации воздействию значительных нагрузок (полы и кровли, эксплуатируемые в условиях воздействия пешеходной и автомобильной нагрузок, фундаменты, полы подвалов, нулевых и цокольных этажей зданий, гаражей, автостоянок, бассейнов, холодильных камер, поверхности искусственных катков и др.) As thermal insulation of surfaces i. e. exposed to significant loads (for floors and roofs, operated under pedestrian and automobile loads, basement floors, foundations, semi-basement floors of buildings, garages, car parkings, swimming pools, refrigerators, artificial ice rinks, etc.)

марки ППС 35 обычно применяются в полах промышленных и жилых зданий, подвергаемых значительным нагрузкам при эксплуатации.

На рынке также присутствуют бюджетные решения (выходящие за требования ГОСТ 15588–2014), в которых предусматривается применение материалов с плотностью и прочностью ниже требуемых значений. Такие материалы рекомендуются производителями для малоэтажного домостроения.

Необходимо отметить, что теплоизоляционные материалы на органической полимерной основе были исключены из рассмотрения авторами работ [6, 7]. Между тем они достаточно широко используются в строительстве, особенно пенополистирол и его модификации в качестве теплоизоляции. Стандартные испытания пожарной опасности пенополистирола с плотностью 25–50 кг/м³ от разных производителей показывают, что все материалы имеют пожарно-технические характеристики ГЗ, В2, ДЗ, ТЗ. ППС обладают высокой теплотой сгорания $Q_n = 41,2$ МДж/кг и низким кислородным индексом $KI = 20$ %. Температура их плавления составляет около 150 °С, температура воспламенения — 310 °С. Теплопроводность ППС в зависимости от плотности находится в пределах 0,033–0,044 Вт/(м·К). Испытания в условиях стандартного температурного режима пожара фрагментов стен из трехслойных панелей со стальными или асбоцементными обшивками и плитами

ППС с плотностью 30–35 кг/м³ показали, что утеплитель воспламеняется через 3–4 мин одностороннего нагрева, а затем происходит скрытое распространение горения внутри конструкции, сопровождающееся образованием расплава, дыма и токсичных газов. Этот процесс продолжается до полного выгорания теплоизоляции, даже при удалении источника теплового воздействия на конструкцию. Навесные стены с обшивками из тонких металлических листов или асбоцементных плит толщиной 10 мм и теплоизоляцией ППС независимо от ее толщины отнесены к группе сгораемых конструкций с пределом огнестойкости 0,1–0,2 ч. Теплоизоляционные материалы из “самозатухающего” экструзионного и блочного пенополистирола не рекомендованы для применения на важных строительных объектах.

Механизмы реакции и макрокинетические параметры термоокислительной деструкции пенополистирола были исследованы ранее в ряде зарубежных работ. В них установлена зависимость макрокинетических параметров термической и термоокислительной деструкции от следующих факторов: скорости нагрева, массы навески образца, реакционной среды испытания (воздух, инертный газ), метода расчета кинетических параметров, наличия антипирена [8–11]. Например, в работе Nishizaki [10] на примере терморазложения пенополистирола с помощью ряда интегральных и дифференциальных методов

Таблица 3. Основные физико-механические свойства исследуемых образцов ТИМ**Table 3.** Basic physical and mechanical properties of the test samples of TIM

Образец ТИМ Sample TIM	Плотность ρ , кг/м ³ Density ρ , kg/m ³	Прочность на сжатие при 10 %-ной линейной деформации, кПа Compressive strength at 10 % linear deformation, kPa	Предел прочности при изгибе, кПа Tensile strength in bending, kPa	Теплопроводность λ при $t = 25^\circ\text{C}$, Вт/(м·К) Thermal conductivity λ at $t = 25^\circ\text{C}$, W/(m·K)	Водопоглощение за 24 ч, % об. Water absorption for 24 hours, % by vol.	Время самостоятельного горения, с Self-burning time, sec
ППС 10 EPS 10	10	40	60	0,044	4,0	4
ППС 14 EPS 14	14	80	150	0,040	3,0	4
Penocom	30–300	150–450	–	0,035–0,070	–	–

определения кинетических параметров показана разница в значениях порядка реакции n , энергии активации E и предэкспоненциального множителя A . При этом значения энергии активации, рассчитываемые разными аналитическими методами, могут находиться в диапазоне 80–280 кДж/моль.

Второй исследуемый материал — Penocom, сертифицированный как материал с пожарно-техническими характеристиками Г1, В2. Изделия из пенокомпозита “Penocom” разной плотности могут быть получены как в заводских условиях в виде блочных плит большого размера, скорлуп, изделий сложного профиля, так и на месте возведения строительного объекта при температурах от минус 30 до +50 °С. Важно отметить, что этот материал при огневом воздействии обугливается, не теряя формы, а образовавшийся при этом пенококс не тлеет после удаления источника нагрева и продолжает выполнять в конструкции функцию термостойкой теплоизоляции. Были проведены испытания образцов ограждающих конструкций с теплоизоляцией “Penocom” на огнестойкость в условиях стандартного температурного режима пожара по ГОСТ 30247.0–94 и ГОСТ 30247.1–94. В качестве образцов использовались фрагменты несущих стен и перегородок деревянных зданий легкого каркасного типа. Испытания показали, что при толщине теплоизоляции 150 мм достигается фактический предел огнестойкости конструкций по признакам их целостности и теплоизолирующей способности EI 90. Выявлена тенденция к увеличению предела огнестойкости ограждающих конструкций с уменьшением плотности теплоизоляции “Penocom” [12–16].

В табл. 3 представлены физико-механические свойства трех полимерных ТИМ.

Для проведения термического анализа [17, 18] полимерных ТИМ в воздушной и инертной средах при нагреве со скоростью 5–20 °С/мин применяли приборы Mettler Toledo TGA/DSC. Формоустойчивость и линейную усадку ТИМ оценивали при нагревании образцов на воздухе со скоростью 12 °С/мин в муфельной печи.

Результаты и их обсуждение

На рис. 1 приведены результаты эксперимента по определению линейной термоусадки разных ТИМ при динамическом нагреве в муфельной печи.

Плавление и усадка ППС активно протекают при температуре выше 80–100 °С, ППУ — начиная со 170 °С. Стекловолоконная теплоизоляция плавится при температуре выше 430 °С, а базальтовая теплоизоляция не меняет форму и объем до 650 °С. При 700 и 900 °С усадка базальтовой теплоизоляции равна соответственно 42 и 62 %. Потеря массы стекловолоконистой теплоизоляции составляет 6 % при 310 °С, что происходит за счет разложения связующего. Далее масса образца остается постоянной. Базальтовая теплоизоляция к моменту плавления и достижения температуры 900 °С теряет соответ-

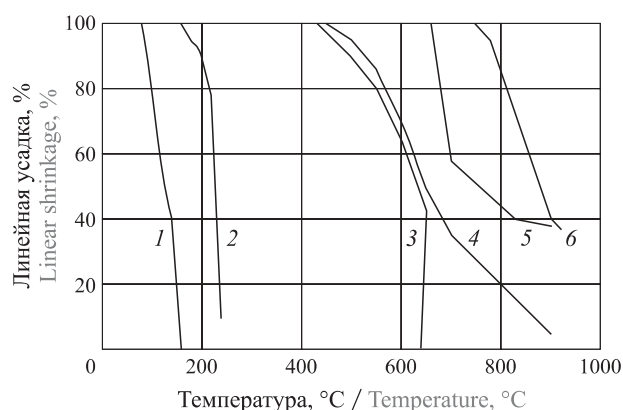


Рис. 1. Влияние температуры на линейную усадку ТИМ: 1* — ППС 14 ($\rho = 26 \text{ кг/м}^3$); 2 — ППУ ($\rho = 30 \text{ кг/м}^3$); 3 — стекловолоконная плита ($\rho = 12 \text{ кг/м}^3$); 4* — пенокомпозит “Penocom” ($\rho = 140 \text{ кг/м}^3$); 5 — базальтовая волокнистая теплоизоляция ($\rho = 38 \text{ кг/м}^3$); 6* — Rockwool Лайт Баттс Скандик ($\rho = 36 \text{ кг/м}^3$). * Нагрев со скоростью 12 °С/мин на воздухе

Fig. 1. The effect of temperature on the linear shrinkage of TIM: 1* — EPS 14 ($\rho = 26 \text{ kg/m}^3$); 2 — PUF ($\rho = 30 \text{ kg/m}^3$); 3 — glass-fiber plate ($\rho = 12 \text{ kg/m}^3$); 4* — composite “Penocom” ($\rho = 140 \text{ kg/m}^3$); 5 — basaltic fiber insulation ($\rho = 38 \text{ kg/m}^3$); 6* — Rockwool Light Batts Scandic ($\rho = 36 \text{ kg/m}^3$). * Heating at a rate of 12 °C/min in air

венно 3 и 6 % массы. Образец Rockwool Лайт Баттс Скандик является наиболее тугоплавким ТИМ из испытанных в настоящей работе. Его усадка начинается при температуре выше 750 °С. От базальтоволокнутого ТИМ (см. рис. 1, кривая 5) теплоизоляция марки Rockwool отличается, по-видимому, более высоким суммарным содержанием оксидов Si и Al и пониженным содержанием оксидов Ca и Mg. Образец пенокомпозита “Репосом” не плавится. Его усадка начинается при температуре выше 470–480 °С в результате частичного “выгорания” образующегося при термическом разложении пенококса и при дальнейшем повышении температуры до 600 °С достигает 30 %. Таким образом, по формоустойчивости при нагреве пенокомпозит “Репосом” занимает промежуточное положение между стекловолокнутой и базальтоволокнутой теплоизоляцией.

Термический анализ проведен для двух промышленных образцов беспрессового пенополистирола (ППС 10, ППС 14), а также для полимерной теплоизоляции “Репосом”. Образцы ППС отличались не только по плотности, но и по содержанию антипиренов. Исследуемый образец пенокомпозита “Репосом” имел плотность $\rho = 140 \text{ кг/м}^3$.

Из анализа кривых разложения ППС 10, полученных методом термографии (ТГ), дифференци-

альной термографии (ДТГ) и дифференциально-сканирующей калориметрии (ДСК), следует, что его ТОД протекает после плавления материала в одну стадию в интервале температур 265–411 °С с максимальной скоростью при 370 °С (рис. 2).

Эти процессы характеризуются эндотермическим эффектом: теплота плавления $\Delta H_m = 69,5 \text{ Дж/г}$; энтальпия газификации $\Delta H_g = 533,25 \text{ Дж/г}$. Разложение пенокомпозита “Репосом” на воздухе начинается при температурах выше 250–260 °С и на всем протяжении протекает с выделением тепла, проявляя наибольший экзотермический эффект на последнем этапе, отражающем окисление пенококса, в интервале температур 450–530 °С. ТОД пенокомпозита “Репосом” имеет сложный характер. На ДТГ-кривой в виде гауссианов выделены четыре стадии скорости потери массы, перекрывающиеся друг друга в той или иной степени. Максимумы этих стадий соответствуют температурам 343, 411, 456 и 498 °С (рис. 3).

Наблюдаемый полихроматический характер ТОД пенокомпозита “Репосом”, по-видимому, обусловлен особенностями морфологической структуры ТИМ, последовательным включением в процесс окисления открытых макро- и микроячеек, а затем замкнутых и, наконец, открытых пор пенококса с большой площадью поверхности.

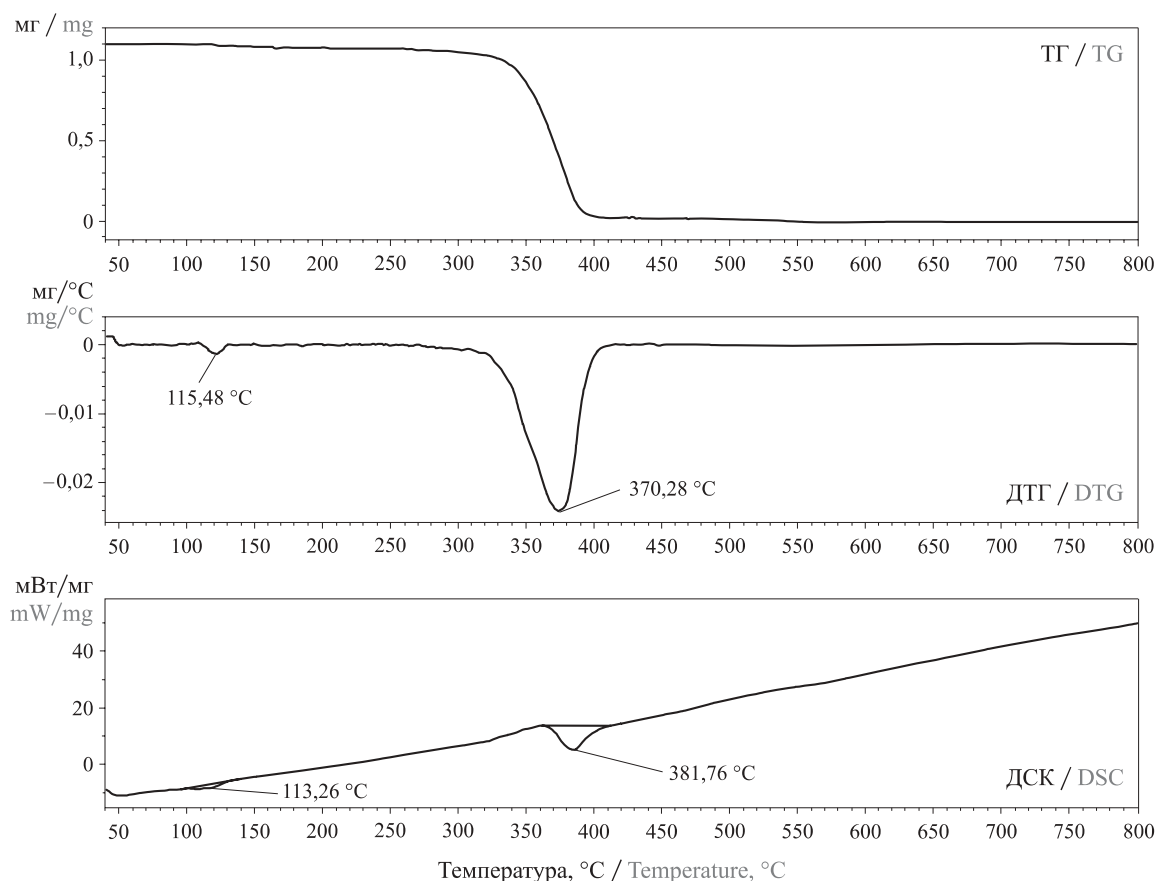


Рис. 2. ТГ-, ДТГ- и ДСК-кривые термоокислительного разложения ППС 10 при его нагревании со скоростью 20 °С/мин
Fig. 2. TG-, DTG- and DSC-curves of thermooxidative decomposition of EPS 10 when it is heated at a rate of 20 °C/min

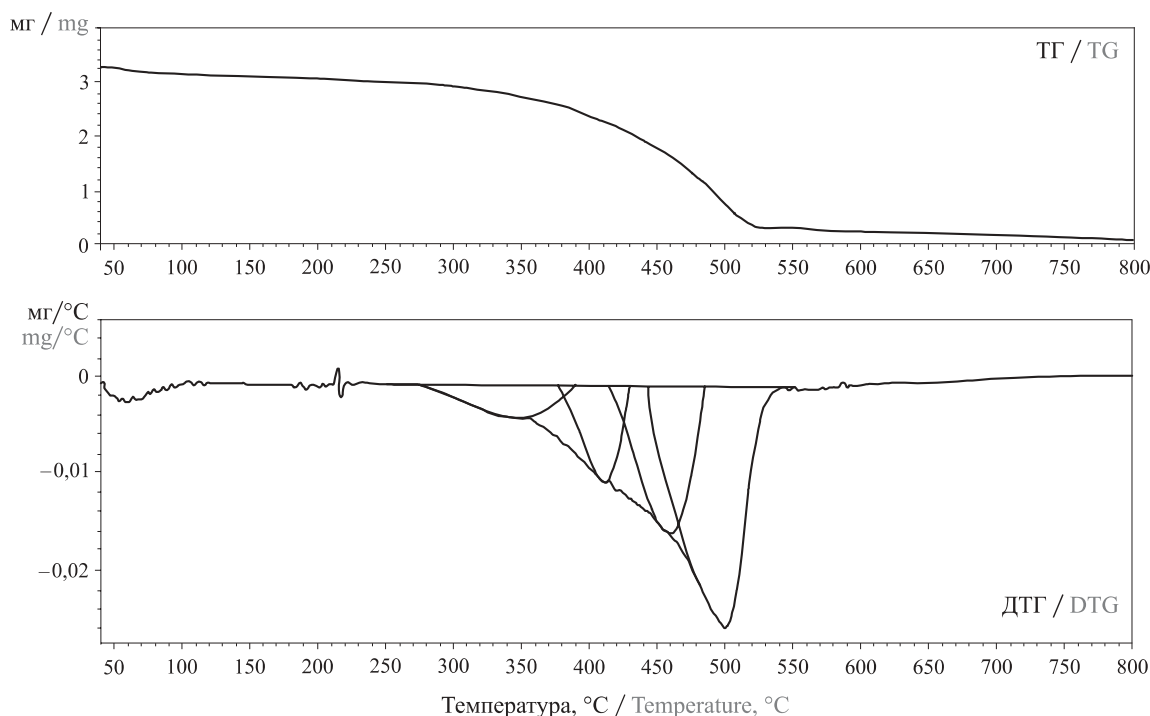


Рис. 3. ТГ- и ДТГ-кривые термоокислительного разложения пенокомпозиата “Penocom” при его нагревании со скоростью 10 °С/мин

Fig. 3. TG- and DTG-curves of thermo-oxidative decomposition of foam composite “Penocom”, when it is heated at a rate of 10 °C/min

В инертной среде ППС сохраняет одностадийный, эндотермический характер разложения. Процесс протекает лишь при более высоких температурах по сравнению с ТОД — в интервале 360–510 °С с максимальной скоростью потери массы 46,8 %/мин при температуре 438 °С (рис. 4). Характер пиролиза пенокомпозиата “Репосом” существенно изменяется. Процесс протекает в две стадии — при 260–430 °С и 430–775 °С. При нагревании до 800 °С остается 40 % кокса.

Расчет макрокинетических параметров разложения веществ по ТГ- и ДТГ-кривым, полученным в динамических условиях при постоянной скорости нагрева, основан на уравнении

$$d\alpha/dT = A \exp(-E/RT) f(\alpha)/\beta, \quad (1)$$

или после разделения переменных:

$$d\alpha/f(\alpha) = (A/\beta) \exp(-E/RT) dT, \quad (2)$$

где α — степень конверсии;

T — температура, К;

A — предэкспоненциальный множитель;

E — энергия активации;

R — универсальная газовая постоянная,

Дж/(моль·К);

β — скорость нагрева, °С/мин;

$f(\alpha)$ — функция, определяющая физический механизм разложения, индивидуальный закон

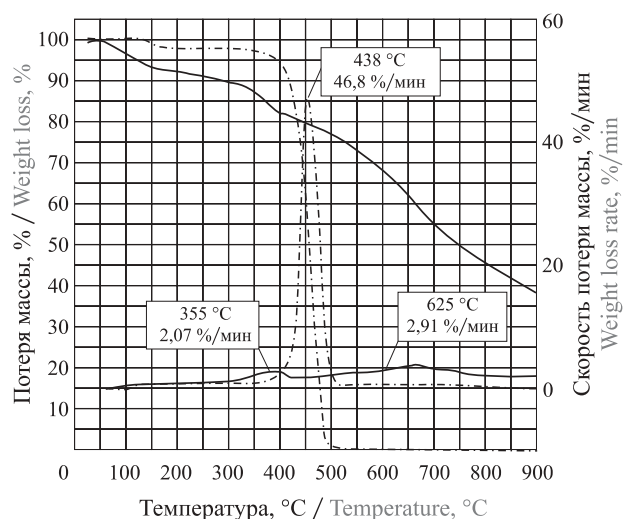


Рис. 4. ТГ- и ДТГ-кривые терморазложения пенокомпозиата “Penocom” (—) и ППС 14 (---)

Fig. 4. TG- and DTG-curves for thermal decomposition of the foam composite “Penocom” (—) and EPS 14 (---)

скорости разложения вещества от степени конверсии;

$$\alpha = (m_0 - m_t)/(m_0 - m_k); \quad (3)$$

m_0 , m_t , m_k — масса вещества соответственно в начальный, текущий и конечный моменты периода разложения.

Интеграл левой части уравнения (2) обозначают символом $g(\alpha)$ и называют интегрированной функ-

Таблица 4. Макрокинетические параметры разложения ППС и пенокомпозита “Penocom”**Table 4.** Macrokinetic parameters of the decomposition of EPS and foamed composite “Penocom”

ТИМ TIM	Среда Environment	Интервал температур $T_{\max}, ^\circ\text{C} *$ Temperature range $T_{\max}, ^\circ\text{C} *$	Физический механизм терморазложения Physical mechanism of thermal degradation	E , кДж/моль E , kJ/mol	$\log A$, мин ⁻¹ $\log A$, min ⁻¹	Порядок реакции Reaction order
ППС 10 / EPS 10	Воздух	260–420/370,3	R(1)	166,36	13,47	1
ППС 14 / EPS 14	Air	260–420/381,8	R(1)	198,9	15,87	1
“Penocom”		245–400/343	D3	122,38	8,28	1/3
		433–536/498	D3	254,9	17,03	1/3
ППС 14 / EPS 14	Аргон	330–500/438	R(1)	241,7	17,76	1
“Penocom”	Argon	260–430/355	R(1)	78,3	18,67	1
		430–775/625	R(1)	72,3	14,63	1

* Под чертой указана температура максимальной скорости потери массы, $^\circ\text{C}$.

Under line show the temperature of the maximum rate of weight loss, $^\circ\text{C}$.

цией конверсии. Интегрирование правой части уравнения (2) представляет значительные трудности, поэтому не раз предлагались разные приближенные решения [19–22]. Нами использована наиболее точная аппроксимация Горбачева, на которую также ссылаются в своей работе Rogers и Ohlemiller [21], в координатах $\log[g(\alpha)/T^2] - 1/T$ для оценки макрокинетических параметров:

$$g(\alpha) = \{ART^2/\beta(E + 2RT)\} \exp(-E/RT). \quad (4)$$

Для реалистичного описания кинетики разложения ТИМ необходимо определить механизм гетерогенной реакции разложения, т. е. функцию $g(\alpha)$. С этой целью использован подход, разработанный Criado [22] и основанный на оценке приведенной скорости разложения вещества, т. е. отнесенной к скорости его полураспада при $\alpha = 0,5$. Criado показал, что приведенная скорость $V = (T/T_{0,5})^2(d\alpha/dt) \times [(\alpha/dt)_{0,5}]^{-1}$ не зависит от кинетических параметров разложения и скорости нагрева, а зависит только от механизма разложения вещества. Так как величина $(T/T_{0,5})$ близка к 1, приведенную скорость можно определить по ДТГ-кривой по соотношению расстояний соответствующих точек от базовой линии.

Для выяснения механизма основных стадий ТОД и пиролиза образцов ТИМ мы воспользовались табулированными значениями приведенных скоростей разложения при $\alpha = 0,75$, а также значениями $\alpha_{\max}$, соответствующими максимальной приведенной скорости разложения и имеющими диагностический характер [21]. Результаты определения механизма и макрокинетических параметров отдельных стадий ТОД и пиролиза ТИМ пониженной горючести представлены в табл. 4.

Разложение самозатухающего пенополистирола в инертной и воздушной средах протекает в жидком состоянии по реакции первого порядка, механизму нуклеации R(1), при росте числа ядер (центров ини-

цирования деструкции) по закону случая. Интегрированная функция конверсии в этом случае описывается уравнением $g(\alpha) = [-\ln(1 - \alpha)]^n$. Высокое значение энергии активации пиролиза ППС 14 в исследуемом интервале температур практически совпадает с эффективной энергией деполимеризации полистирола. Кислород воздуха ускоряет разложение ППС 14, в то же время замечен большой вклад чисто термического направления его ТОД по сравнению с поведением ППС 10.

Сложный характер ТОД и пиролиза наблюдается при нагреве неплавкого, карбонизирующегося пенокомпозита “Penocom”. В воздушной среде на всех стадиях процесс разложения осуществляется по диффузионному механизму D3 в сферической геометрии и описывается уравнением $g(\alpha) = [1 - (1 - \alpha)^{1/3}]^2$, в инертной среде — по реакции первого порядка и механизму нуклеации R(1) с высокими значениями энтропийного фактора.

Заключение

Анализ результатов исследований методами термического анализа, а также определение формоустойчивости образцов в условиях динамического нагрева позволяет определить поведение различных ТИМ при нагреве. Установлен многостадийный характер разложения ТИМ “Penocom” в инертной среде и на воздухе; определены эффективные кинетические параметры отдельных стадий с учетом выявленного механизма гетерогенных реакций. Показано, что ТОД пенокомпозита происходит по диффузионному механизму D3 (с порядком реакции $n = 1/3$) на всех стадиях процесса. Пиролиз полимерного пенокомпозита протекает в две стадии, сопровождаясь карбонизацией, по реакции первого порядка ($n = 1$), механизму нуклеации R(1) и при росте числа ядер по закону случая. Определена формоустойчивость неорганических и полимерных ТИМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Селедкова Т. Рынок теплоизоляции в России в 2016 года сократился на 5–7 % // Отраслевой журнал “Строительство”. — 2017. — № 1-2. — С. 44–45. URL: http://ancb.ru/pdf_archive (дата обращения: 06.01.2018).
2. Эксперты ТехноНИКОЛЬ: Рынок теплоизоляционных материалов России в сегменте минеральной изоляции снизился на 10 %. URL: http://www.tn.ru/teplo/news/eksperty-tekhnonikol-rynok-teploizolyatsionnykh-materialov-rossii-v-segmente-mineralnoy-izolyatsii-s/?sphrase_id=45319 (дата обращения: 13.01.2018).
3. Волкова А. В. Рынки крупнотоннажных полимеров // Национальный исследовательский университет “Высшая школа экономики”. Институт “Центр развития”. Обзоры ключевых отраслей и рынков. — 2017. — 70 с. URL: <https://dcenter.hse.ru/otrasli> (дата обращения: 10.01.2018).
4. Teach W. C., Kiessling G. C. Polystyrene. — New York : Reinhold Publishing Corporation, 1960. — 180 p.
5. Feldman D. Polymer history // Designed Monomers and Polymers. — 2008. — Vol. 11, Issue 1. — P. 1–15. DOI: 10.1163/156855508x292383.
6. BS EN 1995-1-2:2004. Eurocode 5: Design of timber structure. Part 1–2: General — Structural fire design. — Brussels, Belgium : CEN, 2004.
7. Fire safety in timber buildings. Technical guideline for Europe. SP Report 2010:19. URL: http://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/doc/Fire_Timber_Ch_5-7.pdf (дата обращения: 10.01.2018).
8. Kannan P., Biernacki J. J., Visco D. P. A review of physical and kinetic models of thermal degradation of expanded polystyrene foam and their application to the lost foamcasting process // Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. — 2007. — Vol. 78, Issue 1. — P. 162–171. DOI: 10.1016/j.jaap.2006.06.005.
9. Kokta R. V., Valade J. L., Martin W. N. Dynamic thermogravimetric analysis of polystyrene: Effect of molecular weight on thermal decomposition // Journal of Applied Polymer Science. — 1973. — Vol. 17, Issue 1. — P. 1–19. DOI: 10.1002/app.1973.070170101.
10. Nishizaki H., Yoshida K., Wang J. H. Comparative study of various methods for thermogravimetric analysis of polystyrene degradation // Journal of Applied Polymer Science. — 1980. — Vol. 25, Issue 12. — P. 2869–2877. DOI: 10.1002/app.1980.070251218.
11. Mehta S., Biederman S., Shivkumar S. Thermal degradation of foamed polystyrene // Journal of Materials Science. — 1995. — Vol. 30, Issue 11. — P. 2944–2949. DOI: 10.1007/bf00349667.
12. Круглов Е. Ю., Кобелев А. А., Шутов Ф. А., Асеева Р. М. Термогравиметрический анализ разложения полимерного пенокомпозиата Reposom // Все материалы. Энциклопедический словарь. — 2016. — № 6. — С. 30–34.
13. Шутов Ф. А., Ярборо Д. Теплоизоляционные и экологические характеристики огнестойкого полимерного пенокомпозиата Reposom® // Технологии техносферной безопасности. — 2014. — № 4(56). — 4 с. URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2014-4/37-04-14.ttb.pdf> (дата обращения: 10.01.2018).
14. Шутов Ф. А. Огнестойкие материалы для снижения пожарной опасности малоэтажных объектов из древесины // Технологии техносферной безопасности. — 2014. — № 3(55). — 6 с. URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2014-3/22-03-14.ttb.pdf> (дата обращения: 10.01.2018).
15. Круглов Е. Ю., Шутов Ф. А., Асеева Р. М., Серков Б. Б., Сивенков А. Б. Огнестойкость ограждающих легких деревянных каркасных конструкций с теплоизоляцией из пенокомпозиата “Reposom” // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — 2015. — № 3. — С. 63–70.
16. Шутов Ф. А., Круглов Е. Ю., Асеева Р. М., Серков Б. Б., Сивенков А. Б. Влияние теплоизоляции из полимерного пенокомпозиата “Reposom” на огнестойкость ограждающих деревянных каркасных конструкций // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 1. — С. 28–37. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.01.28-37.
17. Уэндландт У. Термические методы анализа / Пер. с англ. — М. : Мир, 1978. — 527 с.
18. Шестак Я. Теория термического анализа: физико-химические свойства твердых неорганических веществ / Пер. с англ. — М. : Мир, 1987. — 456 с.
19. Thornton W. M. XV. The relation of oxygen to the heat of combustion of organic compounds // The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science. — 2009. — Vol. 33, Issue 194. — P. 193–203. DOI: 10.1080/14786440208635627.
20. Flynn J. H. Temperature dependence of the rate of reaction in thermal analysis. The Arrhenius equation in condensed phase kinetics // Journal of Thermal Analysis. — 1990. — Vol. 36, Issue 4. — P. 1579–1593. DOI: 10.1007/bf01914077.

21. Rogers F. E., Ohlemiller T. J. Pyrolysis kinetics of a polyurethane foam by thermogravimetry. A general kinetic method // Journal of Macromolecular Science: Part A — Chemistry. — 1981. — Vol. 15, No. 1. — P. 169–185. DOI: 10.1080/00222338108066438.
22. Criado J. M. Kinetic analysis of DTG from master curves // Thermochimica Acta. — 1978. — Vol. 24, Issue 1. — P. 186–189. DOI: 10.1016/0040-6031(78)85151-x.

Материал поступил в редакцию 1 февраля 2018 г.

Для цитирования: Кобелев А. А., Круглов Е. Ю., Асеева Р. М., Серков Б. Б., Шутов Ф. А. Термическое поведение полимерной теплоизоляции пониженной горючести // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 4. — С. 13–23. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.04.13-23.

English

THERMAL BEHAVIOR OF POLYMER THERMAL INSULATION WITH THE REDUCED COMBUSTIBILITY

KOBELEV A. A., Candidate of Technical Sciences, Lecture of Fire Safety in Construction Department, Educational Scientific Centre of Problems of Fire Safety in Construction, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: artemkobelev@gmail.com)

KRUGLOV E. Yu., Researcher, Educational Scientific Centre of Problems of Fire Safety in Construction, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: 89268196698@mail.ru)

ASEEVA R. M., Doctor of Chemical Sciences, Professor of Fire Safety in Construction Department, Educational Scientific Centre of Problems of Fire Safety in Construction, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: rm-aseeva@yandex.ru)

SERKOV B. B., Doctor of Technical Sciences, Professor of Fire Safety in Construction Department, Educational Scientific Centre of Problems of Fire Safety in Construction, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: serkov@antip.ru)

SHUTOV F. A., Doctor of Technical Sciences, D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia (Miusskaya St., 9, Moscow, 125047, Russian Federation; e-mail: fashutov@mail.ru)

ABSTRACT

Introduction. Polymeric thermal-insulation materials (EPS, XPS, polyurethane foam etc.) is widely used in buildings, including high-rise buildings. The fires in such buildings may lead to the mass death of peoples.

Purpose and objectives. The aim of this work is studying the thermal behavior of the thermal insulation from expandable polystyrene (EPS 10, EPS 14) and the new foamed composite “Penocom”. For this purpose, effective kinetic parameters (activation energy, pre-exponential factor) of thermal and thermo-oxidative degradation of the chosen polymeric materials were determined. Also, physical mechanisms of degradation in the air and inert environment were determined. Also, linear thermal shrinkage for a broader list of organic and mineral thermal insulation materials was determined.

Methods. Processes of thermal degradation were investigated with thermogravimetric analyzer Mettler Toledo TGA/DSC. Linear thermal shrinkage was determined with muffle furnace at heating rate 12 °C/min.

Results. Degradation of the EPS in the air and inert environment occurs in the liquid state. Reaction order $n = 1$, nucleation mechanism $R(1)$. The complex nature of thermal decomposition and pyrolysis is observed when heating foamed composite “Penocom” with a bulk density $\rho = 140 \text{ kg/m}^3$. In the air environment, the degradation process is carried out by diffusion mechanism D3, in the inert environment — by nucleation mechanism $R(1)$. The linear thermal shrinkage of EPS 14 was 100 % at 170 °C, Penocom — 60 % at 650 °C.

Conclusions. Analysis of experimental results has allowed determining thermal behavior of chosen polymeric thermal insulation materials. This results can be used, for instance, in fire modeling.

Keywords: expandable polystyrene; thermooxidizing destruction; macrokinetic parameters; activation energy; linear thermal shrinkage; thermogravimetric analysis.

REFERENCES

1. Seledkova T. Thermal insulation market in Russia is decreased by 5–7 % in 2016. *Otraslevoy zhurnal “Stroitelstvo” / Industry Journal “Construction”*, 2017, issue 1-2, pp. 44–45 (in Russian). Available at: http://ancb.ru/pdf_archive (Accessed 6 January 2018).
2. “TechnoNIKOL” experts: Thermal insulation market in Russia is decreased by 10 % in nonorganic segment (in Russian). Available at: http://www.tn.ru/teplo/news/eksperty-tekhnonikol-rynok-teploizolyatsionnykh-materialov-rossii-v-segmente-mineralnoy-izolyatsii-s/?sphrase_id=45319 (Accessed 13 January 2018).
3. Volkova A. V. Large-capacity polymers market. *National Research University Higher School of Economics, Centre of Development Institute, Reviews of Key Industries and Markets*, 2017. 70 p. (in Russian). Available at: <https://dcenter.hse.ru/otrasli> (Accessed 10 January 2018).
4. Teach W. C., Kiessling G. C. *Polystyrene*. New York, Reinhold Publishing Corporation, 1960. 180 p.
5. Feldman D. Polymer history. *Designed Monomers and Polymers*, 2008, vol. 11, issue 1, pp. 1–15. DOI: 10.1163/156855508x292383.
6. BS EN 1995-1-2:2004. *Eurocode 5: Design of timber structure. Part 1-2: General — Structural fire design*. Brussels, Belgium, CEN, 2004.
7. *Fire safety in timber buildings. Technical guideline for Europe. SP Report 2010:19*. Available at: http://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/doc/Fire_Timber_Ch_5-7.pdf (Accessed 10 January 2018).
8. Kannan P., Biernacki J. J., Visco D. P. A review of physical and kinetic models of thermal degradation of expanded polystyrene foam and their application to the lost foamcasting process. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 2007, vol. 78, issue 1, pp. 162–171. DOI: 10.1016/j.jaap.2006.06.005.
9. Kokta R. V., Valade J. L., Martin W. N. Dynamic thermogravimetric analysis of polystyrene: Effect of molecular weight on thermal decomposition. *Journal of Applied Polymer Science*, 1973, vol. 17, issue 1, pp. 1–19. DOI: 10.1002/app.1973.070170101.
10. Nishizaki H., Yoshida K., Wang J. H. Comparative study of various methods for thermogravimetric analysis of polystyrene degradation. *Journal of Applied Polymer Science*, 1980, vol. 25, issue 12, pp. 2869–2877. DOI: 10.1002/app.1980.070251218.
11. Mehta S., Biederman S., Shivkumar S. Thermal degradation of foamed polystyrene // *Journal of Materials Science*, 1995, vol. 30, issue 11, pp. 2944–2949. DOI: 10.1007/bf00349667.
12. Kruglov E. Yu., Kobelev A. K., Shutov F. A., Aseyeva R. M. Thermogravimetric analysis of “Penocom” polymer foam composite decomposition. *Vse materialy. Entsiklopedicheskii spravochnik / All the Materials. Encyclopaedic Reference Book*, 2016, no. 6, pp. 30–34 (in Russian).
13. Shutov F. A., Yarbrough D. Insulation and environmental specifications flame retardant polymer foam composites Penocom®. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti / Technology of Technosphere Safety*, 2014, no. 4(56). 4 p. (in Russian). Available at: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2014-4/37-04-14.ttb.pdf> (Accessed 10 January 2018).
14. Shutov F. A. Fire-resistant materials to reduce the risk of fire low-rise objects of wood. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti / Technology of Technosphere Safety*, 2014, no. 3(55). 6 p. (in Russian). Available at: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2014-3/22-03-14.ttb.pdf> (Accessed 10 January 2018).
15. Kruglov E. Yu., Shutov F. A., Aseeva R. M., Serkov B. B., Sivenkov A. B. Fire resistance of cladding light wooden framework structures with thermal insulation made of foam composite Penocom. *Pozhary i chrezvychaynyye situatsii: predotvrashcheniye, likvidatsiya / Fire and Emergencies: Prevention, Elimination*, 2015, no. 3, pp. 63–70 (in Russian).

16. Shutov F. A., Kruglov E. Yu., Aseeva R. M., Serkov B. B., Sivenkov A. B. Influence of polymeric foam composite “Penocom” on fire resistance of wood frame separating constructions. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 1, pp. 28–37 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2016.25.01.28-37.
17. Wendlandt W. W. *Thermal methods of analysis*. 2nd ed. New York, John Wiley & Sons, Inc., 1974 (Russ. ed.: Wendlandt W. Termicheskiye metody analiza. Moscow, Mir Publ., 1978. 527 p.)
18. Šesták J. *Thermophysical properties of solids: their measurements and theoretical thermal analysis*. Prague, Academia Publ., 1984 (Russ. ed.: Shestak Ya. Teoriya termicheskogo analiza: fiziko-khimicheskiye svoystva tverdykh neorganicheskikh veshchestv. Moscow, Mir Publ., 1987. 456 p.).
19. Thornton W. M. XV. The relation of oxygen to the heat of combustion of organic compounds. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 2009, vol. 33, issue 194, pp. 193–203. DOI: 10.1080/14786440208635627.
20. Flynn J. H. Temperature dependence of the rate of reaction in thermal analysis. The Arrhenius equation in condensed phase kinetics. *Journal of Thermal Analysis*, 1990, vol. 36, issue 4, pp. 1579–1593. DOI: 10.1007/bf01914077.
21. Rogers F. E., Ohlemiller T. J. Pyrolysis kinetics of a polyurethane foam by thermogravimetry. A general kinetic method. *Journal of Macromolecular Science: Part A — Chemistry*, 1981, vol. 15, no. 1, pp. 169–185. DOI: 10.1080/00222338108066438.
22. Criado J. M. Kinetic analysis of DTG from master curves. *Thermochimica Acta*, 1978, vol. 24, issue 1, pp. 186–189. DOI: 10.1016/0040-6031(78)85151-x.

For citation: Kobelev A. A., Kruglov E. Yu., Aseeva R. M., Serkov B. B., Shutov F. A. Thermal behavior of polymer thermal insulation with the reduced combustibility. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 4, pp. 13–23 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.04.13-23.



БЫТОВАЯ СИСТЕМА АВАРИЙНОГО ДЫХАНИЯ SAVER

Во время пожаров в 80 % случаев люди гибнут от дыма, а не от огня. Каждая минута пребывания в задымленном жилом здании снижает шанс на выживание на 5–7 %, так что времени на раздумывание нет вообще. Кроме того, часто отравление дымом и токсичными газами, образующимися во время пожаров, бывает намного более разрушительным для организма, чем совместимые с жизнью ожоги. Свести к минимуму опасность отравления дымом и повысить шансы на выживание поможет система аварийного дыхания Saver. В течение пяти минут она полностью нейтрализует токсические вещества и позволяет нормально дышать даже в очень задымленной атмосфере. Еще комплект включает мощный фонарик и звуковой маячок, чтобы пожарные могли быстрее определить ваше местоположение. Фактически это своего рода технологичный противогаз в миниатюре. Saver предлагается в варианте для двух и для четырех человек.

<https://www.iphones.ru/tracer/saver-emergency-breath-system>

Ф. А. ПОРТНОВ, канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: wastingtimefilmart@gmail.com)

УДК 699.8:614.8+544+630.3

ВЛИЯНИЕ МОДИФИКАТОРОВ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕНОКОКСА, ОБРАЗУЮЩЕГОСЯ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОМ РАЗЛОЖЕНИИ ДРЕВЕСИНЫ

Приведены результаты исследования влияния модификаторов поверхностного слоя древесины, в качестве которых использованы фосфорсодержащие антипирены, на структуру и свойства коксового слоя, образующегося при термическом разложении. Для оценки влияния модификаторов на процесс образования коксового слоя исследованы исходные и модифицированные образцы древесины сосны до и после термического разложения методами электронной микроскопии и адсорбции. Проведен термический анализ методами термогравиметрии (ТГ), дифференциальной термогравиметрии (ДТГ) и дифференциально-сканирующей калориметрии. Сделаны выводы о влиянии эффективных модификаторов на протекание термического разложения древесины. Установлена возможность "мягкого" термического разложения в случае укрепления структуры древесины и уменьшения ее пористости.

Ключевые слова: термическое разложение; древесина; модифицирование; термогравиметрия; поверхностный слой; карбонизованный слой.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.04.24-31

Введение

Древесина является природным строительным материалом. В настоящее время деревянное зодчество приобрело большое значение и актуальность в России. Древесина является легкодоступным материалом, который достаточно экономичен с точки зрения его обработки и производства древесных строительных материалов. Одна из важных характеристик древесины — ее экологичность. Пребывание человека в зданиях, построенных с применением строительных конструкций или отделки из древесины, полезно для здоровья человека. Кроме того, одно из достоинств древесины заключается в возможности вторичного использования отходов производства древесных строительных материалов [1–5].

Исходная древесина обладает высокой пожарной опасностью. В ряде работ изучены стадии термического разложения древесины. В области низких температур происходит дегидратация древесины, при этом потеря массы образца составляет около 7 %. Карбонизации древесины на этой стадии не наблюдается. Известно, что первая стадия термического разложения древесины начинается при температуре 300–320 °С. На этой стадии происходит выгорание образца древесины более чем на 60 %, а также коксование ее поверхности. При температуре выше

420 °С наблюдается дальнейшее выгорание образца. Потеря массы в этой области достигает 25 %. Предел огнестойкости деревянных, в частности вертикальных, конструкций характеризуется временем достижения предельного сечения при горении. При этом происходит послойное выгорание материала. Термическое разложение более глубоких слоев древесины наблюдается при частичном разложении и механическом разрушении наружных слоев. Известно, что карбонизованный слой древесины характеризуется большей пористостью по сравнению с древесиной до термического разложения и хрупкостью, тем не менее такой слой может обеспечить устойчивость подложки к воздействию высоких температур. Увеличение устойчивости поверхностного слоя древесины к воздействию пламени является фактором повышения предела огнестойкости [6–8].

Один из наиболее эффективных способов изменения структуры и свойств поверхности древесных материалов — поверхностное адсорбционно-химическое модифицирование. Модифицирование древесины происходит при поверхностном нанесении реакционноспособных растворов (10–30 %) элементоорганических соединений (фосфор-, кремний-содержащих, боразотных) в нормальных условиях ($t = 20 \div 25$ °С, $P = 1$ атм). Глубина пропитки при этом составляет 0,5–1,0 мм [9–11].

На основании вышеизложенного определена цель настоящей работы — оценка влияния модификаторов поверхностного слоя древесины на образование коксового слоя древесины при ее термическом разложении и на его характеристики. Для ее реализации необходимо решить следующие задачи:

- провести оценку процесса термического разложения древесины, модифицированной различными модификаторами поверхностного слоя;
- оценить влияние динамики термического разложения и природы модификатора на свойства и структуру образующегося поверхностного коксового слоя.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования является древесина заболони сосны. В качестве модификаторов в работе были использованы 20 %-ные растворы алкильных эфиров кислот фосфора: диметилфосфита (ДМФ), диэтилфосфита (ДЭФ), дифенилфосфита (ДФФ) и полифосфата аммония ПФА-1 (степень полимеризации $n > 1000$). Составы наносились поверхностно при нормальных условиях в три слоя с расходом 300 г/м².

Исследование влияния модификаторов на термическое разложение древесины проводилось методом термического анализа с использованием прибора Netzsch STA 409С. Этот прибор позволяет получить данные по термогравиметрии (ТГ), дифференциальной термогравиметрии (ДТГ) и дифференциально-сканирующей калориметрии (ДСК) [12–15].

Анализ поверхности карбонизованного слоя древесины исходной и модифицированной после тер-

мического разложения был проведен методом растровой электронной микроскопии [16, 17].

Свойства пористой структуры слоя исходной и модифицированной древесины изучались методом сорбции паров воды [18–20].

Результаты эксперимента

На рис. 1–3 представлены данные по термическому разложению исходной, а также модифицированной древесины. На рис. 1 показана зависимость

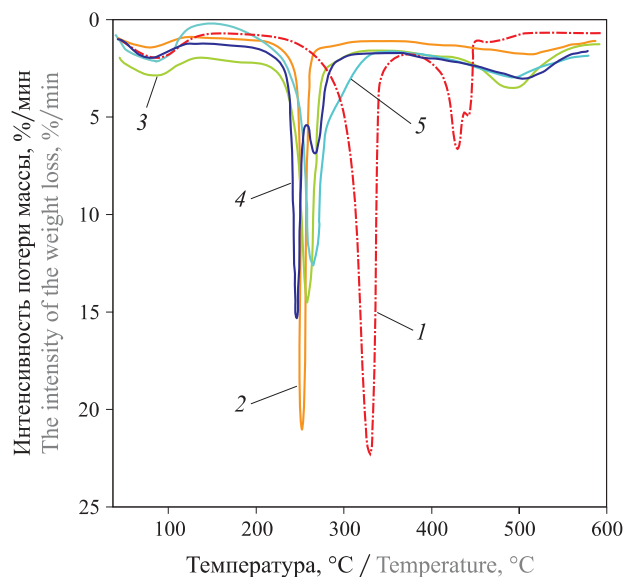


Рис. 2. Дифференциальная термогравиметрия древесины исходной (1) и модифицированной ДМФ (2), ДЭФ (3), ДФФ (4) и ПФА-1 (5)

Fig. 2. Differential thermogravimetry of the original wood (1) and wood modified by DMF (2), DEF (3), DFF (4) and APF-1 (5)

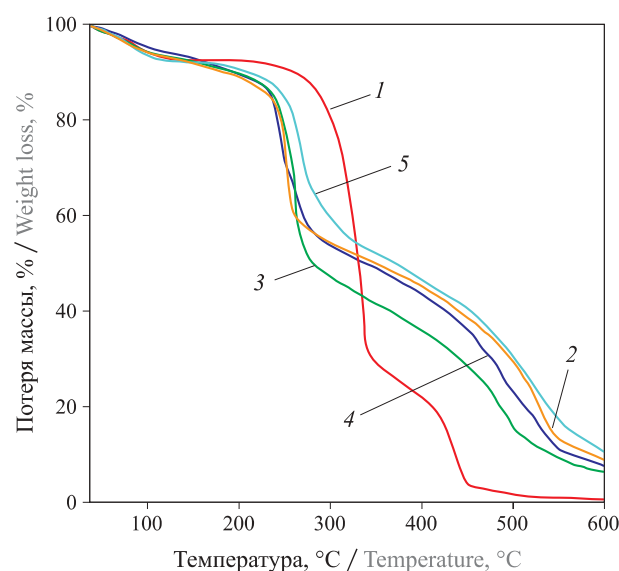


Рис. 1. Термогравиметрия древесины исходной (1) и модифицированной ДМФ (2), ДЭФ (3), ДФФ (4) и ПФА-1 (5)

Fig. 1. Thermogravimetry of the original wood (1) and wood modified by DMF (2), DEF (3), DFF (4) and APF-1 (5)

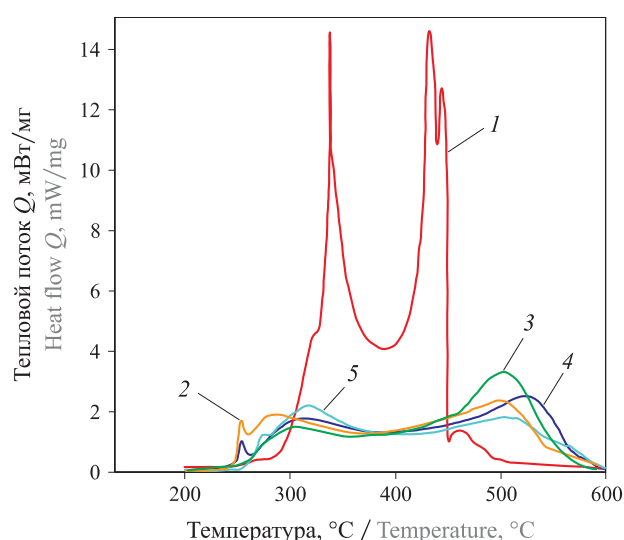


Рис. 3. Дифференциально-сканирующая калориметрия древесины исходной (1) и модифицированной ДМФ (2), ДЭФ (3), ДФФ (4) и ПФА-1 (5)

Fig. 3. Differential-scanning calorimetry of the original wood (1) and wood modified by DMF (2), DEF (3), DFF (4) and APF-1 (5)

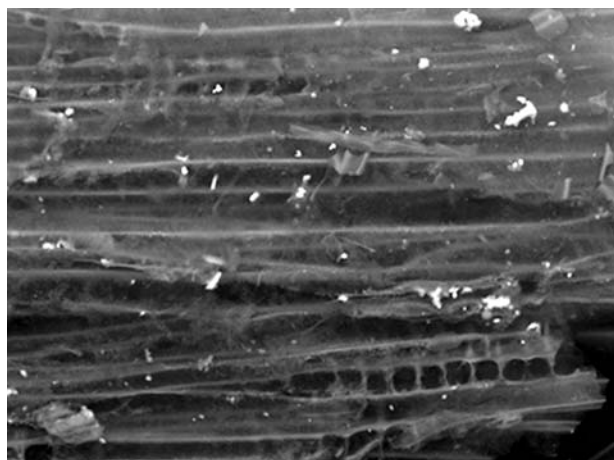


Рис. 4. Карбонизованный слой исходной древесины при увеличении $200\times$

Fig. 4. Carbonized surface of the original wood at magnification of $200\times$

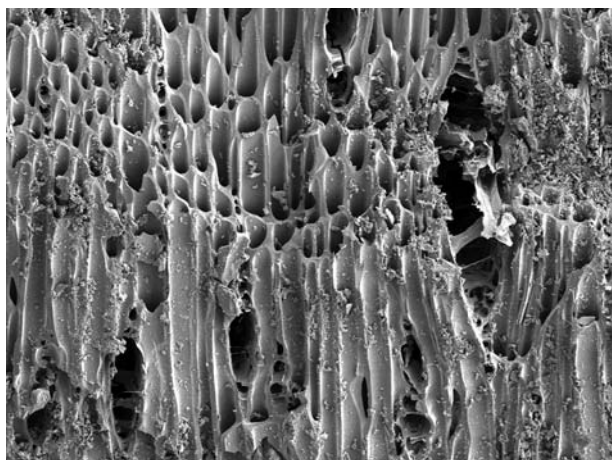


Рис. 7. Карбонизованный слой древесины, модифицированной ДФФ, при увеличении $200\times$

Fig. 7. Carbonized surface of the wood modified by DFF at magnification of $200\times$

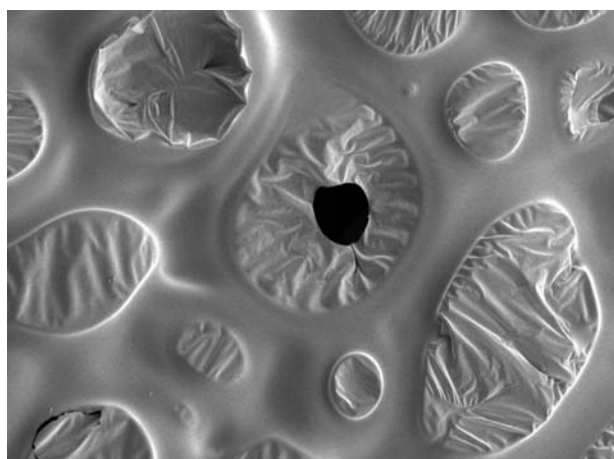


Рис. 5. Карбонизованный слой древесины, модифицированной ДМФ, при увеличении $300\times$

Fig. 5. Carbonized surface of the wood modified by DMF at magnification of $300\times$



Рис. 8. Карбонизованный слой древесины, модифицированной ПФА-1, при увеличении $200\times$

Fig. 8. Carbonized surface of the wood modified by APF-1 at magnification of $200\times$

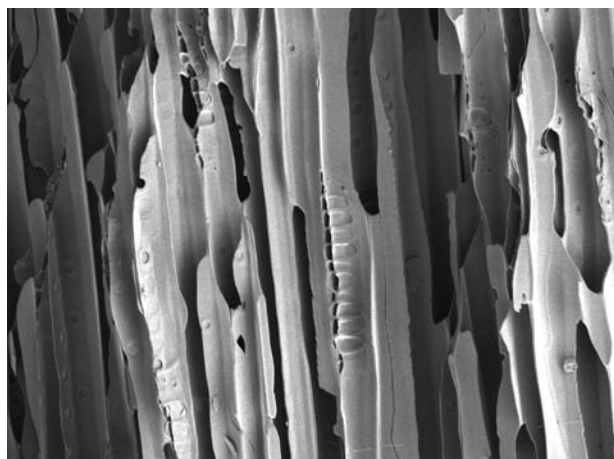


Рис. 6. Карбонизованный слой древесины, модифицированной ДЭФ, при увеличении $200\times$

Fig. 6. Carbonized surface of the wood modified by DEF at magnification of $200\times$

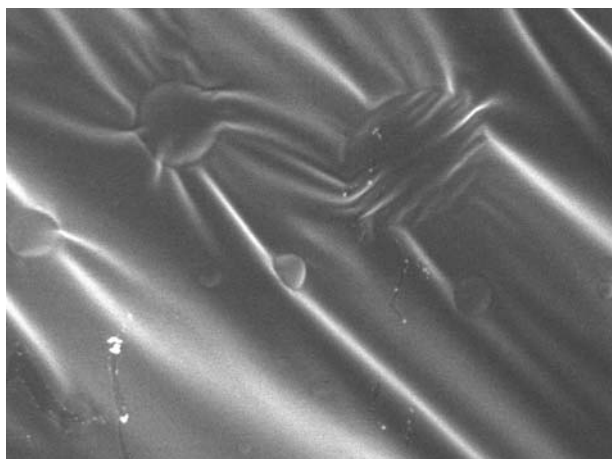


Рис. 9. Карбонизованный слой древесины, модифицированной ДМФ, при увеличении $5000\times$

Fig. 9. Carbonized surface of the wood modified by DMF at magnification of $5000\times$

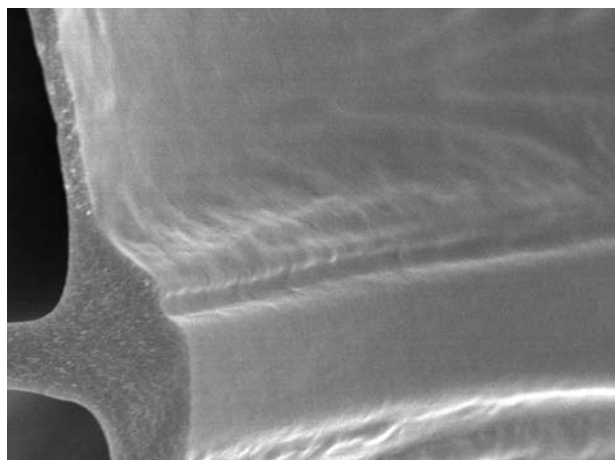


Рис. 10. Карбонизованный слой древесины, модифицированной ДЭФ, при увеличении 10000^x

Fig. 10. Carbonized surface of the wood modified by DEF at magnification of 10000^x

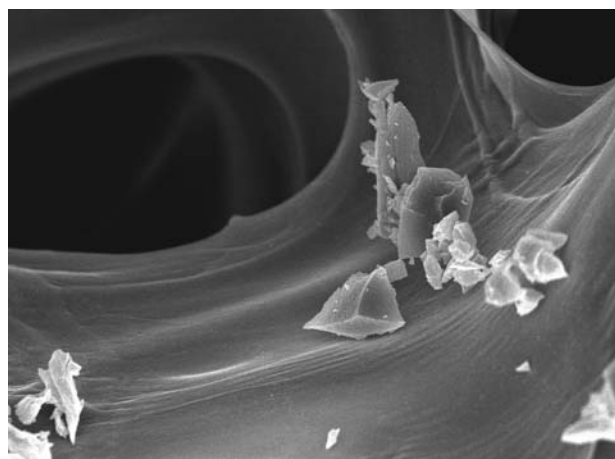


Рис. 11. Карбонизованный слой древесины, модифицированной ДФФ, при увеличении 10000^x

Fig. 11. Carbonized surface of the wood modified by DFF at magnification of 10000^x

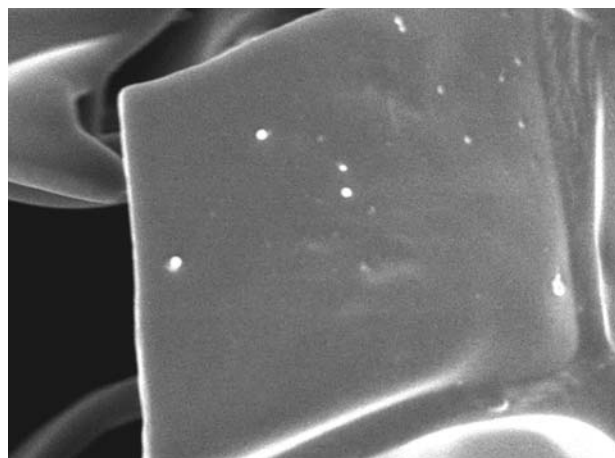


Рис. 12. Карбонизованный слой древесины, модифицированной ПФА-1, при увеличении 10000^x

Fig. 12. Carbonized surface of the wood modified by APF-1 at magnification of 10000^x

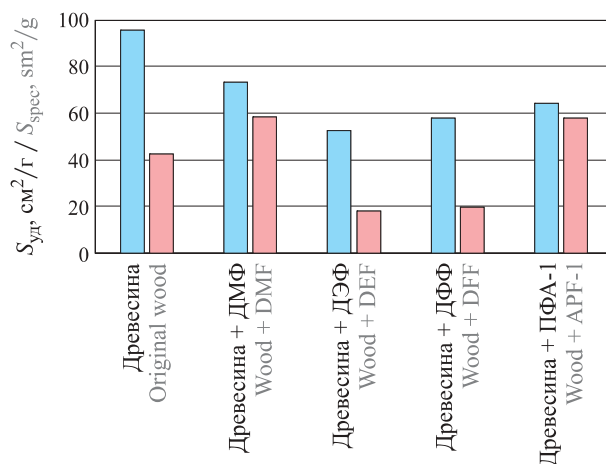


Рис. 13. Удельная площадь поверхности $S_{уд}$ поверхностного слоя исходной и модифицированной древесины до (■) и после (■) термического разложения

Fig. 13. Specific surface area S_{spec} of the surface layer of the original and modified wood before (■) and after (■) thermal decomposition

потери массы образца при равномерном повышении температуры (10 °C/c), на рис. 2 — характерные пики термического разложения, на рис. 3 — тепловые эффекты термического разложения.

На рис. 4 и 5 представлены результаты электронной микроскопии — снимки поверхности исходной и модифицированной древесины при увеличении 200 и 10000 крат соответственно.

Изменение пористой структуры до и после термического разложения показано на рис. 13. На основании испытаний методом сорбции паров воды были получены данные по удельной площади поверхности пористой структуры древесины (см. рис. 13). При испытаниях методом адсорбции азота было получено распределение пор в поверхностном карбонизованном слое древесины.

Обсуждение

Из экспериментальных данных видно, что первая стадия термического разложения при модифицировании древесины фосфорсодержащими модификаторами смещается в область меньших температур (220–240 °C), при этом интенсивность термического разложения значительно снижается по сравнению с исходной древесиной. Вторая стадия термического разложения при модифицировании смещается в область больших температур (510–530 °C) по сравнению с исходной древесиной (450 °C). ДСК-кривые показывают, что экзотермические эффекты реакции термического разложения значительно менее выражены для древесины, модифицированной фосфорсодержащими соединениями. При этом в случае использования в качестве модификатора диэтилфосфита термическое разложение на первой стадии проходит без ярко выраженных экзотермических пиков,

что можно охарактеризовать как “мягкое” термическое разложение. Для исходной древесины, а также древесины, модифицированной остальными из рассматриваемых модификаторов, первая стадия термического разложения протекает с наличием двух экзотермических пиков.

При анализе снимков, полученных при 200-кратном увеличении с помощью электронного микроскопа, видно, что в случае применения в качестве модификатора ДМФ на поверхности древесины образуется пленка, вероятно, из продуктов разложения модификатора, с открытыми устьями капилляров. При использовании в качестве модификатора ДФФ и ПФА-1 структура карбонизованного слоя является непостоянной. В условиях “мягкого” термического разложения при использовании в качестве модификатора ДЭФ происходит образование постоянной равномерной структуры карбонизованного слоя. Это связано с отсутствием разрушительных экзотермических эффектов при термическом разложении. При увеличении 10000 крат наблюдается следующая картина. При использовании ДМФ на снимках видна упомянутая выше пленка. В случае применения ДФФ и ПФА-1 на поверхности карбонизованного слоя обнаруживаются частицы модификатора, что характеризует неполное взаимодействие последнего с поверхностью древесины. При использовании ДЭФ наблюдается ярко выраженная прочная карбонизованная структура.

При оценке свойств пористой структуры древесины до и после термического разложения наиболь-

шая удельная площадь поверхности образцов, характеризующая наибольший размер пор, наблюдается в случае применения в качестве модификатора ДМФ. При использовании ДЭФ в карбонизованном слое образуется структура с наименьшим объемом и радиусом пор. При этом наименьшая удельная площадь поверхности образцов также характерна для карбонизованного слоя древесины, модифицированной ДЭФ.

Выводы

Динамика термического разложения древесины изменяется в случае ее модифицирования эффективными фосфорсодержащими модификаторами поверхностного слоя. Общей для всех рассмотренных случаев тенденцией является смещение первой стадии термического разложения в область меньших температур, в условиях которых происходит образование более прочной структуры карбонизованного слоя. Это подтверждается уменьшением удельной площади поверхности карбонизованного слоя и образованием ровной, неразрушенной структуры поверхности в случае применения модификаторов. При использовании в качестве модификатора ДЭФ происходит “мягкое” термическое разложение — протекание этого процесса без значительных экзотермических эффектов. Образующийся при этом карбонизованный слой имеет равномерную неразрушенную структуру с наименьшим размером пор, что характеризует достаточную прочность подобной структуры в условиях пожара.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ксавье Деглиз. “Экологический менеджмент” лесов и изделий из древесины // Лесной вестник / Forestry Bulletin. — 2017. — Т. 21, № 4. — С. 6–9. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-6-9.
2. Pastori Z., Czupy I., Gorbacheva G. A. Using poplar stud elements in light frame wall structure instead of coniferous // Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin. — 2017. — Vol. 21, No. 4. — P. 89–94. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-89-94.
3. Safin R. R., Shaikhutdinova A. S., Khasanshin R. R., Akhunova L. V., Safina A. V. Improving the energy efficiency of solid wood fuel // 15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference. Surveying Geology and Mining Ecology Management : SGEM2015 Conference Proceedings. — 2015. — Book 4. — P. 315–322. DOI: 10.5593/SGEM2015/B41/S17.041. URL: <https://sgemworld.at/sgemlib/spip.php?article6145> (дата обращения: 10.03.2018).
4. Михалева С. А. Деревянные высотки в России — инновационный взгляд на современное строительство // Международный научно-исследовательский журнал. — 2016. — № 4–7(46). — С. 19–21. DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.174.
5. Pasztory Z., Peralta P., Molnar S., Peszlen I. Modeling the hygrothermal performance of selected North American and comparable European wood-frame house walls // Energy & Buildings. — 2012. — Vol. 49. — P. 142–147. DOI: 10.1016/j.enbuild.2012.02.003.
6. Макишев Ж. К., Сивенков А. Б. Изучение процесса обугливания деревянных конструкций различного срока эксплуатации методами термического анализа // Технологии техносферной безопасности. — 2016. — № 1(65). — С. 84–88.
7. Ройтман В. М. Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий. — М. : Пожнаука, 2001. — 382 с.

8. João Pedro dos Santos Laranjeira, Helena Cruz, Ana Paula Ferreira Pinto, Carlos Pina dos Santos, Joana Filipa Pereira. Reaction to fire of existing timber elements protected with fire retardant treatments: experimental assessment // *International Journal of Architectural Heritage*. — 2015. — Vol. 9, No. 7. — P. 866–882. DOI: 10.1080/15583058.2013.878415.
9. Стенин А. А. Улучшение свойства строительных материалов из древесины за счет модификации ее поверхности // *Строительство — формирование среды жизнедеятельности : сборник докладов XVI Международной межвузовской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых*. — М. : МГСУ, 2013. — С. 553–559.
10. Покровская Е. Н. Химико-физические основы увеличения долговечности древесины. — М. : Изд-во АСВ, 2003. — 104 с.
11. Laurichesse S., Avérous L. Chemical modification of lignins: Towards biobased polymers // *Progress in Polymer Science*. — 2014. — Vol. 39, No. 7. — P. 1266–1290. DOI: 10.1016/j.progpolymsci.2013.11.004.
12. Антюфеева Н. В., Алексакин В. М. Применение методов термического анализа для определения показателей технологических и эксплуатационных свойств материалов // *Все материалы. Энциклопедический справочник*. — 2017. — № 1. — С. 55–64.
13. Costa V. J., Vieira R. M., Girotto S. B. F. T., Simioni F. J. Pyrolysis and thermogravimetry of blended and nonblended residues of pine and eucalyptus forestry woods // *Environmental Progress and Sustainable Energy*. — 2016. — Vol. 35, No. 5. — P. 1521–1528. DOI: 10.1002/ep.12372.
14. Islamova S. I., Khamatgalimov A. R. Thermogravimetric and kinetic analyses of the thermal decomposition of fuel wood // *Solid Fuel Chemistry*. — 2017. — Vol. 51, No. 2. — P. 83–87. DOI: 10.3103/s0361521917020045.
15. Mar'yandyshev P. A., Chernov A. A., Lyubov V. K. Analysis of thermogravimetric data for different forms of wood // *Solid Fuel Chemistry*. — 2015. — Vol. 49, No. 2. — P. 117–122. DOI: 10.3103/s0361521915020081.
16. Панова Т. В. Современные методы исследования вещества. Электронная и оптическая микроскопия : учебное пособие. — Омск : Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского, 2016. — 80 с.
17. Goldstein J. I., Yakowitz H. (eds.). Practical scanning electron microscopy. — New York – London : Plenum Press, 1975. — 582 p. DOI: 10.1007/978-1-4613-4422-3.
18. Ruthven D. M. Principles of adsorption and adsorption processes. — New York etc. : John Wiley & Sons, Inc., 1984. — 433 p.
19. Кельцев Н. В. Основы адсорбционной техники. — М. : Мир, 1984. — 592 с.
20. Kulasinski K., Guyer R., Derome D., Carmeliet J. Water adsorption in wood microfibril-hemicellulose system: role of the crystalline-amorphous interface // *Biomacromolecules*. — 2015. — Vol. 16, No. 9. — P. 2972–2978. DOI: 10.1021/acs.biomac.5b00878.

Материал поступил в редакцию 15 марта 2018 г.

Для цитирования: Портнов Ф. А. Влияние модификаторов на характеристики пенококса, образующегося при термическом разложении древесины // *Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety*. — 2018. — Т. 27, № 4. — С. 24–31. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.04.24-31.

English

INFLUENCE OF MODIFIERS ON COKED FOAM STRUCTURE AND PROPERTIES FORMED WITH THERMAL DECOMPOSITION OF WOOD

PORTNOV F. A., Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of Department of Integrated Safety in Civil Engineering, National Research Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail: wastingtimefilmart@gmail.com)

ABSTRACT

Introduction. Currently, wood-based construction materials are in high demand in the field of construction around the globe. The study of the original wood composite in order to improve its characteristics through various methods is scientific pre-requisity for such development. When wood burns, it forms a surface coke layer, which can differ in mechanical and thermal stability. These

parameters produce a significant effect on the fire resistance rating of building structures due to a change in the reduction rate of the structure useful cross section.

Materials and methods. The studies carried out during the work are related to the evaluation of the characteristics of coke layer formed during thermal decomposition of wood. Thermal analysis methods, the scanning electron microscopy method and the water adsorption method were used. The original sapwood of pine, as well as the wood modified with effective fire-retardant agents were used in the course of work.

Results. Based on conducted experiments process graphic dependences of thermal decomposition have been obtained, as well as images, obtained by an electronic microscope. In addition, the dependence of adsorptive capacity of wood after thermal decomposition has been obtained.

Discussions. As a result of the study, it was found that with the use of modifiers based on organophosphorous compounds, entering into effective reaction with wood, structuring of the surface layer occurs after thermal decomposition while reducing the size of specific surface area of wood.

Conclusions. Based on the analysis of experimental data, we can conclude that because of the use of efficient wood surface layer modifiers, thermal decomposition takes place under “mild” conditions that is the shift of the first stage of thermal decomposition to the area of lower temperatures with non-severe exothermic effects. The loss of weight of samples during combustion is significantly reduced. This causes high fire-retardant efficiency and low smoke-generating capacity.

Keywords: thermal decomposition; timber; modification; thermogravimetry; surface layer; coke layer.

REFERENCES

1. Xavier Deglise. “Ecological management” of forests and wood products. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, vol. 21, no. 4, pp. 8–9. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-6-9.
2. Pastori Z., Czupy I., Gorbacheva G. A. Using poplar stud elements in light frame wall structure instead of coniferous. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, vol. 21, no. 4, pp. 89–94. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-89-94.
3. Safin R. R., Shaikhutdinova A. S., Khasanshin R. R., Akhunova L. V., Safina A. V. Improving the energy efficiency of solid wood fuel. In: *15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference. Surveying Geology and Mining Ecology Management. SGEM2015 Conference Proceedings*, 2015, book 4, pp. 315–322. DOI: 10.5593/SGEM2015/B41/S17.041. Available at: <https://sgemworld.at/sgemlib/spip.php?article6145> (Accessed 10 March 2018).
4. Mikhaleva S. A. Wooden skyscraper in Russia — an innovative approach to modern construction. *Mezhdunarodnyj naučno-issledovatel'skiy zhurnal / International Research Journal*, 2016, no. 4–7(46), pp. 19–21 (in Russian). DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.174.
5. Pasztory Z., Peralta P., Molnar S., Peszlen I. Modeling the hygrothermal performance of selected North American and comparable European wood-frame house walls. *Energy & Buildings*, 2012, vol. 49, pp. 142–147. DOI: 10.1016/j.enbuild.2012.02.003.
6. Makishev Zh. K., Sivenkov A. B. The study of the process of carbonization wood structures of different period of operation by means of thermal analysis. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti / Technology of Technosphere Safety*, 2016, no. 1(65), pp. 84–88 (in Russian).
7. Roytman V. M. *Inzhenernyye resheniya po otsenke ognestoykosti proyektiruyemykh i rekonstruiyemykh zdaniy* [Engineering solutions for fire resistance assessment designed and renovated buildings]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2001. 382 p. (in Russian).
8. João Pedro dos Santos Laranjeira, Helena Cruz, Ana Paula Ferreira Pinto, Carlos Pina dos Santos, Joana Filipa Pereira. Reaction to fire of existing timber elements protected with fire retardant treatments: experimental assessment. *International Journal of Architectural Heritage*, 2015, vol. 9, no. 7, pp. 866–882. DOI: 10.1080/15583058.2013.878415.
9. Stenin A. A. Improving the properties of building materials from wood by modifying its surface. In: *Stroitelstvo — formirovaniye sredy zhiznedeятelnosti. Sbornik dokladov XVI Mezhdunarodnoy mezhvuzovskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, magistrantov, aspirantov i molodykh uchenykh* [Construction — the Formation of the Environment of Life. Collection of Reports of XVI International Interuniversity Scientific-Practical Conference of Students, Undergraduates, Graduate Students and Young Scientists]. Moscow, MGSU Publ., 2013, pp. 553–559 (in Russian).
10. Pokrovskaya E. N. *Khimiko-fizicheskiye osnovy uvelicheniya dolgovechnosti drevesiny* [Chemical and physical basis for increasing the longevity of wood]. Moscow, ASV Publ., 2003. 104 p. (in Russian).
11. Laurichesse S., Avérous L. Chemical modification of lignins: Towards biobased polymers. *Progress in Polymer Science*, 2014, vol. 39, no. 7, pp. 1266–1290. DOI: 10.1016/j.progpolymsci.2013.11.004.

12. Antyufeyeva N. V., Aleksashin V. M. Application of thermal analysis methods to determine factors of technological and operating properties of materials. *Vse materialy. Entsiklopedicheskiy spravochnik / All Materials. Encyclopedic Directory*, 2017, no. 1, pp. 55–64 (in Russian).
13. Costa V. J., Vieira R. M., Giroto S. B. F. T., Simioni F. J. Pyrolysis and thermogravimetry of blended and nonblended residues of pine and eucalyptus forestry woods. *Environmental Progress and Sustainable Energy*, 2016, vol. 35, no. 5, pp. 1521–1528. DOI: 10.1002/ep.12372.
14. Islamova S. I., Khamatgalimov A. R. Thermogravimetric and kinetic analyses of the thermal decomposition of fuel wood. *Solid Fuel Chemistry*, 2017, vol. 51, no. 2, pp. 83–87. DOI: 10.3103/s0361521917020045.
15. Mar'yandyshev P. A., Chernov A. A., Lyubov V. K. Analysis of thermogravimetric data for different forms of wood. *Solid Fuel Chemistry*, 2015, vol. 49, no. 2, pp. 117–122. DOI: 10.3103/s0361521915020081.
16. Panova T. V. *Sovremennyye metody issledovaniya veshchestva. Elektronnaya i opticheskaya mikroskopiya* [Modern research methods of substance. Electronic and optical microscopy]. Omsk, Dostoevsky Omsk State University Publ., 2016. 80 p. (in Russian).
17. Goldstein J. I., Yakowitz H. (eds.). *Practical scanning electron microscopy*. New York, London, Plenum Press, 1975. 582 p. DOI: 10.1007/978-1-4613-4422-3.
18. Ruthven D. M. *Principles of adsorption and adsorption processes*. New York etc., John Wiley & Sons, Inc., 1984. 433 p.
19. Keltsev N. V. *Osnovy adsorbtsionnoy tekhniki* [Basics of adsorption technique]. Moscow, Mir Publ., 1984. 592 p. (in Russian).
20. Kulasinski K., Guyer R., Derome D., Carmeliet J. Water adsorption in wood microfibril-hemicellulose system: role of the crystalline-amorphous interface. *Biomacromolecules*, 2015, vol. 16, no. 9, pp. 2972–2978. DOI: 10.1021/acs.biomac.5b00878.

For citation: Portnov F. A. Influence of modifiers on coked foam structure and properties formed with thermal decomposition of wood. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 4, pp. 24–31 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.04.24-31.



САМОРЕГУЛИРУЮЩАЯСЯ СИСТЕМА ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ “MOVINKLER”

Саморегулирующаяся система пожаротушения “Movinkler” позволяет обнаруживать очаг возгорания путем кругового сканирования пространства помещения при помощи поворотного механизма. Если датчик тепла зафиксировал слишком высокую температуру, подается команда на исполнительное устройство, которое активирует подачу направленной струи воды на очаг пожара, и только после понижения температуры в данной области вода будет перекрыта.

Главным достоинством системы “Movinkler” является то, что очаг пожара фиксируется при помощи пирометра, а не датчика температуры, что позволяет обнаружить и потушить пожар в момент его зарождения. Данная система обладает также большим радиусом обнаружения и тушения пожара и способна тушить его даже в мертвых зонах.

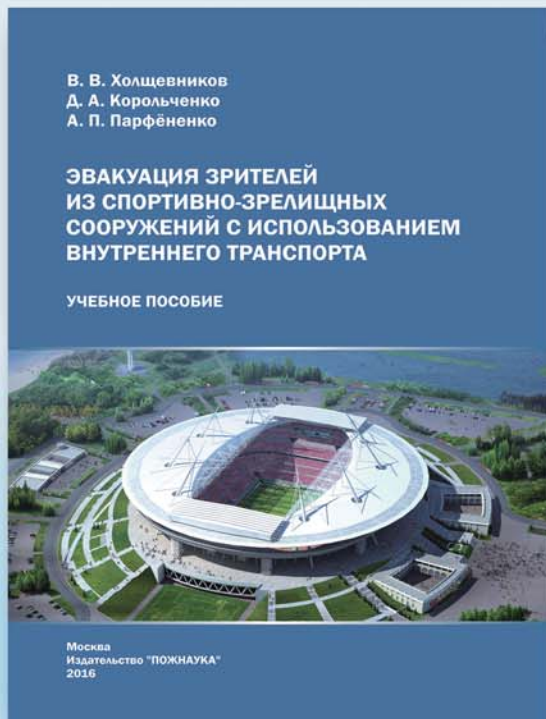
Еще одним немаловажным достоинством системы является экономное использование воды. Ее используется ровно столько, сколько необходимо для тушения пожара, что позволяет избежать полного затопления помещения, а значит, находящихся в нем мебели и предметов.

http://guarda.ru/fire_system/1/



ООО «Издательство «ПОЖНАУКА»

предлагает Вашему вниманию



Учебное пособие

Холщевников В. В., Корольченко Д. А., Парфёненко А. П.

ЭВАКУАЦИЯ ЗРИТЕЛЕЙ ИЗ СПОРТИВНО-ЗРЕЛИЩНЫХ СООРУЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВНУТРЕННЕГО ТРАНСПОРТА

М. : Изд-во «ПОЖНАУКА», 2016. — 88 с.

Впервые в практике архитектурно-строительного преподавания рассмотрена методология учета важнейшего функционального процесса — движения людских потоков с использованием эскалаторов и лифтовых установок при различных режимах эксплуатации зданий, включая чрезвычайную ситуацию пожара, на примере реального объекта с большим количеством находящихся в нем людей.

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

Ю. Х. ПОЛАНДОВ, д-р техн. наук, профессор, руководитель Научно-образовательного центра “Механика жидкости и газа, физика горения”, Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева (Россия, 302026, г. Орел, ул. Комсомольская, 95; e-mail: polandov@yandex.ru)

А. Д. КОРОЛЬЧЕНКО, лаборант испытательной лаборатории Института комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: ikbs@mgsu.ru)

УДК 614.83;536.46

СПОСОБ РАСЧЕТА КОНЦЕНТРАЦИИ ГАЗА В НЕГЕРМЕТИЧНОЙ ЕМКОСТИ В ПРОЦЕССЕ ВВОДА ГАЗА

Известны два способа определения концентрации газа в емкости: первый основан на измерении инфракрасными и масс-спектральными приборами с отбором проб в нескольких точках, второй — на измерении его объема расходомером в негерметичной емкости, заполненной воздухом, и расчете концентрации. Принято считать, что второй вариант уступает по точности первому, что объясняется утечками газа из негерметичной емкости в атмосферу. Указан путь повышения точности определения концентрации газа вторым способом путем расчета утечки газа из емкости. Утверждается, что способ определения концентрации газа с использованием расходомера и расчета его показаний по предложенному варианту не уступает по точности прямым приборным методам измерения, а при внедрении требует затрат на порядок меньше, что дает ему очевидные конкурентные преимущества.

Ключевые слова: негерметичная емкость; расчет концентрации газа; расходомер; математическая модель; процесс подачи газа.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.04.33-41

Введение

При проведении опытов со взрывами газа в емкостях всегда встает вопрос об определении его концентрации. На практике этот вопрос решается двумя способами. Один из них, прямой, приборный [1–3], предусматривает использование для измерения концентрации газа инфракрасных и масс-спектральных приборов. Другой, широко распространенный, приборно-расчетный [4–6], заключается в измерении расходомером объема газа, поданного в камеру, и расчете концентрации по отношению его объема к объему камеры. Заметим, что при прямом измерении погрешность складывается из двух факторов — погрешности измерительного прибора и погрешности, связанной с неоднородностью газовой смеси в большом объеме. При приборно-расчетном варианте погрешность складывается также из двух факторов — погрешности расходомера и погрешности метода расчета. Сравнивая оба метода, можно отметить, что точность определения первым способом выше, если концентрация измеряется в нескольких точках емкости. В то же время первый метод является наиболее затратным. Если уменьшить погрешность измерений приборно-расчетным методом с

применением расходомера, то он станет наиболее оптимальным.

Целью настоящей работы является снижение погрешности определения концентрации газа в негерметичной емкости при использовании расходомера газа на входе в нее. Достижение цели ожидается путем совершенствования метода расчета показаний расходомера. Для этого была описана математическая модель процесса подачи и накопления газа в емкости и его расхода в атмосферу.

Теория и расчеты. Математическая модель

Данная математическая модель представляет собой уравнение неразрывности применительно к газу, находящемуся в емкости [7, 8]. При решении уравнения использовано условие равенства прихода газа в емкость и его расхода из нее. В практических случаях время нарушения этого равенства ничтожно мало по сравнению со временем заполнения емкости газом [9]. Обоснование метода расчета предлагается в форме решения задачи.

В заполненную воздухом емкость с отверстием, сообщающим ее объем с атмосферой, поступает газ

с известным расходом. Чему равна концентрация газа в емкости через фиксированное время с момента его подачи?

Предварительные допущения:

- газы в газодинамическом понимании приняты идеальными;
- газовая смесь, истекающая из отверстия, по газодинамическим характеристикам не отличается от воздуха и ведет себя как несжимаемая жидкость;
- характерные размеры отверстия ввода газа и отверстия стока в атмосферу по сравнению с размерами емкости пренебрежимо малы;
- смесь *газ – воздух* однородна по концентрации в объеме емкости.

Условные обозначения:

- V — объем емкости, м^3 ;
 v_1 — расход газа на входе в емкость, $\text{м}^3/\text{с}$;
 v_2 — расход смеси *газ – воздух* в атмосферу из емкости, $\text{м}^3/\text{с}$;
 p_0 — атмосферное давление, Па;
 p — давление в емкости, Па;
 ρ — плотность воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$;
 F — площадь сечения, сообщающего объем емкости с атмосферой, м^2 ;
 $V_{г0}$ — объем газа, поданного в емкость, м^3 ;
 $V_{г}$ — объем газа, оставшегося в емкости, м^3 ;
 c — точная расчетная концентрация газа в емкости;
 c_0 — концентрации газа в емкости, полученная путем упрощенного расчета;
 c_1 — концентрация газа при условии отсутствия его утечки; $c_1 = (v_1/V)t = V_{г}/V$;
 t — текущее время, с;
 δ — величина утечки газа из емкости; $\delta = c_1 - c_0$.

1. Объем газа в емкости $V_{г}$ равен произведению cV , а его расход в атмосферу — cv_2 . Тогда уравнение неразрывности применительно к газу в емкости при начальных условиях $t = 0, c = 0$ будет выглядеть так:

$$d(cV)/dt = v_1 - v_2 c. \quad (1)$$

Здесь учтено, что концентрация газа в потоке на входе в емкость равна 1.

По мере поступления газа в емкость в ней растет давление, что приводит к расходу из емкости в атмосферу через неплотности или специальные отверстия [10]. Это происходит до тех пор, пока давление в емкости не стабилизируется, а приход и расход газов в емкости не станут равными между собой, т. е.

$$v_1 = v_2. \quad (2)$$

2. Однако время переходного периода для давления невелико, если сравнивать его со временем заполнения емкости газом до нужной концентрации.

Такая задача (сравнение) аналитически вполне разрешима, но достаточно громоздка и поэтому не приводится. Воспользуемся простыми рассуждениями на конкретном примере.

Пример 1

Пусть $V = 10 \text{ м}^3$, $v_1 = 0,001 \text{ м}^3/\text{с}$, $F = 0,0001 \text{ м}^2$, $\rho = 1,23 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Избыточное давление в емкости на стационарном режиме

$$p - p_0 = 0,5(v_1/F)^2 \rho = 61,5 \text{ Па}. \quad (3)$$

Количество газа, которое должно поступить в емкость, должно иметь объем ΔV :

$$\Delta V = (p - p_0)V/\rho = 0,00615 \text{ м}^3. \quad (4)$$

Для поступления в емкость газа в таком количестве потребуется $\Delta V/v_1 = 6,15 \text{ с}$. С другой стороны, время набора концентрации в емкости, скажем, 5 % потребуется около 500 с. Отсюда видно, что время стабилизации ничтожно мало по сравнению со временем заполнения емкости.

Замечание. Увеличение размера отверстия стока приводит к уменьшению и давления в емкости, и переходного времени.

3. Преобразуем уравнение (1) с учетом равенства (2):

$$V(dc/dt) = v_1(1 - c). \quad (5)$$

Разделим переменные:

$$dc/(1 - c) = (v_1/V) dt. \quad (6)$$

Проинтегрируем обе части уравнения:

$$\ln(1 - c) = -(v_1/V) dt + A, \quad (7)$$

где A — произвольная постоянная.

Значение A найдем, используя начальные условия: $A = 0$.

Преобразуем уравнение методом потенцирования и получим искомое решение:

$$c = 1 - \exp\left(-\frac{v_1}{V} dt\right), \quad (8)$$

или в безразмерных переменных

$$c = 1 - \exp(-c_1). \quad (9)$$

Оба уравнения, (8) и (9), позволяют точно оценить концентрацию газа в емкости на любом этапе ввода газа (если обеспечено хорошее перемешивание смеси в емкости) [11]. Однако это выражение не совсем удобно в использовании, поэтому упростим его.

Разложим в ряд Маклорена правую часть уравнения (9), ограничившись тремя членами ряда:

$$1 - \exp(-c_1) = 0 + c_1 - c_1^2/2. \quad (10)$$

Отсюда вытекает упрощенный вариант расчета концентрации c_0 по c_1 :

$$c_0 = c_1 - c_1^2/2, \quad (11)$$

или (что то же самое)

$$c_0 = c_1(1 - c_1/2). \quad (12)$$

На практике обычно проще задавать значение c_0 , чтобы знать, сколько надо подать газа с учетом его потерь при утечке [12, 13]. Для этого представим равенство (12) в виде квадратного уравнения:

$$c_1^2 - 2c_1 + 2c_0 = 0. \quad (13)$$

Разрешим его относительно c_1 и получим окончательно:

$$c_1 = 1 - \sqrt{1 - 2c_0}, \quad (14)$$

или, что то же самое, с использованием размерных величин

$$V_r = V(1 - \sqrt{1 - 2c_0}). \quad (15)$$

Согласно уравнению (15) можно, задавшись необходимой концентрацией газа c_0 , при известном объеме емкости V рассчитать потребный для этого объем газа V_r .

Пример 2

Пусть $V = 10 \text{ м}^3$, а заданная концентрация $c_0 = 0,05$. Тогда в емкость необходимо подать объем газа $V_r = 10(1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,05}) = 0,5132 \text{ м}^3$, или 513,2 л, чтобы в емкости осталось 500 л газа.

На рис. 1,а приведены три графика, на которых по оси абсцисс приведена концентрация газа без учета его утечки, которую можно считать мерой поданного в емкость газа. Из рис. 1,а видно, что по мере заполнения емкости газом темп нарастания в ней его концентрации уменьшается. Отметим также, что зависимости, рассчитанные по точной и упрощенной формулам, начинают заметно расходиться при $c_1 > 0,4$. Однако в наиболее интересном с точки зрения практики диапазоне значений c_1 [0; 0,08], приведенном на рис. 1,б, значения обоих расчетных графиков практически сливаются, и при $c_1 = 0,08$ разница у правой границы между ними составляет менее 0,1 %, а в остальных точках диапазона — еще меньше.

Если не учитывать утечку газа и считать концентрацию газа в емкости равной c_1 , то у правой границы рабочего диапазона разница между c_1 и c составит около 2,6 %. Отношение к этой погрешности зависит от решаемых задач, в том числе в тех случаях, в которых она неприемлема.

Получено простое аналитическое решение, которое не зависит ни от величины прихода газа в емкость, ни от масштаба утечки в атмосферу.

Можно обратить внимание на то, что на результат расчета по всем формулам не влияет размер площади сечения, через которое происходит утечка газа [14, 15]. Этот результат не вполне очевиден, но с фи-

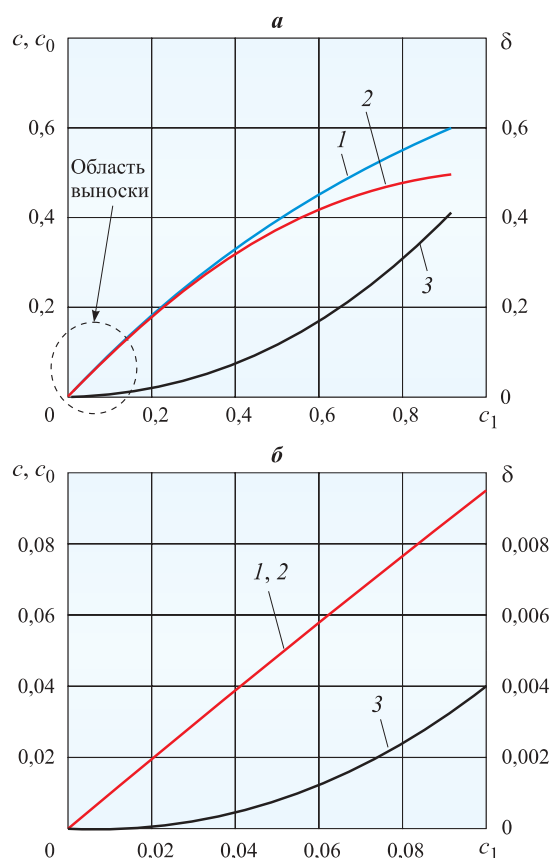


Рис. 1. Расчетные графики по заполнению емкости газом: 1 — $c_0 = c_1(1 - c_1/2)$; 2 — $c = 1 - \exp(-c_1)$; 3 — $\delta = c_1 - c_0$

зической точки зрения вполне объясним. Дело в том, что давление внутри емкости всегда больше атмосферного, так как в нее вдувается газ, чтобы исключить попадание воздуха в емкость [16, 17]. Это утверждение справедливо до тех пор, пока по какой-либо причине, например из-за напора ветра, давление у отверстия снаружи станет выше, чем в емкости. Однако влияние ветра продолжительным быть не может, так как давление в емкости непременно возрастет за счет дальнейшей подачи газа, чем компенсируется напор ветра.

Выводы

Рассмотренный способ определения концентрации с помощью расходомеров предпочтительнее средств измерения концентрации в отдельных точках пространства емкости, так как в этом случае определяется интегральное значение параметра по всему объему. Другое преимущество расходомеров заключается в более низкой стоимости по сравнению с другими средствами измерения [3, 18]. Эти обстоятельства в совокупности с использованием при расчетах по формуле (14) или (15) делает применение расходомеров для определения концентрации газа в негерметичных объемах одним из самых конкурентоспособных способов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Bauwens C. R., Chaffee J., Dorofeev S. B.* Experimental and numerical study of methane-air deflagrations in a vented enclosure // *Fire Safety Science*. — 2008. — Vol. 9. — P. 1043–1054. DOI: 10.3801/iafss.fss.9-1043.
2. *Bauwens C. R., Chaffee J., Dorofeev S. B.* Vented explosion overpressures from combustion of hydrogen and hydrocarbon mixtures // 3rd International Conference on Hydrogen Safety (September 16–18, 2009, Ajaccio). — Art. 176. — 12 p. URL: <http://conference.ing.unipi.it/ichs2009/images/stories/papers/176.pdf> (дата обращения: 20.03.2018).
3. Масс-спектрометрическая установка Cirrus 2 для непрерывного газового анализа при атмосферном давлении. URL: <http://blms.ru/cirrus> (дата обращения: 20.03.2018).
4. *Поландов Ю. Х., Добриков С. А., Корольченко А. Я.* Взрыв газа в цилиндрической трубе с отверстием на боковой поверхности // *Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety*. — 2016. — Т. 25, № 11. — С. 17–26. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.11.17-26.
5. *Горев В. А., Сальмова Е. Ю.* О возможности вибрационного горения при внутренних взрывах // *Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety*. — 2017. — Т. 26, № 5. — С. 13–20. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.05.13-20.
6. *Борисов А. А., Комиссаров П. В., Маилков А. Е., Ельшин Р. Н., Силакова М. А.* Взрывное взаимодействие богатой алюминием реагирующей гетерогенной смеси с водой // *Химическая физика*. — 2002. — Т. 21, № 10. — С. 92–96.
7. *Polandov Ju., Korolchenko D.* The consideration of the turbulence influence on the gas explosion expansion in non-closed areas // *MATEC Web of Conferences*. — 2017. — Vol. 106, Art. 01040. — 8 p. DOI: 10.1051/mateconf/201710601040.
8. *Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F., Byakov A. V.* The analysis of oil suppression by aqueous film forming foam through a gas-salt layer of water // *Advanced Materials Research*. — 2014. — Vol. 1073-1076. — P. 2353–2357. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amr.1073-1076.2353.
9. *Борисов А. А., Михалкин В. Н., Хомик С. В.* Экспериментальное исследование распространения детонации газообразных смесей в свободном цилиндрическом заряде // *Химическая физика*. — 1989. — Т. 8, № 6. — С. 798–809.
10. *Поландов Ю. Х.* К вопросу о центральном взрыве газо-воздушной смеси в сферическом объеме // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. — 2012. — № 5(295). — С. 14–21.
11. *Ryuzaki H., Tominaga R.* An experimental and numerical investigation of premixed flame propagation in confined/semiconfined explosion chamber // *International Gas Union Research Conference* (19–21 October 2011, Seoul, Korea). URL: http://members.igu.org/old/IGU%20Events/igrc/igrc2011/igrc-2011-proceedings-and-presentations/poster-papers-session-3/P3-20_Hibiki%20Ryuzaki.pdf/@download/file/P3-20_Hibiki%20Ryuzaki.pdf (дата обращения: 20.03.2018).
12. *Lyapin A., Korolchenko A., Meshalkin E.* Expediency of application of explosion-relief constructions to ensure explosion resistance of production buildings // *MATEC Web of Conferences*. — 2016. — Vol. 86. — Art. 04029. DOI: 10.1051/mateconf/20168604029.
13. *Васюков Г. В., Загуменников Р. А.* Расчет процесса сгорания взрывоопасных облаков и прогнозирование его последствий // *Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации : материалы международной научно-практической конференции : в 2 ч.* — М. : Академия ГПС МЧС России, 2015. — Ч. 2. — С. 25–26.
14. *Васюков Г. В., Загуменников Р. А.* Валидация модели образования взрывоопасной метано-воздушной смеси // *Системы безопасности : доклады научно-технической конференции*. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2014. — С. 155–157.
15. *Бузаев Е. В., Загуменников Р. А.* Косвенный метод определения коэффициента турбулентной диффузии при формировании взрывоопасных облаков // *Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации : материалы международной научно-практической конференции : в 2 ч.* — М. : Академия ГПС МЧС России, 2014. — Ч. 1. — С. 133–135.
16. *Васюков Г. В., Корольченко А. Я., Рубцов В. В.* Методика расчета минимального количества газоанализаторов довзрывных концентраций для защиты производственных помещений с газобаллонными автомобилями, использующими пропан-бутан // *Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety*. — 2006. — Т. 15, № 2. — С. 24–30.

17. Шемарова О. А. Разработка математических моделей и методов расчета процесса течения разреженных газов при взаимодействии с направленными потоками частиц : дис. ... канд. техн. наук. — М., 2015. — 115 с.
18. Счетчик газа NPM G1.6 для учета газообразного топлива в жилищно-коммунальном хозяйстве и быту. URL: <http://vdgu.ru/catalog/schetchiki-gaza/sg-b-npm.html> (дата обращения: 20.03.2018).

Материал поступил в редакцию 22 марта 2018 г.

Для цитирования: Поландов Ю. Х., Корольченко А. Д. Способ расчета концентрации газа в негерметичной емкости в процессе ввода газа // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 4. — С. 33–41. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.04.33-41.

English

Yu. Kh. POLANDOV, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Scientific-Educational Center "Fluid Mechanics. Combustion", Orel State University named after I. S. Turgenev (Komsomolskaya St., 95, Orel, 302026, Russian Federation; e-mail: polandov@yandex.ru)

A. D. KOROLCHENKO, Laboratory Assistant of Testing Laboratory of Institute of Integrated Safety in Construction, National Research Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail: ikbs@mgsu.ru)

UDC 614.83;536.46

METHOD FOR CALCULATING CONCENTRATION OF GAS IN A NON-TIGHT CONTAINER DURING GAS INTRODUCTION

There are two known methods of determining gas concentration in a container: the first one is based on IR and mass-spectrographic measurements with sample collection in several points; the second one is based on measuring the gas volume in an air-filled non-tight container with a flowmeter and concentration calculation. It is believed that the second option provides lower accuracy than the first one which is conditioned by gas leaking into the atmosphere from a non-tight container. We are showing the way of increasing the accuracy of determining gas concentration by the second method by way of calculating the leaked gas volume. It is maintained that the accuracy of the suggested method involving gas concentration determination with a flowmeter followed by calculation of its readings is not lower than the methods involving direct measurements, and that the cost of its implementation is one order less which provides evident competitive advantage.

Keywords: non-tight container; gas concentration calculation; flowmeter; mathematical model; gas supply process.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.04.33-41

Introduction

When tests involving gas explosion in containers are conducted, the issue of determining its concentration arises. In practice, this issue is solved in two methods. One of them is a direct instrument method [1–3], involving use of infra-red and mass-spectrographic instruments for measuring gas concentration. The other one is the widely-spread instrumentation-and-calculation method [4–6], which involves measurement of the volume of gas supplied to the chamber followed by calculation of its concentration based on the relation between its volume to the chamber capacity. It should be noted that in case of the direct measurement, the error

is a combination of two factors — the error of the measuring instrument and the error related to the inhomogeneity of a large volume of gas mixture. In case of instrumentation-and-calculation method, the error shall also be a combination of two factors — the error of the flowmeter and the error of the calculation method. By comparing both methods, it may be noted that the accuracy of the first method is higher if the concentration changes in several points of the container. At the same time, the first method is more costly. If error of the instrumentation-and-calculation method involving the use of a flowmeter can be reduced, this method will become the most optimal.

The objective of this work is to reduce the error of the method for determining gas concentration in a non-tight container involving the use of a flowmeter to measure the output volume of gas. It is expected to reach the objective by improving the flowmeter readings calculation method. For this purpose, a mathematical model of gas supply to the container, its accumulation and outflow to the atmosphere was described.

Theory and calculations. Mathematical model

This mathematical model represents a conservation equation applied to gas contained in a container [7, 8]. To solve the equation, the assumption was accepted that the supplied volume of the gas equals the outflowing volume. In practical cases, the time during which this equation is not observed is negligible in comparison with the time during which the container is filled with gas [9]. The substantiation of the calculation method is presented in the form of a problem solution.

The container filled with air with a whole through which it contacts the atmosphere, is filled with gas at a known flow rate. What will gas concentration in the tank be after a fixed period of time from starting gas supply?

Pre-assumptions:

- gases are considered ideal in gas-dynamic sense;
- the gas mixture flowing out of the hole has gas dynamic properties equal to those of the air and behaves like an incompressible fluid;
- the characteristic size of the gas input hole and the size of the atmospheric output are negligible in relation to the container size;
- the gas – air mixture has equal concentration throughout the container volume.

Conventional symbols:

- V — the tank capacity, m^3 ;
 v_1 — gas flow rate at the tank input, m^3/sec ;
 v_2 — the flow rate of gas-air mixture flowing from the tank to the atmosphere, m^3/sec ;
 p_0 — atmospheric pressure, Pa;
 p — pressure inside the container, Pa;
 ρ — air density, kg/m^3 ;
 F — the cross-section of contact between the container and atmosphere, m^2 ;
 $V_{\text{gas}0}$ — the volume of gas supplied to the container, m^3 ;
 V_{gas} — the volume of gas remaining in the container, m^3 ;
 c — the precise calculated concentration of gas in the container;
 c_0 — the concentration of gas in the container obtained by way of simplified calculation;
 c_1 — the concentration of gas if no leak is assumed;
 $c_1 = (v_1/V)t = V_{\text{gas}}/V$;

- t — the current time, sec;
 δ — the volume of gas leaking from the container;
 $\delta = c_1 - c_0$.

1. The volume of gas in the container equals $V_{\text{gas}} = cV$, whereas its outflow rate to the atmosphere equals cv_2 . Then, conservation equation applied to gas in the container at initial conditions $t = 0, c = 0$ shall be as follows:

$$d(cV)/dt = v_1 - v_2c. \quad (1)$$

It is considered here that the concentration of gas in the output stream equals 1.

As gas is supplied to the container, its pressure increases which leads to gas outflow to the atmosphere through leakages or special holes [10]. This happens until pressure in the container stabilizes and input and output flowrates even out, i. e.

$$v_1 = v_2. \quad (2)$$

2. However, the transition period is short compared to the time period during which the container is filled with gas until the required concentration is reached. This task (comparison) is analytically completely solvable, however, it is quite bulky and therefore is not shown. Let's use common reasoning with a specific example.

Example 1

Let $V = 10 \text{ m}^3$, $v_1 = 0.001 \text{ m}^3/\text{sec}$, $F = 0.0001 \text{ m}^2$, $\rho = 1.23 \text{ kg}/\text{m}^3$.

Overpressure in the container in stable conditions shall be

$$p - p_0 = 0.5 (v_1/F)^2 \rho = 61.5 \text{ Pa}. \quad (3)$$

The gas to be supplied to the container shall have volume ΔV :

$$\Delta V = (p - p_0) V/p_0 = 0.00615 \text{ m}^3. \quad (4)$$

The time to supply the required volume of gas shall be $\Delta V/v_1 = 6.15 \text{ sec}$. On the other hand, for gaining, for example, 5 % concentration, about 500 sec will be necessary. This indicates that the stabilization period is negligible in comparison to the container filling time.

Remark. Increase of the outflow hole reduces both, the pressure in the container, and the transition period.

3. Equation (1) is modified considering equation (2):

$$V(dc/dt) = v_1(1 - c). \quad (5)$$

Dividing the variables:

$$dc/(1 - c) = (v_1/V) dt. \quad (6)$$

Integrating both parts of the equation:

$$\ln(1 - c) = - (v_1/V) dt + A, \quad (7)$$

where A is an arbitrary constant.

The value of A shall be found using the initial conditions: $A = 0$.

The equation shall be exponentiated to obtain the required solution:

$$c = 1 - \exp\left(-\frac{v_1}{V} dt\right), \quad (8)$$

or in numerical variables

$$c = 1 - \exp(-c_1). \quad (9)$$

Both equations, (8) and (9), allow to determine the exact concentration of gas in the container at any stage of gas injection (if the mixture in the container is well-mixed) [11]. However, it is not very convenient to use this equation, therefore, it shall be simplified.

The right part of equation (9) shall be expanded into a Maclaurin's series, confining to three members of the series:

$$1 - \exp(-c_1) = 0 + c_1 - c_1^2/2. \quad (10)$$

From this follows the simplified method of calculating concentration c_0 based on c_1 :

$$c_0 = c_1 - c_1^2/2, \quad (11)$$

or (which is the same)

$$c_0 = c_1(1 - c_1/2). \quad (12)$$

In practice, it is usually easier to prescribe a value to c_0 , so that the amount of gas to be supplied with the account of leakage losses is known [12, 13]. For this purpose, equation (12) shall be presented as a quadratic equation:

$$c_1^2 - 2c_1 + 2c_0 = 0. \quad (13)$$

By solving it in respect of c_1 , the final equation shall be as follows:

$$c_1 = 1 - \sqrt{1 - 2c_0}, \quad (14)$$

or, the same one, using dimension values

$$V_{gas} = V(1 - \sqrt{1 - 2c_0}). \quad (15)$$

Based on equation (15), it is possible, by setting the required concentration of gas c_0 at the known capacity V of the container, to calculate the required volume of gas V_{gas} .

Example 2

Let $V = 10 \text{ m}^3$ and the preset concentration $c_0 = 0.05$. Then, in order for leave 500 l of gas in the container, volume $V_{gas} = 10(1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0.05}) = 0.5132 \text{ m}^3$ shall be supplied to the container, which equals 513.2.

Fig. 1, *a* shows three diagrams where gas concentration without regard to leaking is shown along the x -axis, and this may be considered the volume of gas supplied to the container. It follows from Fig. 1, *a* that, as the con-

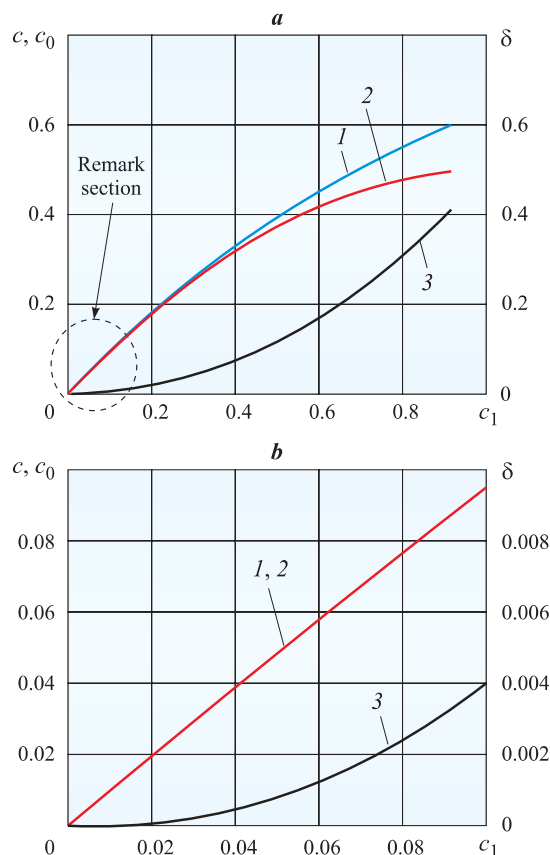


Fig. 1. Calculation charts for filling the container with gas: 1 — $c_0 = c_1(1 - c_1/2)$; 2 — $c = 1 - \exp(-c_1)$; 3 — $\delta = c_1 - c_0$

tainer is filled with gas, the pace of its concentration build-up decreases. It should also be noted that the functions calculated based on the accurate and the simplified formulas, start to deviate considerably at $c_1 > 0.4$. However, in the most practically interesting range of values of c_1 [0; 0.08] shown in Fig. 1, *b*, values of both calculation charts are practically converged; whereas at $c_1 = 0.08$, the difference near the right limit is less than 0.1 % or even less for other points of the range.

If gas leak is not taken into consideration and gas concentration in the container is considered to be c_1 , then the difference between c_1 and c near the right limit of the operation range shall be around 2.6 %. This error may be treated differently depending on tasks at hand, including the cases where such error is unacceptable.

A simple analytic solution was obtained which does not depend on the volume of gas injected into the container, or the volume of atmospheric leak.

It should be noted that calculation results based on all the formulas are not influenced by the cross-section of the gas leak [14, 15]. This result is not fully obvious, but it is completely understandable from physical standpoint. The fact is that pressure inside the container is always higher than atmospheric pressure, because gas is injected into the container to prevent air ingress [16, 17]. This statement holds until outside pressure near the hole

becomes higher than pressure inside the container due to any reasons, like wind pressure. However, wind pressure cannot last long, because pressure inside the container shall surely rise due further injection of gas which would compensate the wind pressure.

Conclusions

The considered method for determining concentration using flowmeters is more preferable than the me-

thod involving measurements in separate points of space, because it allows to determine the integral parameter value throughout the volume. Another advantage of using flowmeters is their lower cost in comparison to other measurement instruments [3, 18]. These facts combined with the use of formulas (14) or (15) for calculations, make the use of flowmeters for determining gas concentration in non-tight containers one of the most competitive.

REFERENCES

1. Bauwens C. R., Chaffee J., Dorofeev S. Experimental and numerical study of methane-air deflagrations in a vented enclosure. *Fire Safety Science*, 2008, vol. 9, pp. 1043–1054. DOI: 10.3801/iafss.fss.9-1043.
2. Bauwens C. R., Chaffee J., Dorofeev S. B. Vented explosion overpressures from combustion of hydrogen and hydrocarbon mixtures. In: *3rd International Conference on Hydrogen Safety (September 16–18, 2009, Ajaccio)*, art. 176. 12 p. Available at: <http://conference.ing.unipi.it/ichs2009/images/stories/papers/176.pdf> (Accessed 20 March 2018).
3. *Cirrus 2 mass spectrometer for continuous gas analysis at atmospheric pressure* (in Russian). Available at: <http://blms.ru/cirrus> (Accessed 20 March 2018).
4. Polandov Yu. Kh., Dobrikov S. A., Korolchenko A. Ya. Gas explosion in a cylindrical tube with a hole on the lateral surface. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 11, pp. 17–26 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2016.25.11.17-26.
5. Gorev V. A., Salymova E. Yu. About the possibility of vibration combustion at internal explosions. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 5, pp. 13–20 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.05.13-20.
6. Borisov A. A., Komissarov P. V., Mailkov A. E., Elshin R. N., Silakova M. A. Explosive interaction of an aluminum-rich reactive heterogeneous mixture with water. *Khimicheskaya fizika / Chemical Physics*, 2002, vol. 21, no. 10, pp. 92–96 (in Russian).
7. Polandov Iu., Korolchenko D. The consideration of the turbulence influence on the gas explosion expansion in non-closed areas. *MATEC Web of Conferences*, 2017, vol. 106, art. 01040. 8 p. DOI: 10.1051/mateconf/201710601040.
8. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F., Byakov A. V. The analysis of oil suppression by aqueous film forming foam through a gas-salt layer of water. *Advanced Materials Research*, 2014, vol. 1073-1076, pp. 2353–2357. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amr.1073-1076.2353.
9. Borisov A. A., Mikhalkin V. N., Khomik S. V. Experimental study of the propagation of detonation of gaseous mixtures in a free cylindrical charge. *Khimicheskaya fizika / Chemical Physics*, 1989, vol. 8, no. 6, pp. 798–809 (in Russian).
10. Polandov Yu. Kh. To the question about the explosion of the gas-air the mixture in a spherical volume. *Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii / Fundamental and Applied Problems of Technics and Technology*, 2012, no. 5(295), pp. 14–21 (in Russian).
11. Ryuzaki H., Tominaga R. An experimental and numerical investigation of premixed flame propagation in confined/semiconfined explosion chamber. In: *International Gas Union Research Conference (19–21 October 2011, Seoul, Korea)*. Available at: http://members.igu.org/old/IGU%20Events/igrc/igrc2011/igrc-2011-proceedings-and-presentations/poster-papers-session-3/P3-20_Hibiki%20Ryuzaki.pdf/@download/file/P3-20_Hibiki%20Ryuzaki.pdf (Accessed 20 March 2018).
12. Lyapin A., Korolchenko A., Meshalkin E. Expediency of application of explosion-relief constructions to ensure explosion resistance of production buildings. *MATEC Web of Conferences*, 2016, vol. 86, art. 04029. DOI: 10.1051/mateconf/20168604029.
13. Vasyukov G. V., Zagumennikov R. A. Calculation of the process of combustion of explosive clouds and prediction of its consequences. In: *Pozharotusheniye: problemy, tekhnologii, innovatsii. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Firefighting: Problems, Technologies, Innovations. Proceedings of International Scientific and Practical Conference]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2015, part 2, pp. 25–26 (in Russian).
14. Vasyukov G. V., Zagumennikov R. A. Validation model for the formation of an explosive methane-air mixture. In: *Sistemy bezopasnosti. Doklady nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Security Systems: Reports of the Scientific and Technical Conference]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2014, pp. 155–157 (in Russian).

15. Buzaev E. V., Zagumennikov R. A. Indirect method for determining the coefficient of turbulent diffusion in the formation of explosive clouds. In: *Pozharotusheniye: problemy, tekhnologii, innovatsii. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Firefighting: Problems, Technologies, Innovations. Proceedings of International Scientific and Practical Conference]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2014, part 1, pp. 133–135 (in Russian).
16. Vasukov G. V., Korolchenko A. Ya., Rubtsov V. V. A method for calculation minimal amount of gas analyzers, designated to analyze pre-explosion concentrations in industrial premises with automobiles with propane-butane fuel. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2006, vol. 15, no. 2, pp. 24–30 (in Russian).
17. Shemarova O. A. *Development of mathematical models and methods for calculating the process of rarefied gas flow in interaction with directed particle flows*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, 2015. 115 p. (in Russian).
18. *Gas meter NPM G1.6 for metering gaseous fuels in housing and communal services* (in Russian). Available at: <http://vdgu.ru/catalog/schetchiki-gaza/sg-b-npm.html> (Accessed 20 March 2018).

Received 22 March 2018

For citation: Polandov Yu. Kh., Korolchenko A. D. Method for calculating concentration of gas in a non-tight container during gas introduction. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 4, pp. 33–41. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.04.33-41.



ПОЖАРНЫЕ СУДА И КОРАБЛИ

Пожары могут возникать не только на земной поверхности, часто возгорания случаются на водных объектах и в прибрежных зонах. В таких случаях служба МЧС задействует пожарные суда.

Все они состоят из следующих элементов: корпуса, имеющего необходимые надстройки; систем орошения; насосов; иловой установки; водопенных коммуникаций.

Для того чтобы корпус в процессе борьбы с возгоранием избежал повреждений из-за теплового воздействия, применяются водяные завесы, которые обеспечивают необходимую защиту по периметру. Корпус же состоит из усиленных отсеков, обладающих водонепроницаемостью.

Надстройки необходимы для размещения бытовых и служебных комнат, кают для отдыха. Для бесперебойного оснащения корабля энергией имеются вспомогательные двигатели. Они состоят из генераторов и оборудованы двумя системами запуска. Осуществлять управление двигателями возможно как из центрального пункта управления, так и из машинного отдела.

На судах ставят минимум два, максимум четыре насоса для пожаротушения. Для быстрого пополнения насосов водой их расположение должно быть ниже ватерлинии. Среднее количество подаваемой воды достигает 1000 м³/ч. При этом напор может быть до 100 м.

Пожарная техника может быть различной в зависимости от типа судна, но всегда имеются как минимум два лафетных ствола. Один находится на верхней палубе, другой — в той части палубы, от которой он будет отшвартовываться в процессе работы.

<https://fireman.club/statyi-polzovateley/vodnyiy-transport-mchs-rossii-pozharnyye-suda-i-korabli/#a2>

В. И. ПРИСАДКОВ, д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник, ВНИИПО МЧС России (Россия, 143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12; e-mail: Z080637@yandex.ru)

Т. Ю. ЕРЕМИНА, д-р техн. наук, профессор, старший научный сотрудник научно-образовательного комплекса организационно-управленческих проблем ГПС, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: main@stopfire.ru)

А. В. БОГДАНОВ, заместитель генерального директора по эксплуатации, Государственный Эрмитаж (Россия, 190000, г. Санкт-Петербург, Дворцовая наб., 34; e-mail: bogdanov@hermitage.ru)

О. В. СУШКОВА, начальник сектора пожарной безопасности, Государственный Эрмитаж (Россия, 190000, г. Санкт-Петербург, Дворцовая наб., 34; e-mail: sushkova@hermitage.ru)

Н. В. ТИХОНОВА, ведущий инженер ООО “Международный научный инновационный центр строительства и пожарной безопасности” (Россия, 199155, г. Санкт-Петербург, ул. Уральская, 13; e-mail: risk@stopfire.ru)

УДК 614.849

ТРЕБУЕМЫЙ УРОВЕНЬ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ МУЗЕЕВ — ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

Рассмотрены проблемы обеспечения пожарной безопасности на объектах культурного наследия при их приспособлении для современного использования. Описаны ограничения применения утвержденной методики расчета индивидуального пожарного риска. Приведены результаты обследования объекта культурного наследия. Проанализирован метод оценки противопожарной защиты объектов с использованием чек-листов, предлагаемый в международных нормативных документах. Определен уровень пожарной безопасности музейных объектов; разработан метод его оценки.

Ключевые слова: современное использование объектов культурного наследия; пожарная безопасность объектов культурного наследия; чек-листы; классификация объектов культурного наследия; требуемый уровень пожарной безопасности.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.04.42-49

Введение

Одним из актуальных вопросов пожарной безопасности является разработка объемно-планировочных решений и конструктивного исполнения эвакуационных путей, обеспечивающих безопасную эвакуацию людей при пожаре. В соответствии с требованиями Федерального закона № 123-ФЗ “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности” (далее — ФЗ № 123) [1] безопасная эвакуация людей из здания считается обеспеченной, если интервал времени с момента обнаружения пожара до завершения процесса эвакуации людей в безопасную зону не превышает необходимого времени эвакуации при пожаре.

При разработке концепции пожарной безопасности объектов культурного наследия в России руководствуются требованиями действующих нормативных документов, в том числе [1–5]. Требования ст. 4 п. 4 ФЗ № 123 [2] распространяются на объекты культурного наследия в части, соответствующей объему работ по реконструкции и приспособлению, если при этом соответствующие части здания не от-

носятся к предметам охраны. В дополнение к нормативным документам используются территориальные строительные нормы, например [6, 7]. Подробный обзор соответствующих нормативных документов приведен в работе [8]. Среди аналогичных международных нормативных документов следует отметить CFPA E, NFPA 914, NFPA 909 [9–11].

С другой стороны, предложения по системе противопожарной защиты объектов должны быть обоснованы количественно. В этом случае используется критерий безопасности людей — пожарный риск, величина которого не должна превышать допустимых значений.

Однако использование методики расчета индивидуального пожарного риска [12] для объектов культурного наследия не всегда корректно. Архитектурно-строительные решения, являющиеся предметом охраны, ограничивают применение методики расчета пожарного риска. В таких случаях необходима разработка альтернативных методов оценки пожарной безопасности, в том числе оценки пожарного

риска, и методов совершенствования противопожарной защиты объектов культурного наследия [13–21].

Методы количественной оценки пожарной безопасности музейных объектов подробно исследованы в работе [22]. В настоящей работе для анализа пожарной безопасности объекта предлагается:

- использовать чек-листы с информацией о пожарной безопасности объектов;
- по результатам экспертной оценки распределить объекты по группам (классификация объектов культурного наследия);
- определить уровень пожарной безопасности объектов и разработать для каждой группы определенный набор рекомендаций.

Материалы и методы

Рассмотрим ограничение использования методики расчета индивидуального пожарного риска [12] для объектов культурного наследия на следующем примере.

В июле 2017 г. было проведено обследование одного из объектов культурного наследия — действующего монастыря. Здание было построено в 1900–1902 гг. В 1923 г. монастырь был закрыт, а здание впоследствии неоднократно передавалось в ведение различным организациям. Только спустя почти 70 лет в обители начала возрождаться монашеская жизнь, и были проведены необходимые реставрационные работы.

Монастырь состоит из двух церквей, часовни и собора; в подвале размещен храм-усыпальница. Богослужения совершаются ежедневно. Монастырь открыт для паломников и туристов.

На объекте имеются помещения культового назначения, помещения для проживания, в подвале расположены котельная и пекарня. При монастыре действует воскресная школа для детей и взрослых, в которой преподают священнослужители монастыря. Есть небольшой музей, церковные лавки.

При обследовании в монастыре были выявлены следующие основные отступления от требований нормативных документов по пожарной безопасности:

- отсутствие деления коридоров длиной более 60 м противопожарными перегородками 2-го типа на участки, длина которых не превышает 60 м;
- открывание всех внутренних дверей тамбуров эвакуационных выходов из лестничных клеток наружу не по направлению выходов из здания;
- высота ряда эвакуационных выходов в лестничную клетку в свету — менее 1,9 м, ширина дверей в свету — менее 0,8 м;
- наличие на путях эвакуации перепадов высот менее 45 см без устройства лестниц с числом ступеней не менее 3 или пандусов с уклоном не более 1:6;

- отсутствие в части подвального этажа эвакуационных выходов, обособленных от лестничных клеток в надземной части здания;
- отсутствие у некоторых дверей в лестничные клетки устройств самозакрывания и уплотнения в притворах;
- отсутствие проверки качества огнезащитной обработки (пропитки) деревянных конструкций чердака с составлением акта проверки;
- неисправности в работе системы автоматической пожарной сигнализации (АПС) и системы оповещения и управления эвакуацией (СОУЭ);
- наличие ковровых дорожек на полах из древесины;
- отсутствие противодымной вентиляции из коридоров без естественного освещения;
- наличие забежных ступеней, опусков на путях эвакуации, разбросы по высоте ступенек в пределах лестничных маршей;
- наличие открытых лестниц, связывающих надземные и подземные этажи здания;
- наличие отделок зальных помещений, путей эвакуации, не имеющих подтверждения требованиям ФЗ № 123 [2];
- наличие деревянных лестниц на колокольню, широкое использование древесины в колокольне, что снижает класс конструктивной пожарной опасности здания;
- наличие одного эвакуационного выхода из модельного зала собора;
- устройство единственного выхода со смотровой площадки и колокольни на высоте более 15 м.

Таким образом, наличие криволинейных лестниц, разбросы по высоте ступеней в пределах одного лестничного марша, ширина лестничных маршей менее 0,8 м, превышение наклона лестничных маршей относительно допустимого по нормам, разрезные площадки, высота проходов на путях эвакуации менее 1,9 м, забежные ступени и т. д. — все это ограничивает область применения для ряда объектов культурного наследия методики расчета пожарного риска и, следовательно, возможности подтверждения требований безопасности людей при пожаре.

Большинство международных нормативных документов, регламентирующих правила пожарной безопасности для объектов исторического и культурного наследия, предлагает необходимые к проверке перечни характеристик музеев — чек-листы (check-list). В основном данные перечни учитывают деление здания на пожарные отсеки, средства предотвращения распространения дыма и огня в здании в случае пожара, проверку выполнения условия безопасной эвакуации, проверку систем пожаротушения на объекте [3–5].

Таблица 1. Классификация объектов культурного наследия / Table 1. Cultural heritage object classification

№ п/п No.	Признак Parameter	Классификация Classification				
1	Значимость Significance	Объект мирового наследия, национальный памятник архитектуры World heritage site, national historic landmark	Объект национального значения Nationally significant	Объект регионального значения Regionally significant	Объект местного значения Locally significant	Обычный объект (отдельные элементы исторического наследия) Common; little or no local significance, associative, design, construction or information value
2	Сохранность исторической структуры, % Historic fabric integrity, %	≥ 90	≥ 75	≥ 50	< 50	Практически не сохранилась Little remaining historic fabric

Современные чек-листы содержат обширную информацию по различным направлениям безопасности объектов культурного наследия. В настоящее время, как правило, предусматривается качественный и статистический анализ чек-листов.

В России аналогичная работа выполняется в рамках разработки декларации пожарной безопасности. Вместе с тем нам неизвестны случаи использования данных деклараций в прикладных исследованиях. Исходя из современных запросов профилактики и борьбы с пожарами в России, необходима разработка отечественного инженерного метода оценки пожарной безопасности объектов культурного наследия. При этом следует использовать отечественный и зарубежный опыт исследований в области количественного анализа пожарной безопасности объектов культурного наследия [9–11, 22].

В стандарте NFPA 914 [10] представлен сценарий использования метода оценки. Параметры объекта оцениваются от 1 до 5 баллов. По результатам экспертной оценки объекты подразделяют на группы, для каждой из которых разрабатывается определенный набор рекомендаций.

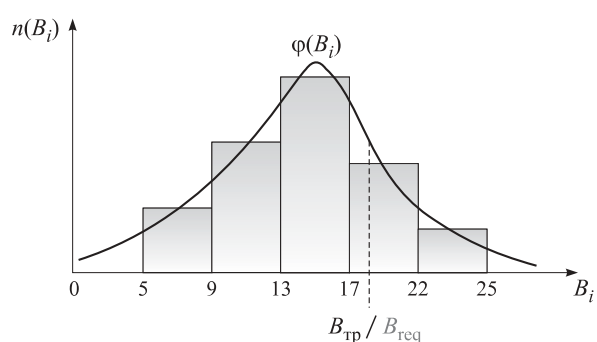
В связи с этим нами предлагается следующая классификация объектов культурного наследия, использующая два признака — значимость и сохранность исторической структуры (табл. 1). В соответствии с ней все объекты культурного наследия делятся на $5 \times 5 = 25$ групп.

Далее для каждого объекта из группы определяется на основе табл. 2 индивидуальная детерминистическая характеристика b_{ij} .

Результаты и их обсуждение

В результате обследования объекта, относящегося к определенному классу по табл. 2, вычисляется его интегральная пожарная характеристика:

$$B_i = \sum_{j=1}^5 b_{ij}, \quad (1)$$



Гистограмма числа объектов $n(B_i)$ в зависимости от интегральной пожарной характеристики объекта B_i ; $\varphi(B_i)$ — плотность распределения пожарной характеристики объекта; $B_{тр}$ — требуемый уровень пожарной безопасности музейного объекта

Histogram for objects number $n(B_i)$ depending on integral fire characteristic value B_i ; $\varphi(B_i)$ — fire characteristic distribution density; B_{req} — required fire safety level for museum

где b_{ij} — значение j -го признака для i -го объекта, $i = 1, \dots, N$;

N — число обследованных объектов из анализируемой группы.

На основе характеристики B_i строится гистограмма распределения числа объектов $n(B_i)$ (см. рисунок). Пожарная опасность объекта возрастает с увеличением его балльной характеристики B_i .

Данную гистограмму можно аппроксимировать и найти плотность распределения музеев в группе $\varphi(B_i)$.

На основе распределения $\varphi(B_i)$ можно установить требуемые уровни пожарной безопасности музеев, которые будут дифференцированы по группам объектов культурного наследия.

Определим требуемый уровень пожарной безопасности музеев $B_{тр}$ как величину (квантиль), отвечающую значению 0,75, т. е.

$$\int_5^{B_{тр}} \varphi(B_i) dB_i = 0,75. \quad (2)$$

Таблица 2. Характеристики объектов культурного наследия / Table 2. Cultural heritage object characteristics

№ п/п No.	Параметр Parameter	Характеристика по 5-балльной системе / Characteristic on a 5-point system				
		5	4	3	2	1
1	Использование объекта Use of object	Объект открыт для свободного неконтролируемого доступа Open to the public uncontrolled access	Многофункциональный объект с помещениями классов функциональной пожарной опасности Ф3–Ф5 (офисы, розничная торговля, склады); открыт для свободного доступа Mixed use; premises with class of functional fire danger F3–F5 (offices, retail, storage); public access	Объект одного класса функциональной пожарной опасности; открыт для свободного контролируемого доступа Premises with special class of functional fire danger; open to public controlled access	Объект одного класса функциональной пожарной опасности; открыт для свободного контролируемого доступа Premises with special class of functional fire danger, open to public monitored and controlled access	Свободного доступа нет, только зоны хранения (Ф5) No public access, storage only (F5)
2	Время прибытия пожарных подразделений или полиции, мин Arrival time of fire subdivisions or police, min	Отсутствует возможность обращения в пожарную службу или полицию; No fire department or police response available; no road access	Более 20 (грунтовые дороги, трудности доступа сезонного характера) More than 20 (rural road access, season road access difficulties)	Менее 20 (грунтовые дороги с современным инженерно-техническим обслуживанием) Less than 20 (rural road access with developed utility services)	Менее 10 Less than 10	Менее 5 Less than 5
3	Степень огнестойкости Fire resistance level	V	IV	III	II	I
4	Площадь пожарных отсеков (пожарных секций) относительно нормативных значений Fire department (fire section) square relative to norms values	Превышена в 2 раза и более Exceed twice or more	Превышена не более чем в 2 раза Exceed less than twice	Соответствует требованиям нормативных документов Corresponds to the norms	Меньше до 1,5 раз Reduced up to 1.5 times	Меньше более чем в 1,5 раза Reduced up more than 1.5 times
5	Использование современных технических средств Use of modern technical means	Отсутствие систем противопожарной защиты No fire protection systems	Система пожарной сигнализации, внутренний противопожарный водопровод Fire alarm system, internal fire-fighting main	Система пожарной сигнализации, внутренний противопожарный водопровод, огнезащита несущих конструкций Fire alarm system, internal fire-fighting main, fire protection for load-bearing constructions	Система пожарной сигнализации, внутренний противопожарный водопровод, система оповещения и управления эвакуацией Fire alarm system, internal fire-fighting main, fire suppression system, emergency voice alarm communication system	Автоматические системы противопожарной защиты в соответствии с нормами Automatic fire protection systems according to norms

Отсюда определяется требуемый уровень пожарной безопасности музейных объектов $B_{тр}$, относящихся к одной группе. При таком определении только 25 % объектов будут превышать требуемый уровень безопасности.

Заключение

Предложенный количественный инженерный метод оценки пожарной безопасности музеев позволяет:

1) установить место конкретного музея среди других музеев по уровню пожарной опасности (задача анализа пожарной опасности);

2) выбрать с учетом данных табл. 2 наиболее эффективные противопожарные мероприятия для конкретного объекта, реализация которых позволит перевести его в группу объектов, для которых $B_i < B_{тр}$, т. е. объектов, приемлемых по уровню пожарной опасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации (с изм. на 07.03.2017) : Федер. закон РФ от 25.06.2002 № 73-ФЗ. URL: <http://docs.cntd.ru/document/901820936> (дата обращения: 10.12.2017).
2. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон РФ от 22.07.2008 № 123-ФЗ (в ред. от 29.07.2017). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения: 10.12.2017).
3. ВППБ 13-01–94. Правила пожарной безопасности для учреждений культуры Российской Федерации : приказ Министерства культуры Российской Федерации от 01.11.1994 № 736. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200004456> (дата обращения: 10.12.2017).
4. СП 112.13330.2011. Пожарная безопасность зданий и сооружений (с изм. № 1 и 2). URL: <http://docs.cntd.ru/document/871001022> (дата обращения: 10.12.2017).
5. СП 258.1311500.2016. Объекты религиозного назначения. Требования пожарной безопасности. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456042677> (дата обращения: 10.12.2017).
6. ТСН 21-305–2003 Санкт-Петербурга. Реконструкция зданий и помещений различных классов функциональной пожарной опасности в пределах исторически сложившихся районов Санкт-Петербурга. Требования пожарной безопасности. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200032049> (дата обращения: 10.12.2017).
7. ТСН 30-306–2002 Санкт-Петербурга. Реконструкция и застройка исторически сложившихся районов Санкт-Петербурга. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200031464> (дата обращения: 10.12.2017).
8. Еремина Т. Ю., Тихонова Н. В. Пожарная безопасность исторических зданий // Пожарная безопасность. — 2017. — № 2. — С. 99–107.
9. CFPA E Guideline No 30:2013 F. Managing fire protection in historic buildings. URL: <http://cfpa-e.eu/cfpa-e-guidelines/guidelines-fire-protection-form/> (дата обращения: 10.12.2017).
10. NFPA 914. Code for fire protection of historic structures. 2015 Edition [Свод правил пожарной безопасности в исторических зданиях]. — Quincy, MA : National Fire Protection Association, 2014. — 256 p.
11. NFPA 909. Code for the protection of cultural resource properties — museums, libraries, and places of worship. 2013 Edition [Свод правил защиты объектов культурного наследия — Музеи, библиотеки, культовые здания]. — Quincy, MA : National Fire Protection Association, 2012. — 185 p.
12. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности : приказ МЧС России от 30.06.2009 № 382 (ред. от 02.12.2015). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902167776> (дата обращения: 10.12.2017).
13. Холщевников В. В., Самошин Д. А. Эвакуация и поведение людей при пожарах. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2009. — 212 с.
14. Гилетич А. Н., Еремина Т. Ю., Тихонова Н. В. Применение международных стандартов BS 7974 и ISO/TS 16733 при оценке пожарного риска // Пожарная безопасность. — 2013. — № 2. — С. 113–124.
15. BS 7974:2001. Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Code of practice [Применение принципов пожарно-технического анализа при проектировании зданий. Свод правил]. — London, UK : British Standards Institution (BSI), 2001. — 34 p.
16. ISO 16733-1:2015. Fire safety engineering — Selection of design fire scenarios and design fires — Part 1: Selection of design fire scenarios [Техника пожарной безопасности. Выбор проекта сценариев пожара и расчет характеристик. Часть 1. Выбор сценария пожара]. — Geneva, Switzerland : ISO, 2015. — 42 p.
17. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений : Федер. закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ (ред. от 02.07.2013). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902192610> (дата обращения: 10.03.2017).

18. Холщевников В. В., Присадков В. И., Костерин И. В. Совершенствование методологии определения расчетных величин пожарного риска в зданиях и сооружениях на основе стохастического описания определяющих их процессов и деревьев событий // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2017. — Т. 26, № 1. — С. 5–17. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.01.5-17.
19. Hansell G. O., Morgan H. P. Design approaches for smoke control in atrium buildings. — Borehamwood, UK : Building Research Establishment, 1994. — 66 p.
20. Богданов А. В. Интегрированная система пожарно-охранной безопасности крупного музейного комплекса (на примере Государственного Эрмитажа) : дис. ... канд. техн. наук. — Санкт-Петербург, 2004. — 177 с.
21. Богданов А. В. Фундаментальные основы и частные задачи пожарной защиты музеев // Системы безопасности. — 2014. — № 5. — С. 128–131.
22. Мусликова С. В. Совершенствование противопожарной защиты музейных объектов : дис. ... канд. техн. наук. — М., 2002. — 212 с.

Материал поступил в редакцию 13 февраля 2018 г.

Для цитирования: Присадков В. И., Еремина Т. Ю., Богданов А. В., Сушкова О. В., Тихонова Н. В. Требуемый уровень пожарной безопасности музеев — объектов культурного наследия // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 4. — С. 42–49. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.04.42-49.

English

REQUIRED FIRE SAFETY LEVEL FOR MUSEUMS — CULTURAL HERITAGE OBJECTS

PRISADKOV V. I., Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia (VNIPO District, 12, Moscow Region, Balashikha, 143903, Russian Federation; e-mail: Z080637@yandex.ru)

EREMINA T. Yu., Doctor of Technical Sciences, Professor, Senior Researcher of Management Issues Academic Organization, State Fire Academy of Emercom of Russian (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: main@stopfire.ru)

BOGDANOV A. V., Deputy General Director on Operations, State Hermitage Museum (Dvortsovaya Embankment, 34, Saint Petersburg, 190000, Russian Federation; e-mail: bogdanov@hermitage.ru)

SUSHKOVA O. V., Head of Fire Safety Department, State Hermitage Museum (Dvortsovaya Embankment, 34, Saint Petersburg, 190000, Russian Federation; e-mail: sushkova@hermitage.ru)

TIKHONOVA N. V., Leading Engineer, International Scientific Innovative Center of Construction and Fire Safety, Ltd. (Uralskaya St., 13, Saint Petersburg, 199155, Russian Federation; e-mail: risk@stopfire.ru)

ABSTRACT

Space-planning decision and structural design of egress paths must provide safe evacuation for people in case of fire. Some deviations from fire safety normative document requirements can be justified by fire risk assessment. But approved technique use is not always correct for cultural heritage objects: application is restricted by architectural elements which should be conserved as cultural heritage elements. These restrictions are demonstrated in the paper with the results of fire safety surveying in monastery. This object consists of premises with different classes of fire danger functionality; it's object with large people assembly (pilgrims, tourists) and object with round-the-clock presence. Conserved elements of the building don't allow to fulfill reconstruction works, which could provide normative level of fire safety.

Check-list use is analyzed in the work as the method of international normative documentation on fire safety. In general these lists include fire compartmentation, resources for restriction of fire and smoke spread in the building, safe evacuation confirmation, fire safety systems inspection.

In NFPA standards scenario of fire safety evaluation for cultural heritage objects are presented. Different characteristics of the object are ranked, and objects form some groups on basis of this expert evaluation. Then recommendations and additional safety measures are developed for each group.

Authors suggest cultural heritage objects classification by significance and historic structure preservation. Individual deterministic characteristic is defined for each object from the group by its marks. These values form distribution histogram for the number of objects evaluated, and required fire safety level for museums from one group is defined.

Suggested method of fire safety evaluation for cultural heritage objects allows to arrange museums by fire safety level and then to develop the most effective fire safety measures based on evaluation results.

Keywords: cultural heritage object modern use; cultural heritage object fire safety; check-list; cultural heritage object classification; required fire safety level.

REFERENCES

1. *On cultural heritage objects (historic and cultural monuments) of nations in Russian Federation*. Federal Law on 25.06.2002 No. 73 (with changes on 07.03.2017) (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/901820936> (Accessed 10 December 2017).
2. *Technical regulations for fire safety requirements*. Federal Law on 22.07.2008 No. 123 (ed. 29.07.2017) (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (Accessed 10 December 2017).
3. VPPB 13-01-94. *Fire safety rules for cultural institutions in Russian Federation*. Order of Ministry of Culture of the Russian Federation on 01.11.1994 No. 736 (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200004456> (Accessed 10 December 2017).
4. Set of rules 112.13330.2011. *Fire safety of buildings and works* (with changes No. 1, 2) (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/871001022> (Accessed 10 December 2017).
5. Set of rules 258.1311500.2016. *Buildings for using in religious purposes. Fire safety requirements* (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/456042677> (Accessed 10 December 2017).
6. Saint Petersburg regional construction norms 21-305-2003. *Reconstruction of buildings and rooms of different fire danger in historically formed districts of Saint Petersburg. Fire safety requirements* (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200032049> (Accessed 10 December 2017).
7. Saint Petersburg regional construction norms 30-306-2002. *Reconstruction and building in Saint Petersburg historic districts* (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200031464> (Accessed 10 December 2017).
8. Eremina T. Yu., Tikhonova N. V. Fire safety of historic buildings. *Pozharnaya bezopasnost / Fire Safety*, 2017, no. 2, pp. 99–107 (in Russian).
9. CFPA E Guideline No 30:2013 F. *Managing fire protection in historic buildings*. Available at: <http://cfpa-e.eu/cfpa-e-guidelines/guidelines-fire-protection-form/> (Accessed 10 December 2017).
10. NFPA 914. *Code for fire protection of historic structures*. 2015 Edition. Quincy, MA, National Fire Protection Association, 2014. 256 p.
11. NFPA 909. *Code for the protection of cultural resource properties — museums, libraries, and places of worship*. 2013 Edition. Quincy, MA, National Fire Protection Association, 2012. 185 p.
12. *Procedure for fire risk determining in buildings and structures of different fire danger*. Order of Emercom of Russian on 30.06.2009 No. 382 (ed. on 02.12.2015) (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902167776> (Accessed 10 December 2017).
13. Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A. *Evakuatsiya i povedeniye lyudey pri pozharakh* [Evacuation and occupant behavior at fires]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2009. 212 p. (in Russian).
14. Giletich A. N., Eremina T. Yu., Tikhonova N. V. Application of International Standards BS 7974 and ISO/TS 16733 to probabilistic assessment of fire risk. *Pozharnaya bezopasnost / Fire Safety*, 2013, no. 2, pp. 113–124 (in Russian).
15. BS 7974:2001. *Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Code of practice*. London, UK, British Standards Institution (BSI), 2001. 34 p.
16. ISO 16733-1:2015. *Fire safety engineering — Selection of design fire scenarios and design fires — Part 1: Selection of design fire scenarios*. Geneva, Switzerland, ISO, 2015. 42 p.
17. *Technical regulation of buildings and structures safety*. Federal Law on 30.12.2009 No. 384-FZ (ed. on 02.07.2013) (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902192610> (Accessed 10 December 2017).

18. Kholshchevnikov V. V., Prisadkov V. I., Kosterin I. V. Improvement methodology for determining the calculated value of the fire risk in buildings and structures based on stochastic description of determining their processes and trees events. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 1, pp. 5–17 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.01.5-17.
19. Hansell G. O., Morgan H. P. *Design approaches for smoke control in atrium buildings*. Borehamwood, UK, Building Research Establishment, 1994. 66 p.
20. Bogdanov A. V. *Integrated fire safety and security system for big museum complex (case study of State Hermitage)*. Cand. tech. sci. diss. Saint Petersburg, 2004. 177 p. (in Russian).
21. Bogdanov A. V. Fundamental basis and specific problems of museum fire safety. *Sistemy bezopasnosti / Security and Safety*, 2014, no. 5, pp. 128–131 (in Russian).
22. Muslakova S. V. *Fire safety optimization for museums*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, 2002. 212 p. (in Russian).

For citation: Prisadkov V. I., Eremina T. Yu., Bogdanov A. V., Sushkova O. V., Tikhonova N. V. Required fire safety level for museums — cultural heritage objects. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 4, pp. 42–49 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.04.42-49.



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу

Д. Г. Пронин, Д. А. Корольченко

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАЗМЕРОВ ПОЖАРНЫХ ОТСЕКОВ В ЗДАНИЯХ И СООРУЖЕНИЯХ : монография.

— М. : Издательство "ПОЖНАУКА".



Изложены современные подходы к нормированию площадей пожарных отсеков и раскрыты требования к ним. Предложен метод научно-технического обоснования размеров пожарных отсеков с учетом вероятностного подхода на основе расчета пожарного риска. Рассмотрены возможности расчета вероятностных показателей, используемых в разработанном методе. Представлены основные достижения в данном направлении отечественной и зарубежной науки; приведены сведения о положительных и отрицательных сторонах действующей системы технического регулирования.

Монография ориентирована на научных и инженерных работников, занимающихся вопросами проектирования противопожарной защиты зданий и сооружений, а также на научных и практических работников пожарной охраны, преподавателей и слушателей учебных заведений строительного и пожарно-технического профиля, специалистов страховых компаний, занимающихся вопросами оценки пожарного риска.

Монография рекомендуется к использованию при выполнении научно-исследовательских и нормативно-технических работ по оптимизации объемно-планировочных и конструктивных решений зданий и сооружений, в том числе тех, на которые отсутствуют нормы проектирования, а также при проведении оценки страхования пожарных рисков.

Разработанный метод расчета может быть положен в основу технических регламентов и сводов правил в области строительства и пожарной безопасности.

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

А. В. ВЫТОВТОВ, преподаватель кафедры пожарной безопасности объектов защиты, Воронежский институт — филиал Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (Россия, 394052, г. Воронеж, ул. Краснознаменная, 231; e-mail: taft.rvk@yandex.ru)

А. В. КАЛАЧ, д-р хим. наук, профессор, профессор кафедры основ гражданской обороны и управления в ЧС, Воронежский институт — филиал Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (Россия, 394052, г. Воронеж, ул. Краснознаменная, 231; e-mail: a_kalach@mail.ru)

В. Я. ТРОФИМЕЦ, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры высшей математики и системного моделирования сложных процессов, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: zemifort@inbox.ru)

УДК 629.735.33

МЕТОДИКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МОНИТОРИНГА ЛИНЕЙНЫХ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА С БЕСПИЛОТНОГО ВОЗДУШНОГО СУДНА

Рассмотрена возможность автоматизации распознавания пламени на линейных объектах с борта беспилотного воздушного судна без участия оператора с помощью разработанной математической модели. Предложен летательный аппарат отечественного производства, который по своим тактико-техническим характеристикам способен реализовать предложенный алгоритм мониторинга. Проведен расчет условий эксплуатации по высоте и скорости аппарата, в которых обеспечиваются пороговые значения допуска модели. Выведена регрессионная модель интервала захвата кадра в зависимости от скорости аппарата. Обобщены и сведены в методику автоматизированного мониторинга линейных объектов нефтегазового комплекса эксплуатационные особенности выбранного летательного аппарата и граничные условия разработанной математической модели.

Ключевые слова: беспилотное воздушное судно; распознавание пламени; система автоматического контроля; алгоритм распознавания; дрон; линейный объект; нефтегазовая отрасль.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.04.50-57

Введение

Летательные аппараты, контролируемые в полете пилотом, находящимся вне борта воздушного судна, с развитием технологий вышли за границы военной отрасли в сферу гражданского применения. Правовой статус данных объектов был установлен Воздушным кодексом Российской Федерации (№ 60-ФЗ от 19.03.1997), который в ст. 32 ввел определение “беспилотное воздушное судно” (БВС), устранив различия в применяемой терминологии.

Развитие производственного комплекса привело к массовой комплектации МЧС России легкими беспилотными воздушными судами, предназначенными для оперативного мониторинга и разведки при ликвидации чрезвычайных ситуаций. Принцип принятия решений при их эксплуатации построен на получении фото- и видеоматериалов в режиме реального времени оператором, анализирующим и воспринимающим информацию с монитора пульта управления. Данная методика теряет свою эффективность при проведении мониторинга на значитель-

ных территориях, примером которых могут являться линейные объекты нефтегазовой отрасли.

Целью работы является создание методики автоматизированного мониторинга линейных объектов нефтегазового комплекса, основанной на разработанной авторами математической модели распознавания пламени по видеопотоку, полученному с борта беспилотного воздушного судна.

Для этого были подобраны: летная платформа отечественного производства, способная решать задачи мониторинга; высота и скорость полета; алгоритм взаимодействия программы распознавания с технической частью аппарата; последовательность методики проведения мониторинга с учетом разработанных параметров, обеспечивающих соблюдение граничных условий модели.

Активное развитие беспилотных аппаратов стало возможным в том числе благодаря использованию микропроцессора, реализующего комплекс программ, управляющих полетом. Помимо них, в современных моделях используются такие алгоритмы,

как следование за объектом, облет препятствий, распознавание военной техники и человека.

Научная новизна предлагаемой методики заключается в использовании математической модели обнаружения пламени с борта беспилотного воздушного судна по видеоизображению, реализованной в программном комплексе “Видеодетектор пламени 2.0 FD”, получившем свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. Алгоритм обнаружения, состоящий из ряда взаимосвязанных фильтров, представлен в работе [1]. Данной проблеме посвящено зарубежное исследование COMETS [2, 3], в котором задача обнаружения огня решалась несколькими аппаратами одновременно [4], в алгоритме принятия решения анализировалась информация с видеокамеры [5], тепловизора и инфракрасной камеры, расположенных на разных аппаратах [6, 7]. Задача обнаружения огня по видеоизображению со статично расположенной камеры была решена в работе [8] и реализована на ряде объектов в системе видеонаблюдения. При получении информации с борта воздушного судна точка наблюдения постоянно движется, создавая условия, неприменимые к разработанным системам. В отечественных исследованиях отсутствуют разработки, направленные на решение поставленной задачи.

Материалы и методы

Существуют инфракрасные камеры, способные на значительном расстоянии определять температуру и сообщать оператору о превышении ее порогового значения, однако их стоимость гораздо выше по сравнению с цифровыми видеокамерами [9], как правило, входящими в базовую комплектацию летательных аппаратов. Использование автоматизированной системы обнаружения позволяет уменьшить нагрузку на оператора и проводить анализ видеопотока на борту аппарата без передачи сигнала на землю. Задача автоматизации мониторинга приобретает значимость при длительном обследовании протяженных участков. Повышению пожарной безопасности для таких объектов с использованием принципа автоматизации посвящена работа [10].

При выборе беспилотной авиационной системы для реализации разработанного алгоритма учитывались следующие требования: летная платформа самолетного типа, возможность движения аппарата в автоматизированном режиме по полетному заданию, значительная дальность полета, отечественное производство.

В качестве летной платформы беспилотного воздушного судна, используемого для мониторинга, рассмотрен воздушный аппарат самолетного типа отечественного производства Supercam S350 (г. Ижевск) с размахом крыльев 3,2 м и дальностью полета не менее 240 км.

Теоретические основы

Интервал времени, с которым первый фильтр программы захватывает и обрабатывает изображение, влияет на загруженность микропроцессора и зависит от конкретных параметров мониторинга. В настоящем исследовании использован аппарат самолетного типа Supercam S350. Для проведения мониторинга выбраны оптимальные условия его эксплуатации и граничные условия, лежащие в основе экспериментальной базы математической модели [11]. Угол обзора камеры аппарата — 94° [12]. Видеоизображение представляет собой прямоугольник с соотношением сторон 16:9. Рабочая высота наблюдения для аппарата — 40 м. При этом область, попадающая в видеоизображение, имеет размеры $85,79 \times 48,2$ м. Для уменьшения искажения изображения в результате перспективы и соблюдения ограничения максимальной удаленности 50 м, заложенной в математической модели обнаружения, выделим зону, ширина которой составляет 70 % от общей ширины. Это приведет к сокращению участка мониторинга до 60 м и обеспечит адекватную работу модели (рис. 1).

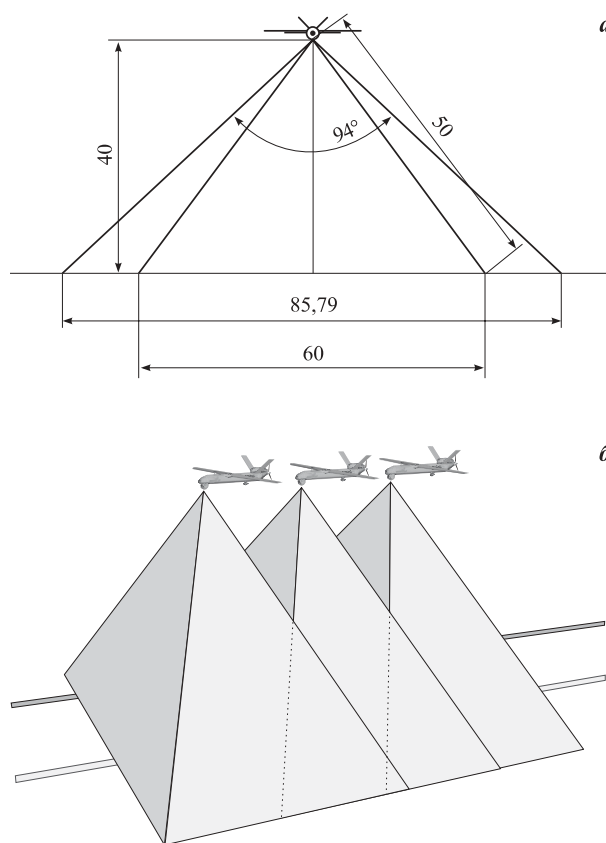


Рис. 1. Параметры мониторинга: *a* — геометрические параметры стандартных условий мониторинга; *b* — аксонометрическая проекция зоны мониторинга

Fig. 1. Monitoring parameters: *a* — geometric parameters of standard monitoring conditions; *b* — axonometric projection of the monitoring zone

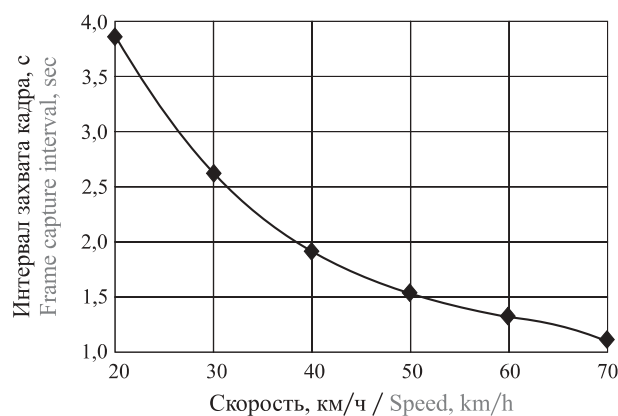


Рис. 2. Изменение интервала захвата кадра в зависимости от скорости аппарата

Fig. 2. Changing the frame capture interval depending on the speed of the unit

При высоте полета, превышающей 40 м, программа использует оптическое приближение на видеокамере для соблюдения ограничений и адекватной работы модели [13]. В методике принято условие достаточности исследования одной точки с двух различных ракурсов [14]. Для достижения качества и равномерности видеофиксации каждого следующего участка земной поверхности предусмотрен 10 %-ный перехлест зон. Исходя из параметров мониторинга, захват изображения происходит через каждые 21,7 м. Рабочая скорость беспилотного воздушного судна в исследовании составляет 50 км/ч, однако в связи с погодными условиями (встречный ветер) этот параметр может значительно отличаться от данного значения. Представим частоту захвата кадра t_{f1} в виде зависимости от скорости s для интервала от 20 до 70 км/ч:

$$t_{f1} = 8,637 - 0,3305s + 0,05239s^2 - 0,00002935s^3.$$

В соответствии с полученной зависимостью интервал захвата кадра при скорости 50 км/ч составляет 1,5 с. Графическая проверка подобранной полиномиальной регрессии третьей степени изображена на рис. 2.

Результаты и их обсуждение

Алгоритм методики автоматического мониторинга линейных объектов нефтегазовой отрасли с борта беспилотного воздушного судна, обеспечивающей снижение пожарной опасности, предупреждение пожаров и аварий, представлен в виде схемы на рис. 3.

Алгоритм методики реализуется следующим образом:

1) подготовка к взлету: сбор аппарата, эластичной катапульты, наземной станции управления (НСУ), наземного блока антенн для управления и телеметрии с приемником видеосигнала; загрузка карты местности с перепадом высот; проверка аккумуля-

торов питания НСУ или подключения к системе питания;

2) подключение питания к воздушному судну: проверка связи с НСУ, зарядки аккумуляторов; проведение предполетной подготовки, в том числе проверка датчиков воздушного давления и освещенности; установка навесного оборудования (камеры) с выполнением проверочного снимка с НСУ;

3) проверка погодных условий на соответствие эксплуатационным ограничениям: скорость ветра не выше 15 м/с, температура окружающего воздуха от минус 40 до +40 °С, дождь или снегопад умеренный; недопустимо эксплуатировать аппарат в грозу или при сильной кучевой облачности;

4) запуск беспилотного воздушного судна двумя операторами с площадки размером не менее 100×100 м с помощью эластичной катапульты в режиме максимальной мощности двигателя; до подъема на рабочую высоту разблокировка парашюта оператором на НСУ для раскрытия его в случае проблем на взлете;

5) выход аппарата на круг при достижении рабочей высоты; загрузка полетного задания по мониторингу линейного объекта нефтегазовой отрасли, в котором учитываются повороты трубопровода для обеспечения плавного угла поворота воздушного судна [15, 16]; задание точки возврата исходя из максимального радиуса передачи радиоволны 90 км;

6) выход аппарата на полетное задание с последующим включением алгоритма автоматического распознавания пламени, которое может выполняться в ручном режиме или автоматически в контрольных точках полетного задания;

7) обработка поступающих данных: алгоритм обнаружения пламени работает с видеопотоком, анализируя его в соответствии с интервалом захвата; видеопоток не записывается на носитель, а хранится в оперативной памяти в течение 2 мин с момента записи; в случае положительного решения по первому фильтру программа выгружает предшествующий интервал захвата и анализирует все кадры по алгоритму; в случае обнаружения пламени на твердотельную память записывается 2 мин до его обнаружения и 2 мин после; в случае положительного решения по первому фильтру записывается интервал захвата до и два интервала после;

8) обнаружение горения: по радиоканалу передается сигнал "ТРЕВОГА, обнаружено горение", координаты, время, вид пожарной нагрузки, фотография обнаруженного очага; при наличии возможности производится передача фрагмента видеопотока с обнаруженной зоной горения; место горения обозначается маркером на карте НСУ;

9) принятие оператором решения по полученной информации: заход на круг для проверки информа-

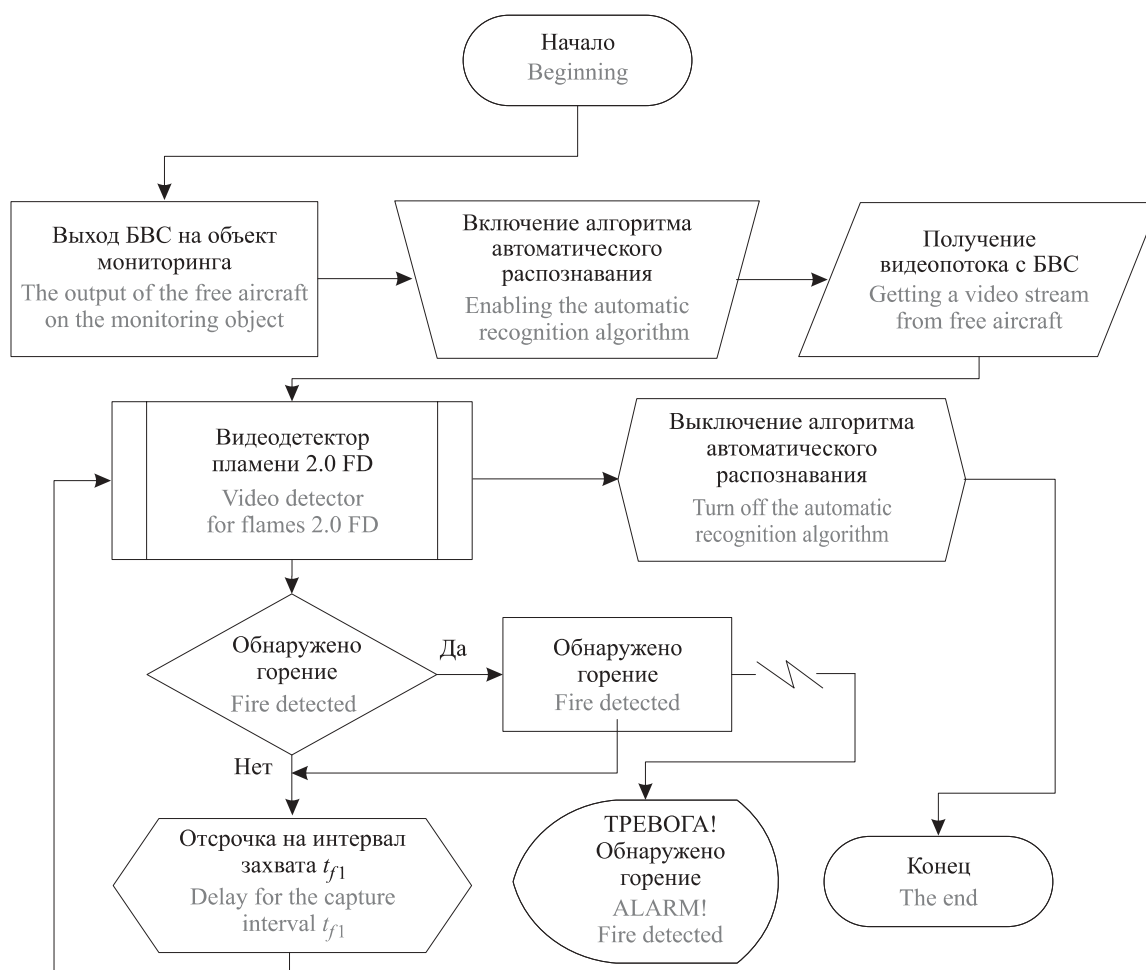


Рис. 3. Схема алгоритма методики применения беспилотных воздушных судов для мониторинга линейных объектов нефтегазовой отрасли

Fig. 3. Schematic diagram of the technique of free aircraft for monitoring of linear objects of oil and gas industry

ции на другой высоте, или визуальный осмотр места пожара с помощью телеметрии в режиме реального времени, или выгрузка видеопотока зоны обнаружения, или направление аварийной бригады на ликвидацию чрезвычайной ситуации [17];

10) окончание полетного задания, возврат на точку взлета, приземление в автоматическом или ручном режиме.

Таким образом, методика автоматизированного мониторинга линейных объектов нефтегазовой отрасли позволяет проводить контроль в режиме реального времени [18], обеспечивая снижение уровня пожарной опасности и предупреждение аварий [19].

Заключение

Предложенная методика выполняет задачи импортозамещения и максимально эффективно исполь-

зует возможности БВС, проводя математическую обработку видеоизображения микропроцессором, находящимся на борту аппарата, без необходимости передачи сигнала оператору. Алгоритм использует также цифровую видеокамеру стандартного разрешения, выполняя задачу обнаружения без специализированного оборудования. Это существенно снижает стоимость аппарата и открывает возможность широкой интеграции в существующие БВС [20] за счет кроссплатформенности программного комплекса. Экспериментальные данные, показания измерительных приборов, представленные на портале ResearchGate в проекте “Automatic flame detection from drone”, могут быть использованы для проверки обоснованности сделанных выводов, правильности постановки эксперимента, разработки других подходов к обнаружению горения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вытовтов А. В., Калач А. В., Куликова Т. Н. Алгоритм распознавания пламени с борта беспилотного воздушного судна // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. — 2017. — № 3(24). — С. 86–90.

2. Capitan J., Merino L., Ollero A. Cooperative decision-making under uncertainties for multi-target surveillance with multiples UAVs // Journal of Intelligent and Robotic Systems. — 2016. — Vol. 84, No. 1-4. — P. 371–386. DOI: 10.1007/s10846-015-0269-0.
3. Dalamagkidis K., Valavanis K. P., Piegl L. A. Current status and future perspectives for unmanned aircraft system operations in the US // Journal of Intelligent and Robotic Systems. — 2008. — Vol. 52, No. 2. — P. 313–327. DOI: 10.1007/s10846-008-9213-x.
4. Rabta B., Wankmüller C., Reiner G. A drone fleet model for last-mile distribution in disaster relief operations // International Journal of Disaster Risk Reduction. — 2018. — Vol. 28. — P. 107–112. DOI: 10.1016/j.ijdr.2018.02.020.
5. Dadashzadeh M., Khan F., Hawboldt K., Amyotte P. An integrated approach for fire and explosion consequence modelling // Fire Safety Journal. — 2013. — Vol. 61. — P. 324–337. DOI: 10.1016/j.fire-saf.2013.09.015.
6. Mueller E. V., Skowronski N., Clark K., Gallagher M., Kremens R., Thomas J. C., Houssami M. E., Filkov A., Hadden R. M., Mell W., Simeoni A. Utilization of remote sensing techniques for the quantification of fire behavior in two pine stands // Fire Safety Journal. — 2017. — Vol. 91. — P. 845–854. DOI: 10.1016/j.firesaf.2017.03.076.
7. Laszlo B., Agoston R., Xu Q. Conceptual approach of measuring the professional and economic effectiveness of drone applications supporting forest fire management // Procedia Engineering. — 2018. — Vol. 211. — P. 8–17. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.12.132.
8. Денисов М. С., Русских Д. В. Алгоритм определения пламени на видеоизображении // Актуальные проблемы пожарной безопасности : материалы XXVII Международной научно-практической конференции, посвященной 25-летию МЧС России : в 3 ч. — М. : ВНИИПО МЧС России, 2015. — С. 73–78.
9. Лебедев Ю. М., Разиньков С. Ю., Вытовтов А. В., Шумилин В. В. Зарубежный опыт использования микрокамер в инфракрасном диапазоне на БПЛА для обнаружения огня // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. — 2015. — Т. 1. — С. 28–33.
10. Королев Д. С. Методика прогнозирования пожароопасных свойств продуктов нефтепереработки для обеспечения пожарной и промышленной безопасности : дис. ... канд. техн. наук. — Воронеж, 2017. — 105 с.
11. Вытовтов А. В., Калач А. В., Сазанова А. А., Лебедев Ю. М. К вопросу о создании беспилотных летательных аппаратов // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. — 2016. — № 2. — С. 87–91.
12. Мазаев А. В., Иванова Ю. В. Особенности технологии изготовления панели двойной кривизны и переменной толщины из композита СИАЛ // Инновации, технологии и бизнес. — 2017. — № 3. — С. 76–82.
13. Чудаков А. А. Верификация метода восстановления рельефа местности на основе картографических данных // Фундаментальные проблемы системной безопасности : материалы школы-семинара молодых ученых. — Елец : ЕГУ им. И. А. Бунина, 2014. — С. 255–260.
14. Ситников И. В., Кривоуст О. Г., Однолько А. А., Артыщенко С. В. Имитационное моделирование площади пожара с применением метода Монте-Карло в рамках интегральной математической модели пожара // Инженерные системы и сооружения. — 2012. — № 4(9). — С. 75–82.
15. Демехин Ф. В. Методологические основы совершенствования автоматизированных систем противопожарной защиты предприятий нефтеперерабатывающего комплекса с применением видеотехнологий : дис. ... д-ра техн. наук. — СПб., 2009. — 383 с.
16. Пат. 2610800 Российская Федерация, МПК F17C 9/02, F25B 29/00, F17C 3/10. Способ изотермического хранения и регазификации сжиженного углеводородного газа / Шевцов С. А., Каргашилов Д. В., Усачев Д. К., Хабибов М.-А. У. — № 2015148410; заявл. 10.11.2015; опубл. 15.02.2017, Бюл. № 5.
17. Dunnington L., Nakagawa M. Fast and safe gas detection from underground coal fire by drone fly over // Environmental Pollution. — 2017. — Vol. 229. — P. 139–145. DOI: 10.1016/j.envpol.2017.05.063.
18. Устюжанина А. Ю., Галкина А. А., Фукалов Д. С., Шарафутдинов А. А., Хайретдинов И. А., Хафизов И. Ф. Разработка и создание веб-приложения по моделированию чрезвычайных ситуаций на опасных производственных объектах нефтегазового комплекса // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. — 2017. — № 1(107). — С. 210–218.
19. Пат. 2634782 Российская Федерация, МПК B01D 53/26, B01D 53/14, B01D 3/00. Способ осушки углеводородного газа диэтиленгликолем / Шевцов С. А., Калач А. В., Каргашилов Д. В., Сапелкин Д. И. — № 2016129908; заявл. 20.07.2016; опубл. 03.11.2017, Бюл. № 31.

20. Zhao J., Huang H., Jomaas G., Zhong M., Li Y. Spread and burning behavior of continuous spill fires // Fire Safety Journal. — 2017. — Vol. 91. — P. 347–354. DOI: 10.1016/j.firesaf.2017.03.046.

Материал поступил в редакцию 13 марта 2018 г.

Для цитирования: Вытовтов А. В., Калач А. В., Трофимец В. Я. Методика автоматизированного мониторинга линейных объектов нефтегазового комплекса с беспилотного воздушного судна // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 4. — С. 50–57. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.04.50-57.

English

METHODOLOGY OF AUTOMATED MONITORING OF LINEAR OBJECTS OF OIL AND GAS COMPLEX WITH A FREE AIRCRAFT

VYTOVTOV A. V., Lecturer, Department of Fire Safety of Protection Facilities, Voronezh Institute — Branch of Ivanovo Fire and Rescue Academy of Emercom of Russia (Krasnoznamennaya St., 231, Voronezh, 394052, Russian Federation; e-mail: taft.rvk@yandex.ru)

KALACH A. V., Doctor of Chemical Sciences, Professor, Professor of Department of Civil Defense and Emergency Management, Voronezh Institute — Branch of Ivanovo Fire and Rescue Academy of Emercom of Russia (Krasnoznamennaya St., 231, Voronezh, 394052, Russian Federation; e-mail: a_kalach@mail.ru)

TROFIMETS V. Ya., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Department of Higher Mathematics and System Modeling of Complex Processes, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail: zemifort@inbox.ru)

ABSTRACT

Introduction. The aim of the work is to create a methodology for automated monitoring of linear objects in the oil and gas complex based on the developed mathematical model of flame recognition from a video protocol obtained from a free aircraft.

Materials and methods. In a typical solution for recognizing a flame from a free aircraft, an infrared camera is used which effectively solves the detection problem, but has a high cost and is an additional attachments, which increases the weight of the apparatus and reduces its flight capabilities. In existing systems with video camera, the operator makes a decision about the presence of combustion, receiving information from the monitor of the control panel in real time.

Theoretical basis. To improve this principle, the algorithm for recognizing the flame in automatic mode, implemented in the program “Video detector flame 2.0 FD”, its difference in the analysis of the video protocol on-board. To implement the algorithm developed, the device of the Russian production Supercam S350 was selected. The flight conditions for the implementation of the methodology were chosen on the basis of the limitations of the underlying mathematical model, while the altitude was 40 m. The condition of sufficiency of the study of one point from two different angles with an overlap of 10 % is accepted in the work. The operational speed of the aircraft during monitoring is 50 km/h.

Results and its discussion. To ensure the uniformity of capture of the frames of the underlying surface, polynomial regression of the third degree is determined depending on the true speed in the range from 20 to 70 km/h. The operational characteristics of the selected aircraft and the boundary conditions of the developed mathematical model are generalized and summarized in the methodology of automated monitoring of linear objects of the oil and gas complex.

Conclusions. The proposed algorithm uses a digital video camera of standard resolution, performing the detection task without specialized equipment. This significantly reduces the cost of the device and opens the possibility of broad integration into existing free aircraft due to cross-platform software.

Keywords: free aircraft; flame recognition; automatic control system; recognition algorithm; drone; linear object; oil and gas industry.

REFERENCES

1. Vyotovtov A. V., Kalach A. V., Kulikova T. N. Mathematical model of recognition of flame from the board of a free aircraft. *Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MChS Rossii / Bulletin of Voronezh Institute of State Firefighting Service of Emercom of Russia*, 2017, no. 3(24), pp. 86–90 (in Russian).
2. Capitan J., Merino L., Ollero A. Cooperative decision-making under uncertainties for multi-target surveillance with multiples UAVs. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, 2016, vol. 84, no. 1-4, pp. 371–386. DOI: 10.1007/s10846-015-0269-0.
3. Dalamagkidis K., Valavanis K. P., Piegł L. A. Current status and future perspectives for unmanned aircraft system operations in the US. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, 2008, vol. 52, no. 2, pp. 313–327. DOI: 10.1007/s10846-008-9213-x.
4. Rabta B., Wankmüller C., Reiner G. A drone fleet model for last-mile distribution in disaster relief operations. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2018, vol. 28, pp. 107–112. DOI: 10.1016/j.ijdrr.2018.02.020.
5. Dadashzadeh M., Khan F., Hawboldt K., Amyotte P. An integrated approach for fire and explosion consequence modelling. *Fire Safety Journal*, 2013, vol. 61, pp. 324–337. DOI: 10.1016/j.firesaf.2013.09.015.
6. Mueller E. V., Skowronski N., Clark K., Gallagher M., Kremens R., Thomas J. C., Houssami M. E., Filkov A., Hadden R. M., Mell W., Simeoni A. Utilization of remote sensing techniques for the quantification of fire behavior in two pine stands. *Fire Safety Journal*, 2017, vol. 91, pp. 845–854. DOI: 10.1016/j.firesaf.2017.03.076.
7. Laszlo B., Agoston R., Xu Q. Conceptual approach of measuring the professional and economic effectiveness of drone applications supporting forest fire management. *Procedia Engineering*, 2018, vol. 211, pp. 8–17. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.12.132.
8. Denisov M. S., Russkikh D. V. Algorithm for determining the flame on the video image. In: *Aktualnyye problemy pozharной bezopasnosti. Materialy XXVII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 25-letiyu MChS Rossii* [Actual problems of fire safety. Proceedings of XXVII International Scientific and Practical Conference, dedicated to the 25th anniversary of Emercom of Russia]. Moscow, VNIPO Publ., 2015, pp. 73–78 (in Russian).
9. Lebedev Yu. M., Razinkov S. Yu., Vyotovtov A. V., Shumilin V. V. Foreign experience of using micro cameras in the infrared range on UAV for detecting fire. *Problemy obespecheniya bezopasnosti pri likvidatsii posledstviy chrezvychaynykh situatsiy / The Problems of Ensuring Safety in the Aftermath of Emergency Situations*, 2015, vol. 1, pp. 28–33 (in Russian).
10. Korolev D. S. *The method of forecasting fire-hazardous properties of oil refining products to ensure fire and industrial safety*. Cand. tech. sci. diss. Voronezh, 2017. 105 p. (in Russian).
11. Vyotovtov A. V., Kalach A. V., Sazanova A. A., Lebedev Ju. M. Towards the creation unmanned aerial vehicle. *Vestnik BGTU im. V. G. Shukhova / Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov*, 2016, no. 2, pp. 87–91 (in Russian).
12. Mazaev A. V., Ivanova Yu. V. Features of manufacturing method of double curved and variable thickness panel made of GLARE composite material. *Innovatsii, tekhnologii i biznes / Innovation, Technology and Business*, 2017, no. 3, pp. 76–82 (in Russian).
13. Chudakov A. A. Verification of the method of restoring terrain based on cartographic data. In: *Fundamentalnyye problemy sistemnoy bezopasnosti. Materialy shkoly-seminara molodykh uchenykh* [Fundamental Problems of System Security. Proceedings of the School-Seminar of Young Scientists]. Yelets, Bunin Yelets State University Publ., 2014, pp. 255–260 (in Russian).
14. Sitnikov I. V., Krivopust O. G., Odnolko A. A., Artyshchenko S. V. Simulation modeling of the fire area using the Monte-Carlo method in the framework of the integral mathematical model of fire. *Inzhenernyye sistemy i sooruzheniya / Engineering Systems and Constructions*, 2012, no. 4(9), pp. 75–82 (in Russian).
15. Demekhin F. V. *Methodological bases of perfection of the automated systems of fire protection of the enterprises of an oil refining complex with application of video technologies*. Dr. tech. sci. diss. Saint Petersburg, 2009. 383 p. (in Russian).
16. Shevtsov S. A., Kargashilov D. V., Usachev D. K., Khabibov M.-A. U. *Method of isothermal storage and regasification of liquefied petroleum gas*. Patent RU, no. 2610800, publ. date 15.02.2017, Bull. 5 (in Russian).

17. Dunnington L., Nakagawa M. Fast and safe gas detection from underground coal fire by drone fly over. *Environmental Pollution*, 2017, vol. 229, pp. 139–145. DOI: 10.1016/j.envpol.2017.05.063.
18. Ustyuzhanina A. Yu., Galkina A. A., Fukalov D. S., Sharafutdinov A. A., Khayretdinov I. A., Khafizov I. F. Development and creation of a web application for modeling of emergencies at hazardous production facilities of the oil and gas complex. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefi i nefteproduktov / Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2017, no. 1(107), pp. 210–218 (in Russian).
19. Shevtsov S. A., Kalach A. V., Kargashilov D. V., Sapelkin D. I. *Method of drying hydrocarbon gas by diethylene glycol*. Patent RU, no. 2634782, publ. date 03.11.2017, Bull. 31 (in Russian).
20. Zhao J., Huang H., Jomaas G., Zhong M., Li Y. Spread and burning behavior of continuous spill fires. *Fire Safety Journal*, 2017, vol. 91, pp. 347–354. DOI: 10.1016/j.firesaf.2017.03.046.

For citation: Vytovtov A. V., Kalach A. V., Trofimets V. Ya. Methodology of automated monitoring of linear objects of oil and gas complex with a free aircraft. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 4, pp. 50–57 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.04.50-57.



Издательство «ПОЖНАУКА»

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

ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ во взрывопожароопасных зонах

Справочное пособие



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.

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

А. Б. АХМЕДОВ, инженер ООО “СпецПожТех” (Россия, 127051, г. Москва, М. Сухаревский пер., 9, стр. 1; e-mail: ahmedov.askar@yandex.ru)

В. Ю. ШИМКО, генеральный директор, ООО “СпецПожТех” (Россия, 127051, г. Москва, М. Сухаревский пер., 9, стр. 1; e-mail: shimko.v@sss44.ru)

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

УДК 614.841

ОСЛАБЛЕНИЕ ЛУЧИСТОГО ТЕПЛОВОГО ПОТОКА ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ПРЕГРАДОЙ “СОГДА”

Представлены результаты экспериментальных исследований стандартной противопожарной преграды “СОГДА” (модель 1) при “стандартном” режиме пожара. Предложена математическая модель расчета ослабления лучистого теплового потока противопожарной преградой. Выполнена оценка физических механизмов ослабления лучистого теплового потока. Получены экспериментальные зависимости от времени плотности лучистого теплового потока на расстоянии 0,5 м от геометрического центра необогреваемой поверхности конструкции преграды. Приведены результаты и анализ расчета коэффициента снижения плотности лучистого теплового потока. Показано, что в условиях “стандартного” пожара коэффициент ослабления лучистого теплового потока вышеуказанной преградой изменяется в зависимости от времени, прошедшего с начала горения, в диапазоне от 380 до 80.

Ключевые слова: пожар; безопасность; теплозащитный экран; водяное орошение; лучистый теплообмен.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.04.58-66

Введение

Высокая плотность теплового излучения, возникающая при горении природного газа и других углеводородных топлив, является одной из серьезных проблем при обеспечении пожарной безопасности объектов нефтегазового комплекса [1–3].

В работах [4–14] предложено для защиты от лучистых тепловых потоков использовать водяную завесу. Однако в статьях [15–18] представлена более эффективная инновационная технология ослабления тепловых потоков, реализуемая с помощью теплозащитного водопленочного экрана. Экспериментальные исследования, проведенные с использованием различных источников теплового излучения, показали, что экран ослабляет лучистый тепловой поток не менее чем в 50 раз [16]. Однако физические механизмы этого процесса изучены недостаточно.

В связи с этим актуальной задачей является проведение дальнейших экспериментальных исследований в целях разработки физико-математической модели расчета коэффициента ослабления, что позволит обосновывать технические характеристики экранов под заданные условия их работы.

Цель настоящей статьи — экспериментальная и теоретическая оценка коэффициента ослабления лучистого теплового потока теплозащитным водо-

плочным экраном [15–18] при “стандартном” режиме пожара [19]. Для ее достижения решались следующие задачи:

- разработка математической модели расчета коэффициента ослабления лучистого теплового потока противопожарной преградой;
- оценка физических механизмов ослабления лучистого теплового потока противопожарной преградой;
- получение экспериментальных зависимостей от времени плотности лучистого теплового потока на расстоянии 0,5 м от геометрического центра необогреваемой поверхности конструкции преграды в малогабаритной печи, используемой для испытания строительных конструкций на огнестойкость.

Краткое описание противопожарной преграды

Согласно требованиям технических условий (ТУ 4854-001-81399550–2016) противопожарная преграда “СОГДА” (модель 1) производства ООО “СпецПожТех” предназначена для решения следующих задач пожарной безопасности:

- защита от теплового излучения и опасных факторов пожара;

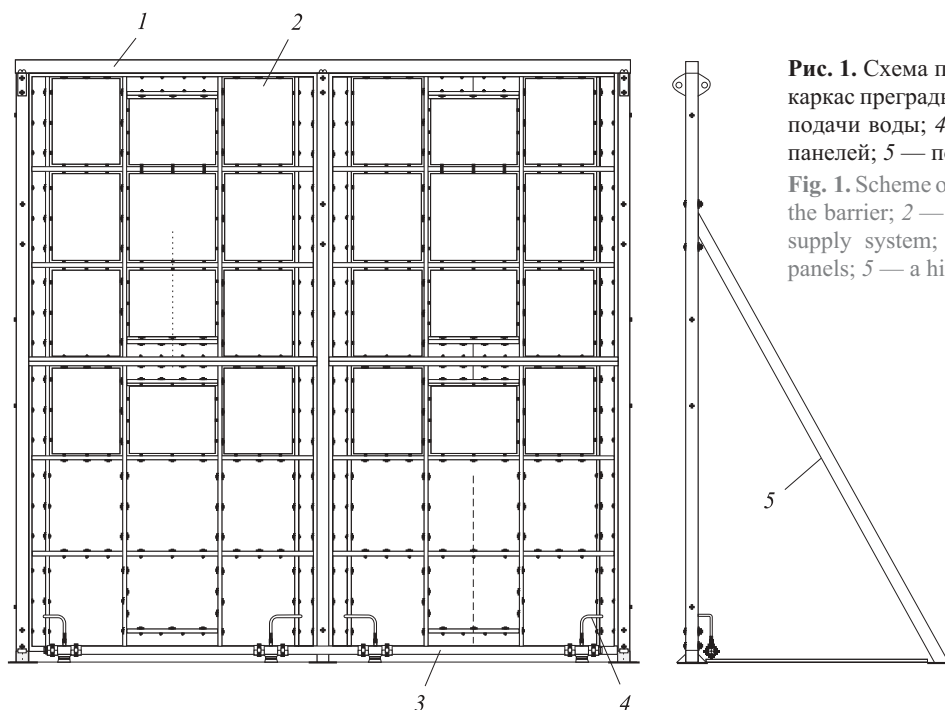


Рис. 1. Схема противопожарной преграды: 1 — каркас преграды; 2 — блок-панели; 3 — система подачи воды; 4 — система орошения сетчатых панелей; 5 — подкос крепления преграды

Fig. 1. Scheme of the fire barrier: 1 — framework of the barrier; 2 — the block of the panel; 3 — water supply system; 4 — irrigation system of mesh panels; 5 — a hitch of fastening of the barrier

- локализация и недопущение распространения огня на промышленных и гражданских объектах, в резервуарах с нефтепродуктами, емкостях со сжиженным природным газом (СПГ) и сжиженными углеводородными газами (СУГ);
- ограждение емкостей с тушащим веществом;
- деление внутреннего объема помещений на противопожарные отсеки.

Стандартная противопожарная преграда “СОГДА” (модель 1) представляет собой вертикальную сборную ограждающую конструкцию, состоящую из теплозащитных блок-панелей с габаритными размерами (длина × ширина × высота) $(1940 \pm 10) \times (80 \pm 5) \times (1856 \pm 10)$ мм. Размеры блок-панелей и конструкции в целом могут изменяться в зависимости от поставленных задач.

Схема противопожарной преграды “СОГДА” (модель 1) приведена на рис. 1. Каркас 1 выполнен из профильной трубы размером $80 \times 80 \times 4$ мм из коррозионностойкой стали. Блок-панели 2 состоят из верхних и нижних теплозащитных панелей, каждая из которых представляет собой две соединенные друг с другом рамы (внешнюю и внутреннюю), выполненные из профильной трубы размером $20 \times 20 \times 1,5$ мм из коррозионностойкой стали 12Х18Н10Т. На рамах закреплены экранирующие сетчатые панели из металлической коррозионностойкой сетки. Между сетками внешней и внутренней рам по всей толщине панели находится свободное пространство.

Система подачи воды 3 состоит из фильтров грубой очистки воды и трубопровода, соединяющего фильтры между собой.

Система орошения 4 теплозащитных блок-панелей состоит из щелевых ударно-струйных форсунок с лопаточным отражателем, последовательно соединенных между собой трубопроводной магистралью [20].

Экспериментальная установка и методика проведения экспериментов

Образец для сертификационных испытаний представляет собой стационарную противопожарную преграду размером $1,5 \times 1,5$ м. Конструкция образца преграды состоит из одной блок-панели, с необогреваемой стороны которой находятся напорные шланги для подвода воды к распыляющим форсункам, расположенным в верхней части конструкции. Рабочее давление в шлангах $0,4$ – $0,6$ МПа. На испытаниях было принято давление $0,4$ МПа. В испытываемой преграде использовались четыре форсунки. При рабочем давлении $0,4$ – $0,6$ МПа расход воды составлял $0,10$ – $0,13$ л/с на каждую форсунку.

В соответствии с требованиями п. 7.4 ГОСТ 30247.0–94 образец подвергался входному контролю, при котором была выявлена комплектность образца и его соответствие технической документации.

Испытания проводились в малогабаритной печи, предназначенной для испытания строительных конструкций на огнестойкость (рис. 2). Размер огневого пространства печи составляет $1,5 \times 1,5 \times 1,5$ м, высота печи — 2 м. Печь снабжена четырьмя горелками. В качестве горючего вещества применяется природный газ с расходом $2 \text{ м}^3/\text{ч}$.



Рис. 2. Общий вид экспериментальной установки — малогабаритной печи для испытания строительных конструкций на огнестойкость

Fig. 2. General view of the experimental installation — the small-sized furnace for testing building structures for fire resistance

В ходе испытаний осуществляются автоматический контроль и регулировка избыточного давления и содержания кислорода в огневом пространстве печи.

Испытания представленных образцов проводились в испытательной лаборатории ИКБС НИУ МГСУ при температуре окружающей среды 8–15 °С, атмосферном давлении 98,6–100,2 кПа и относительной влажности окружающего воздуха 43–51 %. Измерения всех вышеуказанных параметров осуществлялись перед началом испытаний на расстоянии 1,2 м от необогреваемой поверхности испытуемого образца.

Фрагмент испытаний образца противопожарной преграды “СОГДА” (модель 1) в малогабаритной печи показан на рис. 3.

Методика проведения экспериментов заключалась в следующем. Образец преграды жестко заделывался по периметру испытательной рамы путем приваривания к ней с использованием четырех металлических пластин и прикручиванию к последним



Рис. 3. Фрагмент испытания образца противопожарной преграды “СОГДА” (модель 1) в малогабаритной печи

Fig. 3. Fragment of the test of the fire barrier “СОГДА” (model 1) in the small-sized furnace

саморезами по металлу. Зазор между торцами и обрамлением держателя образца заделывался огнеупорным керамическим стекловолокном. Монтаж держателя с образцом в технологическом проеме вертикальной печи и установка термоэлектрических преобразователей проводились специалистами испытательной лаборатории. Горячие спаи печных термоэлектрических преобразователей устанавливались равномерно по площади вертикального огневого проема на удалении не менее 200 мм от стен, пола и потолка огневой камеры и на расстоянии (100 ± 10) мм от обогреваемой поверхности образца. На необогреваемой поверхности одну термопару располагали в центре, а остальные — на пересечении прямых, соединяющих центр и углы огневого проема печи.

Измерения плотности потока теплового излучения проводились на расстоянии 0,5 м от геометрического центра необогреваемой поверхности конструкции преграды.

Для испытаний применялось метрологически аттестованное испытательное оборудование. Температурный режим в печи соответствовал режиму “стандартного” пожара [19].

Математическая модель расчета ослабления лучистого теплового потока

Для расчета уменьшения плотности теплового потока за счет установки противопожарной преграды “СОГДА” (модель 1) необходимо выполнить расчет теплопередачи от огневого пространства малогабаритной печи через ее стенки и водяную завесу к наружному воздуху.

Уменьшение плотности лучистого теплового потока, проходящего через противопожарную преграду, оценим по величине коэффициента снижения плотности лучистого теплового потока:

$$k_r = q_r / q_p, \quad (1)$$

где k_r — коэффициент снижения плотности лучистого теплового потока;

q_r — плотность лучистого теплового потока, падающего на поверхность противопожарной преграды со стороны огневого пространства печи, Вт/м²;

q_p — плотность лучистого теплового потока на расстоянии 0,5 м от геометрического центра необогреваемой поверхности конструкции преграды, полученная в ходе экспериментов, Вт/м².

Основой для расчета нагрева строительной конструкции от теплового излучения является уравнение лучистого теплообмена Стефана–Больцмана [21]:

$$q_r = \varepsilon c_b \left[\left(\frac{T_i}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_o}{100} \right)^4 \right] \Psi_{io}, \quad (2)$$

где ε — приведенная степень черноты системы;

c_b — коэффициент излучения абсолютно черного тела; $c_b = 5,67 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$;

T_i — температура излучающей поверхности, К;

T_o — температура на облучаемой поверхности конструкции, К;

Ψ_{io} — коэффициент облученности между излучающей и облучаемой поверхностями, в который в неявной форме входит расстояние r (м) по нормали между излучающей и облучаемой поверхностями.

Коэффициент облученности для одной четвертой части площади поверхности факела вычисляется по формуле [21]:

$$\Psi_{io} = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{a}{\sqrt{a^2 + r^2}} \arctg \frac{b}{\sqrt{a^2 + r^2}} + \frac{b}{\sqrt{b^2 + r^2}} \arctg \frac{a}{\sqrt{b^2 + r^2}} \right), \quad (3)$$

где a, b — длины сторон прямоугольника пламени [21], м.

Оценка физических механизмов ослабления лучистого теплового потока противопожарной преградой

Оценим физические механизмы ослабления лучистого теплового потока противопожарной преградой. На рис. 4 приведена принципиальная схема ослабления лучистого теплового потока противопожарной преградой.

Плотность лучистого теплового потока, падающего на поверхность противопожарной преграды, можно записать в виде:

$$q_r = q_{r.m} + q_{r.h}, \quad (4)$$

где $q_{r.m}$ — плотность части лучистого теплового потока, падающей на металлическую поверхность преграды, охлаждаемую водой, $\text{Вт}/\text{м}^2$;

$q_{r.h}$ — часть лучистого теплового потока, попадающая на отверстия металлической решетки, $\text{Вт}/\text{м}^2$.

Из геометрических соображений

$$q_{r.m} = k_f q_r; \quad (5)$$

$$q_{r.h} = (1 - k_f) q_r, \quad (6)$$

где k_f — коэффициент, равный отношению площади поверхности преграды, занимаемой металлом F_m (м^2), к суммарной площади поверхности преграды F (м^2); $k_f = F_m / F$.

В данном эксперименте коэффициент $k_f = 0,6213$. Таким образом, можно считать, что примерно 62 % суммарного лучистого теплового потока, падающего на противопожарную преграду, полностью погло-

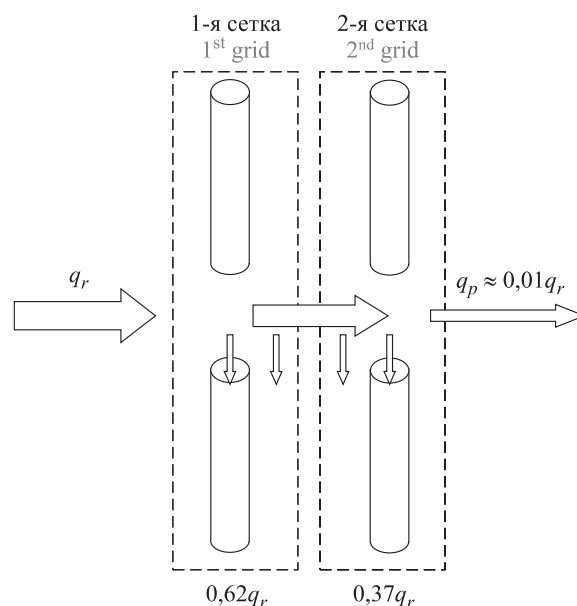


Рис. 4. Принципиальная схема ослабления лучистого теплового потока противопожарной преградой

Fig. 4. Schematic diagram of the reduction of radiant heat flux by the fire barrier

щается, отражается и рассеивается металлической частью ячейки и охлаждающей ее водой.

Этот вывод подтверждается результатами экспериментов, согласно которым температура на наружной поверхности металлической сетки, непосредственно контактирующей с газовой средой печи, не превышает 367°C . При такой температуре величиной лучистого теплового потока, излучаемого наружной поверхностью вышеуказанной металлической сетки внутрь противопожарной преграды, можно пренебречь.

Экспериментальное значение коэффициента снижения плотности лучистого теплового потока k_r (выражение (1)) при температуре внутри печи 1030°C при $q_r = 20 \text{ кВт}/\text{м}^2$ и $q_p = 0,2 \text{ кВт}/\text{м}^2$ равно 100.

Тогда коэффициент ослабления части лучистого теплового потока, проходящего через отверстия в металлической решетке, с учетом выражений (1) и (6) составит:

$$k_h = \frac{q_{r.h}}{q_p} = \frac{(1 - k_f) q_r k_r}{q_r} = (1 - k_f) k_r = 37,87.$$

Таким образом, можно предположить, что примерно 37 % падающего на поверхность преграды лучистого теплового потока отражается и рассеивается за счет дифракционных явлений внутри противопожарной преграды и поглощается металлическими сетками и охлаждающей их водой, так как через отверстия преграда пропускает примерно $1/20$ часть теплового потока, попадающего на них.

Этот вывод можно объяснить тем, что длина волны теплового излучения сопоставима с размерами

квадратного отверстия ячейки металлической сетки. Поэтому процессы отражения и рассеивания излучения превышают по своему эффекту процесс пропускания лучистой тепловой энергии [22, 23]. Подробный механизм дифракции на вышеуказанных отверстиях требует дополнительных исследований.

Таким образом, противопожарная преграда в вышеуказанных условиях проведения экспериментов при температуре внутри печи 1030 °С поглощает, отражает и рассеивает 99 % падающего на нее лучистого теплового потока.

Результаты и анализ расчета коэффициента снижения плотности лучистого теплового потока противопожарной преградой

Выполним оценочный расчет коэффициента снижения плотности лучистого теплового потока противопожарной преградой по выражению (1) с использованием формул (2) и (3).

При горении природного газа основное выделение паров воды и углекислого газа происходит при реакции: $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 = \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$. При этом объемные доли углекислого газа и паров воды составляют соответственно $r_{\text{CO}_2} = 0,167$; $r_{\text{H}_2\text{O}} = 0,333$.

Степень черноты продуктов горения природного газа с учетом долей углекислого газа и паров воды для расчета приведенной степени черноты ϵ в выражении (2) определяли с использованием соответствующих номограмм [21].

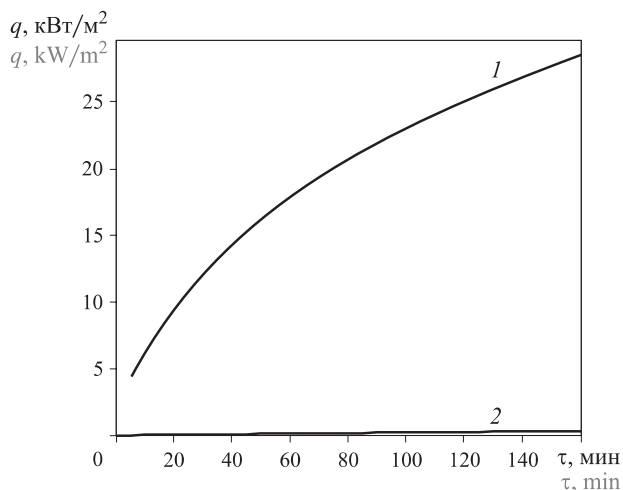


Рис. 5. Зависимости плотности теплового потока от времени при “стандартном” пожаре: 1 — расчетная зависимость по выражениям (2) и (3) при отсутствии противопожарной преграды; 2 — экспериментальная зависимость при наличии преграды на расстоянии 0,5 м от геометрического центра ее необогреваемой поверхности

Fig. 5. Dependences of the heat flux density on time for a “standard” fire: 1 — calculated dependence based on expressions (2) and (3) at the absence of the fire barrier; 2 — the experimental dependence in the presence of the fire barrier at the distance of 0.5 m from the geometric center of its unheated surface

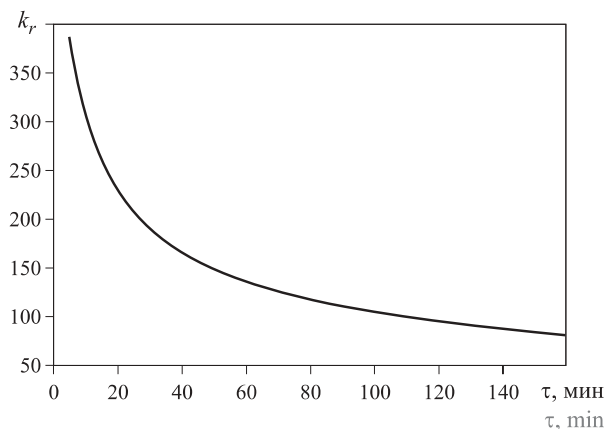


Рис. 6. Зависимость коэффициента снижения плотности лучистого теплового потока от времени

Fig. 6. Dependence of the reduction coefficient of the radiant heat flux density on time

Изменение коэффициента снижения плотности теплового потока в зависимости от времени и температуры газовой среды в печи

The change in the reduction coefficient of the heat flux density as a function of time and temperature

Промежуток времени τ от начала испытания, мин The time interval τ from the beginning of the test, min	Диапазон изменения среднеобъемной температуры T , °C The range of the change of medium volume temperature T , °C	Коэффициент снижения плотности лучистого теплового потока k_r The reduction coefficient of the heat flux density k_r
$0 < \tau < 20$	$20 < T < 814,6$	380–230
$20 \leq \tau < 40$	$814,6 \leq T < 884,7$	230–170
$40 \leq \tau < 60$	$884,7 \leq T < 945,3$	170–140
$60 \leq \tau < 80$	$945,3 \leq T < 988,4$	140–120
$80 \leq \tau < 100$	$988,4 \leq T < 1021,8$	120–105
$100 \leq \tau < 120$	$1021,8 \leq T < 1055,2$	105–95
$120 \leq \tau < 140$	$1055,2 \leq T < 1092,1$	95–90
$140 \leq \tau < 160$	$1055,2 \leq T < 1092,1$	90–80

Результаты расчетов плотности лучистого теплового потока с использованием формул (2) и (3) в случае, когда излучение от газовой среды печи наружу происходит через открытую стенку (противопожарной преграды нет), в условиях “стандартного” пожара приведены на рис. 5

На рис. 5 представлена также зависимость от времени плотности лучистого теплового потока на расстоянии 0,5 м от геометрического центра необогреваемой поверхности конструкции преграды, приведенная в протоколе сертификационных испытаний.

Зависимость коэффициента снижения плотности лучистого теплового потока, определяемого по формуле (1), от времени, прошедшего с начала “стан-

дартного” пожара, представлена на рис. 6. Из рис. 6 видно, что эта зависимость обратно пропорциональна и достаточно существенна.

Результаты расчета зависимости коэффициента снижения плотности лучистого теплового потока от времени и, соответственно, от среднеобъемной температуры газовой среды внутри печи приведены в таблице.

Из таблицы видно, что минимальное значение вышеуказанного коэффициента на 160-й минуте горения $k_r = 80$.

Заключение

Выполненный теплофизический расчет уменьшения плотности теплового потока, проходящего через противопожарную преграду “СОГДА” (мо-

дель 1), и результаты сертификационных испытаний показали, что в условиях “стандартного” пожара коэффициент ослабления лучистого теплового потока вышеуказанной преградой изменяется в зависимости от промежутка времени, прошедшего с начала горения, в диапазоне от 380 до 80.

Дальнейшие экспериментальные исследования будут направлены на более подробное изучение теплофизического механизма ослабления лучистого теплового потока в целях разработки математической модели расчета коэффициента ослабления, что позволит обосновывать технические характеристики экранов под заданные условия их работы без проведения дополнительных экспериментальных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лебедева М. И., Богданов А. В., Колесников Ю. Ю. Аналитический обзор статистики по опасным событиям на объектах нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности // Технологии техносферной безопасности. — 2013. — Вып. 4(50). — 9 с.
2. Давыдкин С. А., Намычкин А. Ю. Анализ аварий на объектах нефтегазовой промышленности // Технологии техносферной безопасности. — 2007. — Вып. 6(16). — 7 с. URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2007-6/06-06-07.ttb.pdf> (дата обращения: 15.03.2018).
3. Кармес А. П. Технические проблемы обеспечения тушения и предотвращения пожаров на нефтегазопроводах // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — 2014. — № 1. — С. 24–31.
4. Collin A., Lechene S., Boulet P., Parent G. Water mist and radiation interactions: application to a water curtain used as a radiative shield // Numerical Heat Transfer, Part A: Applications. — 2010. — Vol. 57, Issue 8. — P. 537–553. DOI: 10.1080/10407781003744722.
5. Benbrik A., Cherifi M., Meftah S., Khelifi M. S., Sahnoune K. Contribution to fire protection of the LNG storage tank using water curtain // International Journal of Thermal and Environmental Engineering. — 2010. — Vol. 2, No. 2. — P. 91–98. DOI: 10.5383/ijtee.02.02.005.
6. Boulet P., Collin A., Parent G. Heat transfer through a water spray curtain under the effect of a strong radiative source // Fire Safety Journal. — 2006. — Vol. 41, No. 1. — P. 15–30. DOI: 10.1016/j.firesaf.2005.07.007.
7. Choi C. L. Radiation blockade effects by water curtain // International Journal on Engineering Performance-Based Fire Codes. — 2004. — Vol. 6, No. 4. — P. 248–254.
8. Xishi Wang, Qiong Tan, Zhigang Wang, Xiangxiao Kong, Haiyong Cong. Preliminary study on fire protection of window glass by water mist curtain // International Journal of Thermal Sciences. — 2018. — Vol. 125. — P. 44–51. DOI: 10.1016/j.ijthermalsci.2017.11.013.
9. Buchlin J.-M. Thermal shielding by water spray curtain // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. — 2005. — Vol. 18, No. 4-6. — P. 423–432. DOI: 10.1016/j.jlp.2005.06.039.
10. Yang W., Parker T., Ladouceur H. D., Kee R. J. The interaction of thermal radiation and water mist in fire suppression // Fire Safety Journal. — 2004. — Vol. 39, Issue 1. — P. 41–66. DOI: 10.1016/j.firesaf.2003.07.00.
11. Tseng C. C., Viskanta R. Absorptance and transmittance of water spray/mist curtains // Fire Safety Journal. — 2007. — Vol. 42, Issue 2. — P. 106–114. DOI: 10.1016/j.firesaf.2006.08.005.
12. Cheng Hao, Hadjisophocleous G. V. Experimental study and modeling of radiation from compartment fires to adjacent buildings // Fire Safety Journal. — 2012. — Vol. 53. — P. 43–62. DOI: 10.1016/j.firesaf.2012.06.005.
13. Pei Zhu, Xishi Wang, Zhigang Wang, Haiyong Cong, Hiaomin Ni. Experimental and numerical study on attenuation of thermal radiation from large-scale pool fires by water mist curtain // Journal of Fire Science. — 2015. — Vol. 33, No. 4. — P. 269–289. DOI: 10.1177/0734904115585796.

14. Cheung W. Y. Radiation blockage of water curtain // International Journal on Engineering Performance-Based Fire Codes. — 2009. — No. 1. — P. 7–13.
15. Шимко В. Ю. Использование водопленочных теплозащитных экранов для защиты от теплового излучения при горении проливов сжиженного природного газа // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2013. — Т. 22, № 12. — С. 63–67.
16. Брушлинский Н. Н., Усманов М. Х., Шимко В. Ю., Карпов В. Л., Курбанов А. Х. Метод защиты от распространения пожаров опасных газов и радионуклидов // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2014. — Т. 23, № 5. — С. 72–75.
17. Брушлинский Н. Н., Усманов М. Х., Шимко В. Ю. Экраны “СОГДА” — гарантия эффективности тепловой защиты и тушения пожаров // Технология машиностроения. — 2010. — № 4. — С. 65–66.
18. Шимко В. Ю. Использование конструкций на основе водопленочных экранов для повышения пожаровзрывобезопасности объектов хранения и распределения сжиженного природного газа // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2014. — Т. 23, № 1. — С. 58–61.
19. Ройтман М. Я. Противопожарное нормирование в строительстве. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Стройиздат, 1985. — 590 с.
20. Корольченко А. Д. Исследование предельных состояний водопленочной противопожарной преграды // Строительство — формирование среды жизнедеятельности : сборник трудов XX Международной межвузовской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых. — М. : МГСУ, 2017. — С. 463–466.
21. Кутателадзе С. С. Основы теории теплообмена. — М. : Атомиздат, 1979. — 416 с.
22. Шимко В. Ю. Новый тип противопожарных преград для объектов нефтегазового комплекса // XXIX Международная научно-практическая конференция, посвященная 80-летию ФГБУ ВНИИПО МЧС России : в 2 ч. — М. : ВНИИПО, 2017. — С. 175–177.
23. Брушлинский Н. Н., Усманов М. Х., Шимко В. Ю. Экраны “СОГДА”. Инновационные технологии теплозащиты и тушения пожаров // Сборник научных трудов и инженерных разработок. Ориентированные фундаментальные исследования — от современной науки к технике будущего / Под ред. Б. В. Гусева. — М. : Эксподизайн-Холдинг, 2009 — С. 457–461.

Материал поступил в редакцию 20 марта 2018 г.

Для цитирования: Ахмедов А. Б., Шимко В. Ю., Пузач С. В. Ослабление лучистого теплового потока противопожарной преградой “СОГДА” // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 4. — С. 58–66. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.04.58-66.

English

REDUCTION OF RADIANT HEAT FLUX BY “SOGDA” FIRE BARRIER

AKHMEDOV A. B., Engineer, LLC “SpecPozhTech” (M. Sukharevskiy Per., 9, bld. 1, Moscow, 127051, Russian Federation; e-mail: ahmedov.askar@yandex.ru)

SHIMKO V. Yu., General Director, LLC “SpecPozhTech” (M. Sukharevskiy Per., 9, bld. 1, Moscow, 127051, Russian Federation; e-mail: shimko.v@sss44.ru)

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

ABSTRACT

Introduction. The innovative technology of heat flux reduction implemented using the heat-shielding water-film barrier “SOGDA” (model 1), according to the results of previous experimental studies, allows to reduce the radiant heat flux by more than 50 times. However, the thermal and physical mechanisms of this process are not sufficiently studied, which does not allow to justify the technical characteristics of heat shields under given conditions for their operation.

Purposes and objectives. The purpose of the article is to evaluate experimentally and theoretically the coefficient of the reduction of radiant heat flux by a heat-shielded water-film fire

barrier under the “standard” fire mode. To achieve this, a mathematical model was developed for calculating the coefficient of reduction of radiant heat flux by the fire barrier, an assessment was made of the physical mechanisms of the reduction of radiant heat flux by a fire barrier, and an experimental time dependence of the density of radiant heat flux passing from a small oven through the barrier installed in one of its walls to the outside was obtained.

Methods. There are used a theoretical method for calculating radiant heat transfer based on the Stefan–Boltzmann equation and an experimental method for studying the reduction of radiant heat transfer in a small-sized furnace for testing building structures for fire resistance in the “standard” fire mode.

Results. The physical mechanisms of the reduction of radiant heat flux by the fire barrier are substantiated. It is shown that the fire barrier with a size of 1.5×1.5 m at a temperature inside the furnace 1030 °C absorbs, reflects and disperses 99 % of the radiant heat flux incident on it.

Experimental time dependence of the density of the radiant heat flux at a distance of 0.5 m from the geometric center of the unheated surface of the barrier is obtained.

It is found that in the case of the “standard” fire, the coefficient of reduction of radiant heat flux by the fire barrier “SOGDA” (model 1) varies depending on the time from the onset of natural gas combustion in the range from 380 to 80.

The conclusion. Further experimental studies will be aimed at a more detailed study of the thermal and physical mechanisms for the reduction of a radiant heat flux through the barrier, which will allow us to justify the technical characteristics of heat shields under given conditions for their operation without additional experimental studies.

Keywords: fire; security; heat safety shield; water irrigation; radiant heat transfer.

REFERENCES

1. Lebedeva M. I., Bogdanov A. V., Kolesnikov J. J. Analytical review statistics for dangerous event at the facilities of refining and petrochemical industry. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti / Technology of Technosphere Safety*, 2013, issue 4(50). 9 p. (in Russian).
2. Davydkin S. A., Nemychkin A. Yu. The analysis of accidents on the oil and gas industry. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti / Technology of Technosphere Safety*, 2007, issue 6(16), 7 p. (in Russian). Available at: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2007-6/06-06-07.ttb.pdf> (Accessed 15 March 2018).
3. Karmes A. P. Technical problems of ensuring fire-fighting and preventing fires on oil and gas pipelines. *Pozhary i chrezvychaynyye situatsii: predotvrashcheniye, likvidatsiya / Fire and Emergencies: Prevention, Elimination*, 2014, no. 1, pp. 24–31 (in Russian).
4. Collin A., Lechene S., Boulet P., Parent G. Water mist and radiation interactions: application to a water curtain used as a radiative shield. *Numerical Heat Transfer, Part A: Applications*, 2010, vol. 57, issue 8, pp. 537–553. DOI: 10.1080/10407781003744722.
5. Benbrik A., Cherifi M., Meftah S., Khelifi M. S., Sahnoune K. Contribution to fire protection of the LNG storage tank using water curtain. *International Journal of Thermal and Environmental Engineering*, 2010, vol. 2, no. 2, pp. 91–98. DOI: 10.5383/ijtee.02.02.005.
6. Boulet P., Collin A., Parent G. Heat transfer through a water spray curtain under the effect of a strong radiative source. *Fire Safety Journal*, 2006, vol. 41, no. 1, pp. 15–30. DOI: 10.1016/j.firesaf.2005.07.007.
7. Choi C. L. Radiation blockade effects by water curtain. *International Journal on Engineering Performance-Based Fire Codes*, 2004, vol. 6, no. 4, pp. 248–254.
8. Xishi Wang, Qiong Tan, Zhigang Wang, Xiangxiao Kong, Haiyong Cong. Preliminary study on fire protection of window glass by water mist curtain. *International Journal of Thermal Sciences*, 2018, vol. 125, pp. 44–51. DOI: 10.1016/j.ijthermalsci.2017.11.013.
9. Buchlin J.-M. Thermal shielding by water spray curtain. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 2005, vol. 18, no. 4-6, pp. 423–432. DOI: 10.1016/j.jlp.2005.06.039.
10. Yang W., Parker T., Ladouceur H. D., Kee R. J. The interaction of thermal radiation and water mist in fire suppression. *Fire Safety Journal*, 2004, vol. 39, issue 1, pp. 41–66. DOI: 10.1016/j.firesaf.2003.07.00.
11. Tseng C. C., Viskanta R. Absorptance and transmittance of water spray/mist curtains. *Fire Safety Journal*, 2007, vol. 42, issue 2, pp. 106–114. DOI: 10.1016/j.firesaf.2006.08.005.
12. Cheng Hao, Hadjisophocleous G. V. Experimental study and modeling of radiation from compartment fires to adjacent buildings. *Fire Safety Journal*, 2012, vol. 53, pp. 43–62. DOI: 10.1016/j.firesaf.2012.06.005.

13. Pei Zhu, Xishi Wang, Zhigang Wang, Haiyong Cong, Hiaomin Ni. Experimental and numerical study on attenuation of thermal radiation from large-scale pool fires by water mist curtain. *Journal of Fire Science*, 2015, vol. 33, no. 4, pp. 269–289. DOI: 10.1177/0734904115585796.
14. Cheung W. Y. Radiation blockage of water curtain. *International Journal of on Engineering Performance-Based Fire Codes*, 2009, no. 1, pp. 7–13.
15. Shimko V. Yu. Application of water-film heat-reflecting shields for protection against thermal radiation arising from burning spills of liquefied natural gas. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 12, pp. 63–67 (in Russian).
16. Brushlinskiy N. N., Usmanov M. Kh., Shimko V. Yu., Karpov V. L., Kurbanov A. Kh. Method to prevent the fire spread of hazardous gases and radionuclides. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 5, pp. 72–75 (in Russian).
17. Brushlinskiy N. N., Usmanov M. Kh., Shimko V. Yu. The Sogda shields as an effectiveness guarantee of thermal protection and fire extinguishing. *Tekhnologiya mashinostroyeniya / Technology of Mechanical Engineering*, 2010, no. 4, pp. 65–66 (in Russian).
18. Shimko V. Yu. Application of constructions based on water-film shields for increasing of the fire-and-explosion safety of objects of storage and distribution of the liquefied natural gas. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 1, pp. 58–61 (in Russian).
19. Roytman M. Ya. *Protivopozharnoye normirovaniye v stroitelstve* [Fire-prevention rationing in construction]. 2nd ed. Moscow, Stroyizdat Publ., 1985. 590 p. (in Russian).
20. Korolchenko A. D. Study of the limiting states of a water-film fire barrier. In: *Stroitelstvo — formirovaniye sredi zhiznedeyatelnosti. Sbornik dokladov XVI Mezhdunarodnoy mezhvuzovskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, magistrantov, aspirantov i molodykh uchenykh* [Construction — the Formation of the Environment of Life. Collection of Reports of XVI International Interuniversity Scientific-Practical Conference of Students, Undergraduates, Graduate Students and Young Scientists]. Moscow, MGSU Publ., 2017, pp. 463–466 (in Russian).
21. Kutateladze S. S. *Osnovy teorii teploobmena* [Bases of the theory of heat exchange]. Moscow, Atomizdat Publ., 1979. 416 p. (in Russian).
22. Shimko V. Yu. New type of fire barriers for oil and gas facilities. In: *XXIX Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, posvyashchennaya 80-letiyu FGBU VNIPO MChS Rossii* [XXIX International Scientific and Practical Conference, dedicated to the 80th anniversary of the FGBU VNIPO of Emercom of Russia]. Moscow, VNIPO Publ., 2017, pp. 175–177 (in Russian).
23. Brushlinskiy N. N., Usmanov M. Kh., Shimko V. Yu. “SOGDA” heat shields. Innovative technologies of heat protection and fire fighting. In: Gusev B. V. (ed.). *Sbornik nauchnykh trudov i inzhenernykh razrabotok. Orientirovannyye fundamentalnyye issledovaniya — ot sovremennoy nauki k tekhnike budushchego* [Collection of scientific works and engineering developments. Oriented fundamental research — from modern science to the technology of the future]. Moscow, Ekspodizayn-Kholding Publ., 2009, pp. 457–461 (in Russian).

For citation: Akhmedov A. B., Shimko V. Yu., Puzach S. V. Reduction of radiant heat flux by “SOGDA” fire barrier. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 4, pp. 58–66 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.04.58-66.

КОГДА ЖЕ РОСАККРЕДИТАЦИЯ УСЛЫШИТ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ?

© В. И. ПОЛЕГОНЬКО,

канд. техн. наук, главный научный сотрудник учебно-научного центра проблем пожарной безопасности в строительстве, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: vips_56@mail.ru)

© В. А. КОЧЕТЫГОВ,

старший научный сотрудник учебно-научного центра проблем пожарной безопасности в строительстве, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: Kochetygov65@mail.ru)

В соответствии с существующим законодательством за безопасность и качество любой продукции, выпускаемой на рынок, отвечает производитель. На органе по сертификации лежит ответственность за то, что он в действительности, в соответствии с имеющимися процедурами, провел оценку соответствия продукции установленным требованиям, прежде чем выдать сертификат соответствия. За любыми недобросовестными схемами по выдаче сертификатов соответствия стоят конкретные люди — эксперты. Начиная с 2014 г. и до настоящего времени в органах по сертификации в области пожарной безопасности работают специалисты, которые не прошли соответствующую законную аттестацию и тем не менее имеют право выдавать сертификаты на продукцию, зачастую низкокачественную и небезопасную, а порой не соответствующую требованиям Технического регламента о требованиях пожарной безопасности (Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ) (далее — ФЗ № 123) [1].

В подп. 2 п. 4 ст. 148 ФЗ № 123 [1] изложены дополнительные требования к органам по сертификации в области пожарной безопасности, которые по-прежнему, начиная с 2014 г., игнорируются Росаккредитацией при проведении работ по аккредитации их в национальной системе аккредитации.

В настоящее время требования настоящей статьи, в соответствии с которыми в аккредитованном в национальной системе аккредитации органе по сертификации должны быть штатные специалисты (эксперты), аттестованные в порядке, установленном федеральным органом исполнительной власти, уполномоченным на решение задач в области пожарной безопасности, ни одним из экспертов по аккредитации, которым были поручены соответствующие государственные услуги, не реализованы.

В результате такой деятельности Росаккредитацией аккредитовано в национальной системе аккредитации более 100 органов по сертификации в области пожарной безопасности, которые не имеют в штате по основному месту работы не менее трех ра-

ботников, участвующих в выполнении работ по подтверждению соответствия и аттестованных в порядке, установленном федеральным органом исполнительной власти, уполномоченным на решение задач в области пожарной безопасности.

Специалистами в области пожарной безопасности выражается серьезная озабоченность сложившейся ситуацией. Дело в том, что до сих пор в приказ Минэкономразвития от 23 мая 2014 г. № 291 “Об утверждении перечня областей аттестации экспертов по аккредитации” [2], в пункты 1.1 (Аккредитация органов по сертификации в сферах) и 5.1 (Аккредитация испытательных лабораторий (центров) в сфере), не внесены новые подпункты и термин “пожарная безопасность”.

По мнению специалистов в области пожарной безопасности, непринятие поправок в указанный приказ наносит ущерб национальным интересам, снижает уровень безопасности государства.

Данные требования специалистов в области пожарной безопасности обосновываются наличием в Российской Федерации, начиная с 1998 г.:

- процедур аккредитации органов по сертификации и испытательных лабораторий в обязательной системе сертификации в области пожарной безопасности и добровольной системе сертификации услуг (работ), систем менеджмента качества в области пожарной безопасности;
- требований к экспертам по аккредитации органов по сертификации и испытательных лабораторий, экспертам по подтверждению соответствия продукции и услуг, испытателям испытательных лабораторий (центров) в области пожарной безопасности в части наличия профессионального образования по профилю и определенного стажа работы;
- аккредитованных органов по сертификации и испытательных лабораторий в указанных системах как по продукции, так и по услугам в области пожарной безопасности.

Кроме того, в ст. 148 ФЗ № 123 [1] также изложены дополнительные требования, учитываемые при аккредитации органов по сертификации и испытательных лабораторий.

В 2003 г. создана и зарегистрирована в Государственном реестре Система добровольной сертификации услуг (работ), систем менеджмента качества в области пожарной безопасности, в которой предусматривалась и проводилась процедура аккредитации органов по сертификации и испытательных лабораторий услуг (работ) в области пожарной безопасности.

Одновременно хотелось бы заметить, что в соответствии с приказом Минэкономразвития от 23 мая 2014 г. № 285 [3] в перечень областей специализации технических экспертов, в разд. 1 “Технические эксперты в области оценки (подтверждения) соответствия продукции” включен подразд. 1.28 (Пожарно-техническая продукция); в разд. 2 “Технические эксперты в области исследований (испытаний), измерений и анализа” — подразд. 2.8 (Испытания в области пожарной безопасности) и 2.9 (Испытания материалов пожарно-технического назначения). В то же время непонятно, по какой причине в соответствии с приказом [2] в перечне областей аттестации экспертов по аккредитации не предусмотрены:

- в разд. 1 “Аккредитация органов по сертификации продукции” — сфера “пожарная безопасность”;
- в разд. 5 “Аккредитация испытательных лабораторий “центров” — сфера “пожарная безопасность, установки пожаротушения, системы противопожарного водоснабжения, огнезащита строительных конструкций, материалы пожарно-технического назначения”.

В соответствии с подп. 1 п. 4 ст. 148 ФЗ № 123 [1] организация, претендующая на аккредитацию в качестве органа по сертификации на соответствие требованиям пожарной безопасности, может быть аккредитована, если в составе этой организации имеется аккредитованная лаборатория с аналогичной областью аккредитации. Эти требования были все же учтены Росаккредитацией и нашли свое отражение в п. 13 приказа Минэкономразвития России от 30 мая 2014 г. № 326 [4].

Испытания в области пожарной безопасности имеют отраслевую специфику, установленную ФЗ № 123 [1] и другими нормативными документами. Испытательная лаборатория несет ответственность за то, чтобы полученные от органа по сертификации

образцы продукции были испытаны по тем показателям, которые указаны органом по сертификации. Здесь очень важно, чтобы специалист (эксперт) органа по сертификации был хорошо образован, имел высокую техническую и профессиональную квалификацию и соответствующий опыт в сфере технической сущности процессов подтверждения соответствия продукции в области пожарной безопасности.

Что касается аттестации экспертов по аккредитации, то Росаккредитацией не предусмотрена проверка знаний в области пожарной безопасности, а специалистов в данной области нет ни в одной сфере из указанных в приложении к приказу Минэкономразвития [2]. В результате возникают большие трудности с выбором экспертов по аккредитации для выполнения государственных услуг заявителей, представивших в Росаккредитацию заявление на аккредитацию органа по сертификации или испытательной лаборатории в области пожарной безопасности.

Из концепции политики Федеральной службы по аккредитации в области подготовки и переподготовки экспертов по аккредитации следует, что эксперты по аккредитации — это основное звено в данной системе. Эти специалисты должны быть хорошо образованы, иметь высокую техническую и профессиональную квалификацию и соответствующий опыт в сфере не только процедуры аккредитации, но и технической сущности процессов функционирования аккредитуемых лиц.

Из доклада заместителя руководителя Федеральной службы по аккредитации А. Г. Литвака следует, что ключевую роль в функционировании национальной системы аккредитации играют эксперты по аккредитации, на результатах экспертизы которых служба основывает свои решения. При формировании национальной системы аккредитации в 2012 г. эксперты по аккредитации перешли в нее из целого ряда ведомственных систем, но только не из МЧС России. В связи с этим особое внимание должно быть уделено подготовке экспертов, приведению их уровня компетенции и практик оценок к единому знаменателю. Кроме того, необходимо создать полноценную систему мониторинга и оценки деятельности экспертов.

В связи с этим очень хотелось бы надеяться, что в этом году вышеуказанные изменения наконец будут внесены в приложение к приказу Минэкономразвития [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон РФ от 22.07.2008 № 123-ФЗ (в ред. от 29.07.2017). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения: 01.04.2018).

2. Об утверждении перечня областей аттестации экспертов по аккредитации (в ред. от 24.06.2015) : приказ Минэкономразвития РФ от 23.05.2014 № 291. URL: <http://docs.cntd.ru/document/499099342> (дата обращения: 01.04.2018).
3. Об утверждении перечня областей специализации технических экспертов (в ред. от 29.11.2016) : приказ Минэкономразвития РФ от 23.05.2014 № 285. URL: <http://docs.cntd.ru/document/420201042> (дата обращения: 01.04.2018).
4. Об утверждении Критериев аккредитации, перечня документов, подтверждающих соответствие заявителя, аккредитованного лица критериям аккредитации, и перечня документов в области стандартизации, соблюдение требований которых заявителями, аккредитованными лицами обеспечивает их соответствие критериям аккредитации (в ред. от 17.03.2017) : приказ Минэкономразвития РФ от 30.05.2014 № 326. URL: <http://docs.cntd.ru/document/420203443> (дата обращения: 01.04.2018).

Материал поступил в редакцию 4 апреля 2018 г.

Для цитирования: Полегонько В. И., Кочетыгов В. А. Когда же Росаккредитация услышит специалистов в области пожарной безопасности? // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 4. — С. 67–69.

For citation: Polegonko V. I., Kochetygov V. A. When will RusAccreditation finally understand experts in fire safety? *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 4, pp. 67–69 (in Russian).



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу



Д. Г. Пронин, Д. А. Корольченко

ДЕЛЕНИЕ ЗДАНИЙ НА ПОЖАРНЫЕ ОТСЕКИ : учебное пособие.

— М. : Издательство "ПОЖНАУКА".

В учебном пособии изложены базовые основы, действующие требования и современные представления о целях, задачах и способах ограничения распространения пожара по зданиям и сооружениям путем их разделения на пожарные отсеки.

Пособие предназначено для студентов Московского государственного строительного университета. Оно может быть использовано также другими образовательными учреждениями и практическими работниками, занимающимися вопросами обеспечения пожарной безопасности.

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

© **А. С. ХАРЛАМЕНКОВ**, старший преподаватель кафедры специальной электротехники, автоматизированных систем и связи, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: h_a_s@live.ru)

УДК 614.841.415

ТРЕБОВАНИЯ БОЕВОГО УСТАВА ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ПОЖАРНОЙ ОХРАНЫ К УЧАСТНИКАМ ТУШЕНИЯ ПОЖАРА ПРИ НАЛИЧИИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ

Рассмотрены нормативные документы по организации и проведению тушения пожаров при действующих электрических сетях и установках. Дан анализ новых требований боевого устава подразделений пожарной охраны. Отмечена актуальность вопроса заземления пожарной техники и пожарного инвентаря. Представлен порядок действий участников тушения пожара при наличии электроустановок под напряжением.

Ключевые слова: тушение пожара; электрооборудование; электрические сети; заземление; охрана труда.



ВОПРОС:

В преддверии празднования 100-летнего юбилея Советской пожарной охраны вступил в силу обновленный Боевой устав подразделений пожарной охраны (БУПО), который имеет 80-летнюю историю, начиная с проекта БУПО 1937 г. Данный БУПО заменил утративший силу 4 марта 2018 г. приказ МЧС России № 156, который определял порядок тушения пожаров подразделениями пожарной охраны.

В обновленном БУПО изменения коснулись отчасти и порядка тушения пожара, и проведения аварийно-спасательных работ на сетях электроснабжения.

Какие требования предъявляются к участникам тушения пожара на электроустановках в свете последней редакции БУПО?

ОТВЕТ:

Основные требования пожарной безопасности при тушении электроустановок под напряжением были заложены еще в 1940 г., когда проект БУПО 1937 г. был заменен на официальный приказом НКВД СССР № 86. В данном документе отмечалось, что при наличии электропроводов и электроустановок под током высокого напряжения (свыше 250 В) бойцу следует избегать соприкосновения с ними и не допускать контакта компактной струи с этими установками. Кроме того, в случае необходимости выключения электрического тока низкого напряжения (до 250 В) и невозможности использования для этого выключающих приспособлений (рубильник, предохранители и т. д.) разрешалось выполнять перерезание электропроводов с обязательной защитой бойца, производящего эту работу, резиновыми (диэлектрическими) перчатками, галошами и резиновым ковриком. Электрические сети и электроустановки требовалось отключать в том случае, если они горят сами, повреждены или создают опасность увеличения площади пожара, пред-

ставляют угрозу для работающих на пожаре либо препятствуют нормальной работе по его тушению. Выключение тока высокого напряжения (свыше 250 В) разрешалось производить только персоналу, обслуживающему установки или сети. На этом список действий по тушению электроустановок в БУПО 1940 г. заканчивался.

В современной редакции БУПО (приказ МЧС России от 16.10.2017 г. № 444) [1] требования к тушению пожаров при наличии в непосредственной близости электроустановок значительно расширились. В п. 127 [1] отмечено, что все установки (низко- и высоковольтные), находящиеся под напряжением, должны отключаться работниками эксплуатирующей организации, имеющими соответствующую квалификацию и допуск к работе, при этом личному составу подразделений Федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы (ФПС ГПС) запрещается самостоятельно производить какие-либо отключения и прочие операции с электрооборудованием.

Отключение огнеборцами электропроводов путем резки допускается при фазном напряжении сети не выше 220 В (т. е. при линейном напряжении между фазными проводами не выше 380 В), когда иными способами обесточить сеть нельзя. Резку могут осуществлять участники боевых действий, прошедшие проверку знаний требований Правил по охране труда в электроустановках [2], Правил по охране труда в подразделениях ФПС ГПС [3] и других требований безопасности, предъявляемых к организации и выполнению работ на электроустановках. Указанные сотрудники должны иметь группу по электробезопасности не ниже II, а также запись в удостоверении о том, что они прошли проверку знаний правил работы с электроустановками и имеют право на проведение специальных работ [1, 2]. Кроме того, они должны проходить обучение по оказанию первой помощи пострада-

давшему на месте тушения пожара и по владению приемами освобождения пострадавшего от действия электрического тока (см. п. 2.3, гл. II [2]). При резке линий электропередач, расположенных на опорах (столбах), участникам тушения пожара следует предварительно укрепить их для исключения падения, а также установить и огородить опасную зону возможного падения опоры, в которой запрещено нахождение людей. Резка провода с подъемом человека на опору запрещена [1, 3].

В п. 108 [1] указано, что подача электропроводящих огнетушащих веществ (ОТВ) в места расположения электросетей и установок напряжением выше 380 В (для объектов энергетики 400 В) осуществляется после их отключения представителем служб эксплуатации и получения письменного разрешения (допуска) на тушение пожара от уполномоченного должностного лица. Такое разрешение руководителю тушения пожара (РТП) дается и в том случае, когда планируется подавать ОТВ для тушения электроустановок под напряжением (см. п. 109 [1] и п. 343 [3]), но только после инструктажа личного состава пожарных подразделений представителем предприятия (энергообъекта) и создания условий визуального контроля за электроустановками (см. п. 28.7 [4] и п. 110 [1]). Для ответственного за электроснабжение объекта рекомендуется оформлять разрешение (допуск) заранее с учетом требований оперативных карточек пожаротушения и хранить его на щите управления (см. п. 26.3 [4]). Образец формы допуска на тушение пожара электрооборудования, находящегося под напряжением до 400 В, представлен в прил. 12 [4], а форма на тушение пожара для отключенного оборудования — в прил. 13 [4]. На объекты с энергетическим оборудованием напряжением до 400 В, которое не может быть обесточено при пожаре, разрабатываются планы (карточки) тушения пожара (см. п. 342 [3]). В карточках должны быть отмечены возможные позиции ствольщиков с учетом безопасных расстояний до конкретных электроустановок. Данные позиции и расстояния определяются при проведении совместных учений с отработкой действий по ликвидации пожаров на электроустановках. Учения должны проводиться не реже одного раза в год с инструктажем по технике безопасности [3].

Тушение пожара на оборудовании, находящемся под напряжением до 400 В, допускается выполнять только распыленными струями воды, подаваемыми из заземленных ручных пожарных стволов с расстояния не менее 5 м. Тушение его компактными струями воды не допускается (см. п. 344 [3]). При тушении электроустановок распыленными струями воды личный состав подразделений ФПС должен работать со средствами пожаротушения в диэлектрических перчатках и ботах (сапогах), находиться от электроустановок на расстоянии, указанном в табл. 1, 6, 8 [2], а также

обеспечить заземление пожарных стволов и насоса пожарного автомобиля.

В случае тушения электрооборудования пеной требуется заземление пеногенераторов и насосов пожарных автомобилей, а при подаче воды от внутреннего водопровода — только стволов. При этом водитель пожарного автомобиля должен работать в диэлектрических ботах и перчатках.

В любом случае решение о подаче ОТВ принимается РТП после проведения инструктажа по правилам охраны труда и выполнения необходимых мер безопасности, к которым относится заземление пожарных стволов и насоса пожарной автоцистерны.

Последнее требование единовременного заземления пожарных стволов и насоса не всегда можно реализовать на практике, так как согласно нормам табельной положенности пожарно-технического вооружения и аварийно-спасательного оборудования для специальных пожарных автомобилей [5] предусмотрено только одно заземляющее устройство для каждого вида (за исключением автомобиля аварийно-спасательного, для которого требуется три заземляющих устройства, а также автомобиля оперативной службы, пожарно-технического автомобиля и водозащитного автомобиля, для которых заземляющее устройство не положено). Для основных пожарных автомобилей нормами [5] вообще не предусмотрено наличие устройств заземления. Поэтому на практике личный состав ФПС изыскивает любую возможность доукомплектовать основные пожарные автомобили хотя бы устройствами для заземления насосов. **Этот факт нарушает правила охраны труда в подразделениях ФПС [3] и требует внесения в нормы табельной положенности [5] необходимых коррективов.**

При боевом развертывании личный состав ФПС сначала должен определить места возможного заземления стволов, выполнить их заземление, а после прокладки рукавной линии от пожарного автомобиля до позиции ствольщика заземлить насос через стационарный контур заземления или иные заземляющие конструкции. После ликвидации горения и прекращения подачи ОТВ личный состав должен отсоединить пожарный ствол и насос от заземлителя и отойти с позиций тушения по безопасным маршрутам, указанным РТП (см. п. 348 [3]).

Последним важным нововведением в БУПО [1] является п. 111. В нем указано, что личный состав привлекается для тушения пожаров электрооборудования электростанций и подстанций, находящегося под напряжением до 10 кВ, размещенного на объектах использования атомной энергии и в специальных фортификационных сооружениях, только с письменного согласия на добровольное участие в тушении таких электроустановок. Образец документа приведен в прил. 2 БУПО [1].

Объекты атомной энергетики и фортификационные сооружения, о которых идет речь в п. 111 [1], согласно ст. 48.1 Градостроительного кодекса Российской Федерации [6] относятся к особо опасным и технически сложным (здания и сооружения повышенного уровня ответственности по п. 2.1.16 ГОСТ Р 22.0.02–2016 [7] и п. 8 ст. 4 Федерального закона № 384-ФЗ [8]). На таких объектах приходится тушить установки, находящиеся под напряжением до 10 кВ, без их отключения, так как последнее может привести к нарушению работы объекта и выбросу радиоактивных веществ и, как следствие, повлечь за собой массовую гибель людей. Для участников тушения пожара на таких объектах основную опасность представляет высокое напряжение, и если огнеборец нарушит правила охраны труда, то это будет грубым нарушением его обязанностей. При получении бойцом электротравмы к ответственности будет привлечен и РТП, так как согласно БУПО [1] именно он должен контролировать соблюдение личным составом правил охраны труда при выполнении поставленных задач. В случае подписания добровольного согласия участником тушения пожара данная ответственность с РТП будет снята. Такое письменное согласие боец подписывает непосредственно на месте тушения пожара, поскольку без его подписания он не сможет выполнять свои прямые обязанности по тушению пожара.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боевой устав подразделений пожарной охраны, определяющий порядок организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ : приказ МЧС России от 16.10.2017 № 444 // Официальный интернет-портал правовой информации: www.pravo.gov.ru, № 0001201802210017.
2. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок (ред. от 19.02.2016) : приказ Минтруда России от 24.07.2013 № 328н // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. — 2014. — № 5.
3. Правила по охране труда в подразделениях федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы : приказ Минтруда России от 23.12.2014 № 1100н // Официальный интернет-портал правовой информации: www.pravo.gov.ru, № 0001201505130043.
4. РД 153-34.0-03.301-00 (ВППБ 01-02-95*). Правила пожарной безопасности для энергетических предприятий. — Введ. РАО “ЕЭС России” 01.06.2000. — М. : ЗАО “Энергетические технологии”, 2000.
5. Нормы табельной положенности пожарно-технического вооружения и аварийно-спасательного оборудования для основных и специальных пожарных автомобилей, изготавливаемых с 2006 года (ред. от 28.03.2014) : приказ МЧС России от 25.07.2006 № 425; введ. 25.07.2006 // Пожарная безопасность. — 2006. — № 6. — С. 31–59.

6. Градостроительный кодекс Российской Федерации (с изм. от 31.12.2017) : Федер. закон РФ от 30.12.2004 № 190-ФЗ; принят Гос. Думой 22.12.2004; одобр. Сов. Федерации 24.12.2004 // Собр. законодательства РФ. — 2005. — № 1 (ч. I), ст. 16.

7. ГОСТ Р 22.0.02–2016. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Термины и определения. — Введ. 01.01.2017. — М. : Стандартинформ, 2016.

8. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений (с изм. от 02.07.2013) : Федер. закон РФ от 30.12.2009 № 384-ФЗ; принят Гос. Думой 23.12.2009; одобр. Сов. Федерации 25.12.2009 // Собр. законодательства РФ. — 2010. — № 1, ст. 5.

Для цитирования: Харламенков А. С. Требования боевого устава подразделений пожарной охраны к участникам тушения пожара при наличии электроустановок под напряжением // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 4. — С. 70–72.

English

REQUIREMENTS OF THE COMBAT REGULATIONS OF THE FIRE BRIGADE UNITS TO PARTICIPANTS IN FIREFIGHTING IN THE PRESENCE OF ELECTRICAL INSTALLATIONS UNDER VOLTAGE

KHARLAMENKOV A. S., Senior Lecturer, Department 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: h_a_s@live.ru)

ABSTRACT

Normative documents on the organization and carrying out firefighting at the existing electrical networks and installations are considered. The analysis of new requirements of the combat regulations of the fire brigade units is performed. The urgency of the issue of grounding firefighting equipment and fire equipment is noted. The order of actions of fire extinguishing participants in the presence of electrical installations under voltage is presented.

Keywords: fire extinguishing; electrical equipment; electrical networks; earthing; occupational safety.

For citation: Kharlamenkov A. S. Requirements of the combat regulations of the fire brigade units to participants in firefighting in the presence of electrical installations under voltage. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 4, pp. 70–72 (in Russian).

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ!

Направляемые в журнал “ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ” статьи должны содержать результаты научных исследований и испытаний, описания новых технических устройств и программно-информационных продуктов; обзоры, комментарии к нормативно-техническим документам, справочные материалы и т. п. Авторы должны указать, к какому типу относится их статья:

- научно-теоретическая;
- научно-эмпирическая;
- аналитическая (обзорная);
- дискуссионная;
- рекламная.

Не допускается направлять в редакцию работы, которые были опубликованы и/или приняты к печати в других изданиях.

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 адресу info@fire-smi.ru.

Статья должна быть ясно и лаконично изложена и подписана всеми авторами (скан страницы с подписями). Основной текст статьи должен содержать в себе четкие, логически взаимосвязанные разделы. Все разделы должны начинаться приведенными ниже заголовками, выделенными полужирным начертанием. Для научной статьи традиционными являются следующие разделы:

- введение;
- материалы и методы (методология) — для научно-эмпирической статьи;
- теоретические основы (теория и расчеты) — для научно-теоретической статьи;
- результаты и их обсуждение;
- заключение (выводы).

Редакция допускает и иную структуру, обусловленную спецификой конкретной статьи (аналитической (обзорной), дискуссионной, рекламной) при условии четкого выделения разделов:

- введение;
- основная (аналитическая) часть;
- заключение (выводы).

Подробную информацию о содержании каждого из обозначенных выше разделов см. на сайте издательства www.fire-smi.ru.

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 точными и лаконичными и в то же время достаточно информативными; в них можно использовать только общепринятые сокращения. В переводе заглавий статей на английский язык недопустима транслитерация с русского языка, кроме непереводаемых названий собственных имен, приборов и других объектов, имеющих собственные названия, а также непереводаемый сленг, известный только русскоговорящим специалистам. Это касается также аннотаций, авторских резюме и ключевых слов.

2.3. Информация об авторах.

2.3.1. Имена, отчества и фамилии всех авторов. Они должны приводиться полностью на русском языке и в транслитерации в соответствии с системой, которая в настоящее время является наиболее распространенной (<http://fotosav.ru/services/transliteration.aspx>).

Авторами являются лица, принимавшие участие во всей работе или в ее главных разделах. Лица, участвовавшие в работе частично, указываются в сносках.

2.3.2. Ученые степени, звания, должность, место работы всех авторов с полным юридическим адресом (на русском и английском языках). Здесь необходимо указать: полное официальное название организации, страну, индекс, город, название улицы, номер дома, а также контактные телефоны и электронный адрес всех или хотя бы одного из авторов. При этом не следует приводить составные части названий организаций, обозначающие принадлежность ве-

домству, форму собственности, статус организации (например, “Учреждение Российской академии наук...”, “Федеральное государственное унитарное предприятие...”, “ФГОУ ВПО...” и т. п.), так как это затрудняет идентификацию организации. Обращаем Ваше внимание, что при переводе необходимо указывать официально принятое название организации на английском языке. Все почтовые сведения (кроме наименования улицы, которое должно быть в транслитерированном виде) должны быть также переведены на английский язык, в том числе название города и страны.

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

2.4. Аннотация на русском языке должна состоять не менее чем из 5–7 предложений и не должна содержать обобщенные данные по выбранной для статьи теме. Аннотация к научной статье представляет собой краткое описание содержания изложенного текста (т. е.: “Изучены..., проанализированы..., представлены...” и т. п.).

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

- информативным (не содержать общих слов);
- оригинальным (не быть калькой с русскоязычной аннотации с дословным переводом);
- содержательным (должно отражать существенные результаты работы; не должно включать материал, который отсутствует в основной части публикации);
- структурированным (т. е. следовать логике описания результатов в публикации);
- грамотным (написанным качественным английским языком, без использования программ автоматизированного перевода);
- объемом не менее 200–250 слов.

Структура резюме должна повторять структуру статьи и включать введение, цели и задачи, методы, результаты, заключение (выводы).

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

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

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

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

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

Для повышения эффективности при онлайн-поиске включите в текст аннотации ключевые слова и термины из основного текста и заглавия статьи.

2.6. Ключевые слова на русском и английском языках (не менее 5 слов или словосочетаний). Они указываются через точку с запятой. Недопустимо в качестве ключевых слов использовать термины общего характера (например, проблема, решение и т. п.), не являющиеся специфической характеристикой публикации. При переводе ключевых слов на английский язык избегайте по возможности употребления слов “and” (и), “of” (предлог, указывающий на принадлежность), артиклей “a”, “the” и т. п.

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

Цитируемый текст из других публикаций следует брать в кавычки. Таблицы, рисунки, методы, численные данные (за исключением общеизвестных величин), опубликованные ранее, должны сопровождаться ссылками.

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

Сокращения и условные обозначения физических величин в тексте статьи должны соответствовать действующим международным стандартам. Формулы и буквенные обозначения должны быть четкими и ясными. Все буквенные обозначения, входящие в формулы, должны быть расшифрованы с указанием единиц измерения. Размерность всех характеристик должна соответствовать системе СИ. Иллюстрации в электронной версии прилагаются отдельно. Фотографии должны быть сделаны с хорошего негатива контрастной печатью (файлы растровых изображений предоставляются 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 печатать PDF-файл из этой программы. Все иллюстрации должны иметь сквозную нумерацию. Чертежи и карты в качестве иллюстраций неприемлемы. Ссылки на все рисунки в тексте обязательны.

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

Для двуязычного представления табличного и графического материала необходимо прислать перевод на английский язык:

- для таблицы: ее названия, шапки, боковика, текста во всех строках, сносок и примечаний;
- для рисунка: подписочной подписи и всех текстовых надписей на самом рисунке;
- для схемы: подписи к ней и всего содержания самой схемы.

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

Список литературы должен включать библиографические сведения обо всех публикациях, упоминаемых в статье, и не должен содержать указаний на работы, на которые в тексте нет ссылок. Литература должна быть оформлена в виде общего списка в порядке упоминания. В тексте ссылка на литературу отмечается порядковой цифрой в квадратных скобках, например [1]. Библиографические данные приводятся по титульному листу издания. Порядок изложения элементов библиографического описания определяется требованиями ГОСТ 7.1–2003 и ГОСТ Р 7.0.5–2008.

В описании источников необходимо указывать всех авторов.

Наряду с этим для научных статей список литературы должен отвечать следующим требованиям.

Список литературы должен содержать не менее 20 источников (в это число не входят нормативные документы, патенты, ссылки на сайты компаний и т. п.). При этом количество ссылок на статьи из иностранных научных журналов и другие иностранные источники должно быть не менее 40 % от общего количества ссылок. Не более половины от оставшихся 60 % должны составлять статьи из русскоязычных научных журналов, остальное — другие первоисточники на русском языке.

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

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

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

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

Не следует включать в список литературы ГОСТы; ссылки на них должны быть даны непосредственно по тексту статьи.

Убедитесь, что указанная в списке литературы информация (Ф.И.О. автора, название книги или журнала, год издания, том, номер и количество (интервал) страниц) верна.

Неопубликованные результаты, проекты документов, личные сообщения и т. п. не следует указывать в списке литературы, но они могут быть упомянуты в тексте.

2.9. References (пристатейные списки литературы на английском языке). Представление в References только транслитерированного (без перевода) описания недопустимо. Обращаем Ваше внимание, что перевод названия статей следует давать так, как он проходил при их публикации, а перевод названий журналов должен быть официально принятым. Произвольное сокращение названий источников цитирования приведет к невозможности идентифицировать ссылку в электронных базах данных.

При составлении References необходимо следовать схеме:

- авторы (транслитерация; для ее написания используйте сайт <http://fotosav.ru/services/transliteration.aspx>, обязательно включив в настройках справа вверх флажок “Американская (для визы США)”); если автор цитируемой статьи имеет свой вариант транслитерации своей фамилии, следует использовать этот вариант);
- заглавие на английском языке — для статьи, транслитерация и перевод названия — для книги;
- название источника (журнала, сборника статей, материалов конференции и т. п.) в транслитерации и на английском языке (курсивом, через косую черту);
- выходные данные;
- указание на язык изложения материала в скобках (например, (in Russian)).

Например: Sokolov D. N., Vogman L. P., Zuykov V. A. Microbiological spontaneous ignition. *Pozharnaya bezopasnost / Fire Safety*, 2012, no. 1, pp. 35–48 (in Russian) (другие примеры см. www.fire-smi.ru).

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

4. Статьи, присланные не в полном объеме, на рассмотрение не принимаются.

5. В случае получения замечаний в ходе внутреннего рецензирования статьи авторы должны предоставить доработанный вариант текста с обязательным выделением цветом внесенных изменений, а также отдельно подготовить конкретные ответы-комментарии на все вопросы и замечания рецензента. Несвоевременный, а также неадекватный ответ на замечания рецензентов и научных редакторов приводит к задержке публикации до исправления указанных недостатков. При игнорировании замечаний рецензентов и научных редакторов рукопись снимается с дальнейшего рассмотрения.

6. Непринятые к публикации статьи автору не возвращаются. Просьба редакции о переработке материала не означает, что он принят к печати. Предпечатная подготовка статей оплачивается за счет средств подписчиков и третьих лиц, заинтересованных в публикации.

Редакция оставляет за собой право считать, что авторы, предоставившие рукопись для публикации в журнале “Пожаровзрывобезопасность”, согласны с условиями публикации или отклонения рукописи, а также с правилами ее оформления!



29-30 мая 2018
Экспоцентр
Москва

Конференция
и выставка
по технологиям
и транспортировке
сыпучих материалов

www.solids-russia.ru

ISSN 0869-7493 (Print)
ISSN 2587-6201 (Online)

Продолжается
подписка
на журнал

2018

ПОЖАРОВЗРЫВО- БЕЗОПАСНОСТЬ



По вопросам подписки
просьба обращаться
по тел.: (495) 228-09-03,
8-909-940-01-85 или
по e-mail info@fire-smi.ru

- Стоимость подписки на 1-е полугодие 2018 г. (6 номеров) — 6840 руб.
- Стоимость годовой подписки (12 номеров) — 12960 руб.

ЭЛЕКТРОННАЯ ВЕРСИЯ:

- Стоимость подписки на 1-е полугодие 2018 г. (6 номеров) — 4920 руб.
- Стоимость годовой подписки (12 номеров) — 9360 руб.

ПОДПИСКА ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ:

- через ООО “Издательство “Пожнаука”;
- ЧЕРЕЗ ПОДПИСНЫЕ АГЕНТСТВА:
 - ООО “Урал-Пресс”, индекс 83647 (полугодовой), 70753 (годовой);
 - ООО “Агенство “Книга Сервис”, индекс 83647 (полугодовой), 70753 (годовой);
 - ЗАО “ПРЕССИНФОРМ”, индекс 83647 (полугодовой), 70753 (годовой)



При поддержке Правительства Республики САХА (Якутия)



Информационные технологии.Связь Телекоммуникации. Безопасность.

**6-8 ноября 2018 г.
г. ЯКУТСК**

Организаторы:



**Выставочная компания
Сибэкспосервис**
г. Новосибирск

Тел: (383) 3356350
E-mail: vk ses@yandex.ru
www.ses.net.ru



ИНСТИТУТ КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Национальный исследовательский
Московский государственный
строительный университет

Научно-
исследовательские
и сертификационные
испытания:

- ♦ железобетонных конструкций
- ♦ противопожарных преград
- ♦ легкобрасываемых конструкций
- ♦ фасадных систем
- ♦ палуб, переборок

Контакты:

Тел.: 8 (495) 109-05-58

e-mail: ikbs@mgsu.ru,

mail@ikbs-mgsu.com

www.ikbs-mgsu.com

Свидетельство о признании
Аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.21AM09 от 24.06.2014 г.
испытательной лаборатории РМРС № 16.00385.120 от 28.12.2016 г.