

5-2018

ПОЖ Издательство
НАУКА

ПОЖАРОВЗРЫВО-

БЕЗОПАСНОСТЬ



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

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

КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

пожарная • промышленная • производственная • экологическая

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ
ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ "СОГДА"
НА ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНЫХ
ОБЪЕКТАХ В УЗБЕКИСТАНЕ





STOP FIRE 18

КУЛЬТУРА БЕЗОПАСНОСТИ

ВЫСТАВКА ТЕХНОЛОГИЙ, ТОВАРОВ И УСЛУГ
ДЛЯ ПОЖАРНОЙ И ОБЩЕСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

+7 (343) 239-66-44

STOPFIRE.SOUZPROMEXPO.RU

РЕКЛАМА

 СОЮЗПРОМЭКСПО

СЕНТЯБРЬ 2018 | «ДИВС»

ЕКАТЕРИНБУРГ, ОЛИМПИЙСКАЯ НАБЕРЕЖНАЯ 3

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ:



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 6.

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 15.05.2018.

Выход в свет 25.05.2018.

Формат 60х84 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

ПРИСАДКОВ В. И., ЕРЕМИНА Т. Ю., БОГДАНОВ А. В.,
СУШКОВА О. В., ТИХОНОВА Н. В.
Обзор международных нормативных документов,
регламентирующих правила пожарной безопасности
для объектов исторического и культурного наследия

7

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

ЗУЕВ Н. Ю., ХАБИБУЛИН Р. Ш.,
ШИХАЛЕВ Д. В., ГУДИН С. В.
Информационная технология экспертного
опроса специалистов нефтегазовой отрасли
для предотвращения пожаров на объектах защиты

17

ТОПОЛЬСКИЙ Н. Г.,
ТАРАКАНОВ Д. В., БАКАНОВ М. О.
Многокритериальная модель мониторинга пожара
в здании для управления пожарно-спасательными
подразделениями

26

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

НЕДОБИТКОВ А. И.
Особенности короткого замыкания
в автомобильной электрической сети

34

СРЕДСТВА И СПОСОБЫ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

УСМАНОВ М. Х., КУЛДАШЕВ А. Х.,
МУЗАФАРОВ У. Т., ЕКУБОВ У. А., КУЛДАШЕВ И. Х.
Опыт применения теплозащитных экранов "СОГДА"
на пожаровзрывоопасных объектах
в Узбекистане

50

ЗАХМАТОВ В. Д., ТУРСЕНЕВ С. А.,
ЧЕРНЫШОВ М. В., АДАЕВ А. А., БЕКАСОВ А. В.
Новые средства обеспечения эвакуации
в общественных зданиях с массовым
пребыванием людей

61

CONTENTS

GENERAL QUESTIONS OF COMPLEX SAFETY

PRISADKOV V. I., EREMINA T. Yu., BOGDANOV A. V.,
SUSHKOVA O. V., TIKHONOVA N. V.
Review of international normative fire safety
requirements for historic and cultural
heritage objects

MATHEMATICAL MODELING, NUMERICAL METHODS AND PROGRAM COMPLEXES

ZUEV N. Yu., KHABIBULIN R. Sh.,
SHIKHALEV D. V., GUDIN S. V.
Information technology of expert poll observation
of oil and gas industrial specialists for prevention
of fire on protection objects

TOPOLSKIY N. G.,
TARAKANOV D. V., BAKANOV M. O.
Multi-criteria model for monitoring of fire
in the building for managing fire-rescue
subdivisions

ELECTRICAL ENGINEERING

NEDOBITKOV A. I.
Specific features of short circuit
in automobile electrical system

MEANS AND WAYS OF FIRE EXTINGUISHING

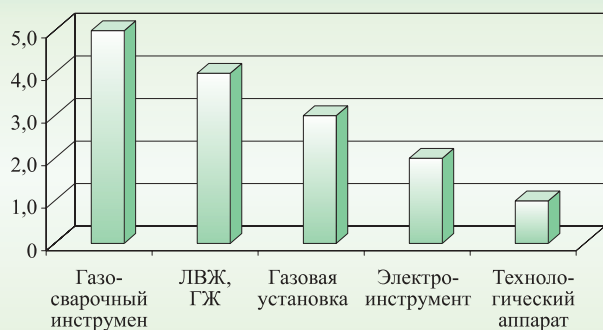
USMANOV M. Kh., KULDASHEV A. Kh.,
MUZAFAROV U. T., EKUBOV U. A., KULDASHEV I. Kh.
Experience in application of SOGDA thermal-protection
shields at fire and explosion hazardous facilities
in Uzbekistan

ZAKHMATOV V. D., TURSENEV S. A.,
CHERNYSHOV M. V., ADAEV A. A., BEKASOV A. V.
New means of providing evacuation
in public buildings with mass stay
of people



Правила пожарной безопасности для объектов культурного наследия

Стр. 7



Стр. 17

Информационная технология экспертного опроса специалистов



Особенности короткого замыкания в автомобильной электросети

Стр. 34



Опыт применения экранов "СОГДА" в Узбекистане

Стр. 50

Стр. 61



Новые средства обеспечения эвакуации в общественных зданиях

КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

пожарная • промышленная • производственная • экологическая



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 6,
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 15.05.2018.

Date of publication 25.05.2018.

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)



При поддержке Правительства Республики САХА (Якутия)



Информационные технологии.Связь Телекоммуникации. Безопасность.

**6-8 ноября 2018 г.
г. ЯКУТСК**

РЕКЛАМА

Организаторы:



**Выставочная компания
Сибэкспосервис**
г. Новосибирск

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



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

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, Международный научный инновационный центр строительства и пожарной безопасности (Россия, 199155, г. Санкт-Петербург, ул. Уральская, 13; e-mail: risk@stopfire.ru)

УДК 614.849

ОБЗОР МЕЖДУНАРОДНЫХ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ, РЕГЛАМЕНТИРУЮЩИХ ПРАВИЛА ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ ИСТОРИЧЕСКОГО И КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

Рассмотрены проблемы обеспечения пожарной безопасности на объектах культурного наследия при их приспособлении для современного использования. Проанализированы международные нормативные документы, регламентирующие правила пожарной безопасности на подобных объектах. Рассмотрен метод оценки противопожарной защиты объектов с использованием чек-листов. Проанализированы факторы риска, включаемые в чек-листы для различных объектов. Сформулированы предложения по разработке чек-листов для объектов культурного наследия.

Ключевые слова: объекты культурного наследия; современное использование; пожарная безопасность; чек-листы; вероятностная оценка пожарного риска.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.05.7-16

Введение

В настоящее время при проектировании систем противопожарной защиты объектов культурного наследия в России руководствуются нормативными документами, в том числе [1–5], а также территориальными строительными нормами, например [6, 7].

Постановлением Правительства Российской Федерации от 29 июня 2017 г. № 774 “О внесении изменений в положение о федеральном государственном пожарном надзоре” [8] утверждено использование проверочных листов (списков контрольных вопросов) при проведении плановых проверок объектов защиты. В документе подчеркивается, что “проверочные листы содержат вопросы, затрагивающие обязательные требования, соблюдение которых является наиболее значимым с точки зрения недопущения возникновения угрозы причинения вреда жизни, здоровью граждан, вреда животным, растениям, окружающей среде, объектам культурного наследия (памятникам истории и культуры) народов

Российской и Федерации, безопасности государства, а также угрозы чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера”.

Чек-листы предлагают к заполнению и музеи, предоставляющие свои коллекции для временных и передвижных выставок. По чек-листам проводится оценка условий принимающего музея. Принимающая сторона предоставляет следующие основные данные в части пожарной безопасности:

- поэтажные планы с указанием зон приема экспонатов, мест временного хранения, мест подготовки выставок и выставочных залов, расположения пожарных выходов, переносных огнетушителей и систем пожаротушения;
- типы строительных материалов, используемых при строительстве здания и для внутренней отделки;
- тип и расположение зон активности публики, часы работы музея для публики;
- системы пожарной безопасности в здании.

В международных нормативных документах, регламентирующих правила пожарной безопасности для объектов исторического и культурного наследия, неоднократно подчеркивается уникальность объектов защиты и в связи с этим необходимость индивидуального подхода и консультаций эксперта при разработке концепции их пожарной безопасности. Кроме того, в большинстве таких документов предлагается необходимый для проверки перечень требований, так называемый чек-лист (check-list). В работе дан анализ чек-листов, приведенных в документах, разработанных различными международными организациями с учетом практического опыта стран-участников.

Методические материалы

Следует обратить внимание на документы, разработанные CFPA (Confederation of Fire Protection Association), NFPA (National Fire Protection Association), BSI (British Standard Institute), CTIF (International Association of Fire and Rescue Service), в которых приводятся формы различных опросных листов.

I. Руководство CFPA-E-30–2013 “Managing Fire Protection in Historic Buildings” (Пожарная безопасность исторических зданий) [9] предлагает следующую форму чек-листа.

Пожарная безопасность исторических зданий (чек-лист)

1. Здание удовлетворяет требованиям безопасной эвакуации по аспектам:

- длина эвакуационного пути;
- наличие указателей направления эвакуации;
- специальные знаки у эвакуационных выходов;
- использование только лестниц в качестве путей эвакуации;
- использование окон в качестве эвакуационных выходов (если это предусмотрено нормами);
- использование балконов в качестве путей эвакуации или зон безопасности;
- наличие планов эвакуации;
- нормируемый предел огнестойкости окон вблизи путей эвакуации (лестниц).

2. Деление здания на пожарные отсеки.

3. Предотвращение распространения пожара в здании:

- достаточное количество зон безопасности;
 - другие мероприятия.
4. Электрооборудование и другие системы:
- в соответствии с действующими нормативными документами.
5. Оборудование для пожаротушения:
- ручные огнетушители;
 - огнетушащие покрывала;
 - другие мероприятия.

6. Возможность доступа к путям эвакуации в здании, включая отдельные лестничные клетки, балконы со свободным доступом и т. д.

7. Водоснабжение пожаротушения:

- муниципальное;
- альтернативное.

8. Инструкции по обслуживанию и эксплуатации.

9. Наличие планов здания.

10. Отступления от норм/Комментарии.

При заполнении формы отрицательные ответы дополнительно сопровождаются комментариями.

II. В стандарте NFPA 909 “Code for the Protection of Cultural Resource Properties — Museums, Libraries, and Places of Worship” (Свод правил защиты объектов культурного наследия — Музеи, библиотеки, культовые здания) [10] приводится форма опросного листа для оценки обеспечения пожарной безопасности здания, включающего несколько разделов.

Потенциальные риски

1. Здание:

- a) степень огнестойкости здания, горючие/негорючие конструкции;
- b) дата постройки; историческое здание: да/нет;
- c) элементы здания, представляющие историческую/культурную ценность;
- d) крыша: горючая/негорючая;
- e) здание находится на реконструкции/реновации: да/нет.

2. Размеры:

- a) площадь этажа;
- b) число этажей;
- c) число корпусов/флигелей;
- d) число выходов;
- e) число эвакуационных выходов;
- f) число условных единиц ширины выхода;
- g) требуемое число условных единиц ширины выхода (в соответствии с нормативными документами);
- h) численность персонала;
- i) количество посетителей в день: среднее, максимальное.

3. Риск в случае возникновения пожара в соседних зданиях:

Направление Direction	Нет сведений N/A	Низкий Low	Средний Moderate	Высокий High
Север North				
Запад West				
Юг South				
Восток East				

4. Водоснабжение:

- муниципальное, резервуар/бассейн, накопители;
- мощность;
- размеры трубопровода;
- расстояние до гидрантов.

5. Аварийно-спасательные службы:

- *Пожарная служба*: муниципальная/волонтеры/пожарно-техническая комиссия.
Время прибытия пожарных подразделений.
- *Служба неотложной медицинской помощи (EMS)*: муниципальная/волонтеры/сотрудники, прошедшие инструктаж по оказанию первой медицинской помощи;
Время прибытия EMS.
- *Полиция*: полицейский департамент/шериф/прочее.
Время прибытия.
- *Служба безопасности*: собственная/контрактная/волонтеры/нет.
Круглосуточная: да/нет (если нет, то в течение какого времени).

6. Пожарная безопасность (ответ в формате “Да/Нет/Частично”):

- пожарный стояк внутреннего противопожарного водопровода;
- спринклерная система;
- система газового пожаротушения;
- система пожаротушения тонкораспыленной водой;
- огнетушители (тип, расположение);
- автоматическая система пожарной сигнализации;
- локальная система пожарной сигнализации;
- сигнал, передаваемый напрямую пожарным подразделениям или в центральный пункт пожарной охраны;
- центральные пункты пожарной охраны (зарегистрированные лабораториями по технике безопасности UL — Underwriters Laboratories в США);
- противопожарные стены и самозакрывающиеся противопожарные двери, защищающие горизонтальные проемы в здании;
- котельные, отделенные от здания противопожарными стенами и самозакрывающимися противопожарными дверями;
- огнестойкие ограждающие конструкции лестниц и других вертикальных проемов;
- двери, открывающиеся наружу;
- двери, оборудованные механизмом “антипаника”;
- ответственный за пожарную безопасность.

7. Безопасность (ответ в формате “Да/Нет/Частично”):

- система защиты помещений;
 - система оперативного видеоконтроля (CCTV);
 - доступ по пропускам;
 - ограждение;
 - локальная система сигнализации;
 - общая система сигнализации;
 - центральные пункты охраны (зарегистрированные лабораториями по технике безопасности UL — Underwriters Laboratories в США);
 - ответственный за безопасность.
8. Коллекции: тип, расположение.
- Ущерб, причиняемый при тушении водой: низкий/средний/высокий.
 - Внешнее аварийное хранилище: да/нет (расположение).

9. Возможные источники проникновения воды в здание.

10. Уровень преступности: низкий/средний/высокий.

11. Возможные угрозы с вероятностями возникновения и возможными воздействиями:

Угрозы Potential threats	Вероятность возникновения Likelihood of Occurrence				Возможное воздействие Potential Severity		
	Нет сведений N/A	Низкая Low	Средняя Moderate	Высокая High	Низкое Low	Среднее Moderate	Высокое High

Возможные угрозы

- *Непреднамеренные*:
пожар/взрыв;
ЧС с угрозой здоровью;
выброс опасных веществ;
авария на транспорте.
- *Умышленные*:
терроризм;
кибератаки;
поджог;
кража;
вандализм;
саботаж;
народные волнения, беспорядки, мятежи.
- *Неисправность систем*:
отключение электроэнергии;
протечка;
коллапс здания;
недостаток топлива;
сбои в работе коммуникационных систем;
загрязнение воздуха/воды в результате выбросов;
аварии в системе водоснабжения на дамбах/плотинах;

аварии систем вентиляции и кондиционирования;
отказ систем безопасности.

– *Геологические:*

землетрясения;
цунами;
вулкан;
оползни/сели.

– *Биологические:*

пандемия;
заражение от животных/насекомых.

– *Метеорологические:*

наводнения, паводки;
засуха;
пожары на неосвоенных территориях (лес, кустарник, трава, земля);
снег, лед, град, изморозь, лавины;
шторм, тропический циклон, ураган, торнадо,
пылевые/песчаные бури;
экстремальная жара/мороз;
молнии.

– *Прочее.*

12. Проводится ли периодическая инвентаризация коллекций: полная/частичная. Дата проведения.

13. Включены ли в результаты инвентаризации базовые описания каждого предмета в коллекции?

14. Хранятся ли во внешнем хранилище копии результатов инвентаризации, документы страхования и прочие важные документы?

15. Проверяются ли на постоянной основе хранилища коллекций?

16. Проверена ли стеллажная система хранения на сейсмоустойчивость?

17. Проверяются ли регулярно и обслуживаются ли такие элементы здания, как кровля, окна, трубопроводы?

18. Предусмотрены ли мероприятия по защите коллекций от воздействия воды?

19. Учтены ли в плане действий в случае чрезвычайных ситуаций угрозы с высокой вероятностью возникновения и серьезными последствиями?

20. Является ли план действий в случае чрезвычайных ситуаций актуальным? Дата последнего обновления.

21. Отражены ли зоны ответственности в плане действий в случае чрезвычайных ситуаций?

22. Есть ли четко обозначенная организация действий в случае чрезвычайных ситуаций, предпочтительно с узаконенными полномочиями?

23. Указаны ли должности (а не только имена) сотрудников данной организации?

24. Определены ли зоны ответственности и сотрудник, принимающий решение в каждой конкретной ситуации?

25. Определено ли расположение центрального пункта управления?

26. Находятся ли системы коммуникации пункта в рабочем состоянии?

27. Известно ли сотрудникам организации время предоставления сведений в центральный пункт управления?

28. Известно ли сотрудникам организации, какие средства оказания медицинской помощи имеются в их распоряжении и как получить к ним доступ?

29. Есть ли в здании телефонные номера организации?

30. Проводились ли тренинги персонала по обнаружению очага возгорания?

31. Проводились ли тренинги всех людей в здании по предоставлению сведений о чрезвычайных ситуациях?

32. Проводились ли тренинги персонала по оказанию помощи аварийным службам при их прибытии?

33. Есть ли способы поддержания стандартного режима работы систем жизнеобеспечения здания?

34. Разработаны ли схемы проведения ремонта систем в случае чрезвычайных ситуаций?

35. Указано ли на поэтажных планах здания расположение противопожарного оборудования, отсечных клапанов и т. д., которые могут быть использованы аварийными службами?

36. Есть ли в здании базовый набор средств для действий в случае чрезвычайной ситуации?

37. Разработан ли механизм аварийного отключения систем здания?

38. Разработан ли план управления внутренними и внешними ресурсами, например взаимодействие смежных структур?

39. Разработана ли схема эвакуации коллекций в случае чрезвычайных ситуаций?

40. Указано ли в плане внешнее хранилище коллекций в случае эвакуации?

41. Назначен ли ответственный за своевременную эвакуацию коллекций?

42. Разработан ли план ограничения ущерба при условии получения разрешения службы безопасности?

43. Включает ли план пункты оценки и документации ущерба здания и коллекций?

44. Утвержден ли план ограничения ущерба пожарной службой?

45. Утвержден ли план действий в случае чрезвычайных ситуаций инженером по безопасности?

46. Согласованы ли учения и тренинги с рабочим планом действий в случае чрезвычайных ситуаций?

При заполнении данной формы также необходимо указать любые изменения (с момента преды-

дущей проверки) для здания, людей в здании, коллекций, доступа в здание и прочих условий, влияющих на безопасность объектов культурного наследия.

III. Чек-лист в стандарте NFPA 914 “Code for Fire Protection of Historic Structures” (Свод правил пожарной безопасности в исторических зданиях) [11] предлагает для проверки состояния пожарной безопасности объекта ответить на следующие вопросы.

Безопасность жизнедеятельности:

- не препятствуют ли мероприятия по обеспечению безопасности использованию эвакуационных выходов;
- находятся ли противопожарные двери лестниц и холлов в закрытом состоянии;
- не загромождены и не заблокированы ли лестницы и эвакуационные пути;
- готовы ли к эксплуатации эвакуационные лестницы;
- успешно ли протестировано аварийное освещение;
- свободны ли пути эвакуации снаружи, очищены ли от снега и льда;
- подсвечены ли указатели выходов, не скрыты ли чем-либо, легко ли заметны?

Оборудование пожаротушения:

- расположены ли портативные огнетушители на соответствующих местах, заполнены ли, снабжены ли этикетками;
- выдерживается ли между спринклерами и материалами минимальное расстояние 18 дюймов (457 мм);
- готовы ли к эксплуатации пожарные рукава, легко ли заметны и доступны места их хранения;
- нет ли помех для работы пожарных датчиков;
- открыты ли и заблокированы или защищены управляющие клапаны спринклеров; находится ли сухотрубная система при нормальном атмосферном давлении;
- готовы ли к эксплуатации резервуары, трубы, поддерживающие конструкции спринклеров;
- проводятся ли регулярные проверки работы системы пожарной сигнализации;
- готовы ли к эксплуатации устройства молниезащиты?

Эксплуатация здания, хранение:

- не скапливается ли мусор в чрезмерных количествах; ежедневно ли опорожняются мусорные контейнеры;
- содержатся ли в чистоте, с поддержанием порядка зоны хранения; хранятся ли чистящие материалы с соблюдением соответствующих условий;

- не хранятся ли горючие материалы в незащищенных зонах, например в полупроходных технических подпольях;
- не закупорены ли водостоки кровли и дренажные системы; находится ли покрытие кровли в исправном состоянии;
- не загромождены ли проходы?

Опасные жидкости:

- разработан ли план действий в случае аварийного пролива;
- хранятся ли легковоспламеняющиеся/горючие жидкости в безопасных герметичных контейнерах, в соответствующих помещениях;
- не закупорены ли воздуховоды помещений хранения;
- хранится ли грязная ветошь в специальном автоматически закрывающемся мусорном контейнере;
- предусмотрены ли портативные огнетушители нужного типа, расположенные в соответствующих местах?

Экспозиции/коллекции/книгохранилища:

- нет ли переполнений в хранилищах;
- не фиксируется ли перегрев на световых индикаторах;
- не блокируют ли экспозиции выходы и не перекрывают ли доступ к оборудованию пожаротушения;
- не используются ли шнуры-удлинители;
- все ли горизонтальные и вертикальные проемы в противопожарных преградах имеют противопожарное исполнение;
- находится ли аварийное оборудование в свободном доступе;
- знакомы ли пожарные подразделения с планировками данных помещений, имеют ли доступ в них;
- следуют ли персонал и посетители установленным в здании правилам курения;
- осуществляется ли временная прокладка электропроводки в соответствии с NFPA 70?

Аудитории и учебные классы:

- соблюдается ли установленная безопасная вместимость;
- запрещено ли стояние и сидение в проходах;
- соблюдаются ли установленные в здании правила курения?

Рестораны и фудкорты:

- соблюдается ли установленная безопасная вместимость;
- не загромождены ли и освещены ли проходы и эвакуационные пути;

- прочищены ли печи, вытяжные шкафы, вытяжные каналы?

Магазины/лаборатории/зоны упаковки:

- вывозится ли лабораторный мусор ежедневно, с соблюдением установленных правил;
- производится ли окраска напылением в вентилируемом помещении; не закупорены ли очистители и фильтры;
- выполнено ли взрывозащищенным электрооборудование в зонах хранения легковоспламеняющихся жидкостей;
- имеют ли электроприборы световую индикацию и отключаются ли в случае неиспользования;
- предупрежден ли персонал о возможных опасностях и проходит ли тренинг по специальной программе;
- предусмотрен ли санкционированный доступ;
- заземлены ли инструменты, станки с механическим приводом;
- работают ли коллекторы сбора отходов деревообрабатывающего оборудования в стандартном режиме; регулярно ли опорожняются мусорные контейнеры;
- отключается ли электрооборудование в случае неиспользования?

Внешнее окружение:

- все ли выходы, аварийные выходы, эвакуационные выходы обеспечивают свободный проход в безопасную зону;
- свободно ли прилегающее пространство от горючих материалов, зарослей;
- обеспечен ли доступ пожарных подразделений;
- готовы ли к эксплуатации, легко ли видны и доступны пожарные гидранты и разветвители sprinkлерных систем?

Персонал/тренинги:

- все ли сотрудники знакомы с механизмом запуска пожарной сигнализации;
- все ли сотрудники аварийной службы прошли тренинг и осведомлены о своих обязанностях;
- все ли сотрудники знакомы с механизмом использования портативных огнетушителей и мероприятиями по предотвращению пожара?

Изменения в здании с момента последней проверки:

- нет ли изменений в работе системы пожарной сигнализации и пожаротушения;
- не добавлена ли недопустимая пожарная нагрузка;

- не добавлены ли горизонтальные и вертикальные проемы в противопожарных стенах и перекрытиях?

Примечание о возможных опасностях (необходимая информация вносится в соответствующую форму):

- Обнаружены опасности.
- Возможный риск.
- Рекомендации.

Результаты и их обсуждение

Проведенный анализ показывает, что в основном чек-листы, входящие в регламенты пожарной безопасности, включают деление здания на пожарные отсеки, средства предотвращения распространения дыма и огня в здании в случае пожара, проверку выполнения условий безопасной эвакуации, проверку систем пожаротушения на объекте. Для объектов исторического и культурного наследия, функционирующих в качестве музеев, в чек-листах содержится также информация о пожарной безопасности коллекций, выставочных залов и хранилищ. При более подробном анализе рассматриваются возможные внешние угрозы. Особый интерес представляют чек-листы с указанием вероятности возникновения и последствий возможных угроз: эти данные могут быть включены в оценку пожарного риска с использованием вероятностного подхода. Следует заметить, что целесообразность использования вероятностного подхода при оценке пожарного риска в случае приспособления исторических зданий для современного использования уже неоднократно анализировалась, например в работах [12–16]. Вероятностный подход основан на более рациональном сопоставлении опасных факторов пожара, уровня безопасности людей, ожидаемого материального ущерба и в конечном счете затрат на противопожарную защиту.

Однако расчет индивидуального пожарного риска не всегда может быть выполнен для объектов культурного наследия, поскольку архитектурно-строительные решения, являющиеся предметами охраны, ограничивают применение утвержденной методики расчета пожарного риска [12]. В таких случаях необходима разработка альтернативных методов оценки пожарной безопасности и методов совершенствования противопожарной защиты объектов культурного наследия [17–21]. Методы количественной оценки пожарной безопасности музейных объектов подробно исследованы в работе [22]. В стандартах NFPA также представлены сценарии использования методов количественной оценки. Различные аспекты объекта оцениваются по балльной системе. По результатам экспертной оценки объекты подраз-

деляют на группы, и для каждой разрабатывается индивидуальный набор рекомендаций и компенсирующих мероприятий.

Заключение

Рассмотренные в статье чек-листы (или аналогичные, разработанные на их основе) могут быть включены в свод правил по противопожарной защите объектов культурного наследия (в качестве приложения) с обобщением требований норматив-

ных документов по пожарной безопасности и опыта разработки специальных технических условий на подобные объекты.

В перспективе при разработке чек-листов могут быть использованы усовершенствованные формы Паспорта памятника истории и культуры и Учетной карточки объекта, приведенные в “Инструкции о порядке учета, обеспечения сохранности, содержания, использования и реставрации недвижимых памятников истории и культуры” [23].

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: 10.01.2018).
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: 10.01.2018).
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: 15.01.2018).
4. СП 112.13330.2011. Пожарная безопасность зданий и сооружений. URL: <http://docs.cntd.ru/document/871001022> (дата обращения: 15.01.2018).
5. СП 258.1311500.2016. Объекты религиозного назначения. Требования пожарной безопасности. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456042677> (дата обращения: 15.01.2018).
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: 10.01.2018).
7. ТСН 30-306–2002 Санкт-Петербурга. Реконструкция и застройка исторически сложившихся районов Санкт-Петербурга. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200031464> (дата обращения: 10.01.2018).
8. О внесении изменений в положение о федеральном государственном пожарном надзоре : постановление Правительства Российской Федерации от 29.06.2017 № 774. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_219511/ (дата обращения: 07.03.2018).
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: 10.01.2018).
10. 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.
11. 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.
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: 15.01.2018).
13. Еремина Т. Ю., Тихонова Н. В. Пожарная безопасность исторических зданий // Пожарная безопасность. — 2017. — № 2. — С. 99–107.
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. Холицевников В. В., Самошин Д. А. Эвакуация и поведение людей при пожарах. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2009. — 212 с.
18. Холицевников 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. — СПб., 2004. — 177 с.
21. Богданов А. В. Фундаментальные основы и частные задачи пожарной защиты музеев // Системы безопасности. — 2014. — № 5. — С. 128–131.
22. Мушлакова С. В. Совершенствование противопожарной защиты музейных объектов : дис. ... канд. техн. наук. — М., 2002. — 212 с.
23. Инструкция о порядке учета, обеспечения сохранности, содержания, использования и реставрации недвижимых памятников истории и культуры : приказ Министерства культуры СССР от 13.05.1986 № 203. URL: <http://docs.cntd.ru/document/9013052> (дата обращения: 07.03.2018).

Материал поступил в редакцию 5 апреля 2018 г.

Для цитирования: Присадков В. И., Еремина Т. Ю., Богданов А. В., Сушкова О. В., Тихонова Н. В. Обзор международных нормативных документов, регламентирующих правила пожарной безопасности для объектов исторического и культурного наследия // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 5. — С. 7–16. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.05.7-16.

English

REVIEW OF INTERNATIONAL NORMATIVE FIRE SAFETY REQUIREMENTS FOR HISTORIC AND 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, 12, Balashikha, Moscow Region, 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 Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: main@stopfire.ru)

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

SUSHKOVA O. V., Head of Fire Safety Department, State Hermitage Museum (Dvortsovaya Emb., 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

Introduction. Fire protection system design for cultural heritage objects in Russian Federation is regulated by normative documents and regional construction norms. Russian Federation Government Regulation on 29.06.2017 No. 774 approved using of check-lists at planned inspection for protected objects, with key issues concerning obligatory requirements for safety of health and life, cultural heritage objects, environment, including potential external hazards (natural and man-made emergency situations).

Check-lists are also used by museums presenting their collections for temporary and touring exhibitions. Check-list data allow estimating of accepting museum condition. Check-list use in international normative documentation is analyzed in this work.

Methodical materials. Documents developed by CFPA and NFPA are considered.

Results and discussion. In common these lists include fire compartmentation, fire and smoke spread restriction, safe evacuation, fire protection systems at the object. Some documents present information on potential hazard, which can be used for probabilistic fire risk assessment at the object. Probabilistic approach is based on rational comparison of fire hazard factors, human safety level, expected damage and loss and finally fire protection costs.

NFPA standards also present scenario for fire protection estimation method at cultural heritage objects. Various aspects are ranked in points, and objects are grouped by expert assessment. Recommendations and remedial measures are developed for each group.

Conclusion. Check-lists analyzed in the paper (or developed on basis of them) can be included in Code of practice for fire protection of cultural heritage objects, with consolidation of fire safety requirements in normative documents and Regulation development experience for such objects.

Keywords: cultural heritage object; modern use; fire safety; check-list; probabilistic fire risk assessment.

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 January 2018).
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 January 2018).
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 15 January 2018).
4. Set of rules 112.13330.2011. *Fire safety of buildings and works* (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/871001022> (Accessed 15 January 2018).
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 15 January 2018).
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 January 2018).
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 January 2018).
8. *On amendments to fire safety inspection service decree.* Russian Federation Government Regulation on 29.06.2017 No. 774 (in Russian). Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_219511/ (Accessed 7 March 2018).
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 January 2018).
10. 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.
11. NFPA 914. *Code for fire protection of historic structures.* 2015 Edition. Quincy, MA, National Fire Protection Association, 2014. 256 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 (in Russian) (ed. on 02.12.2015). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902167776> (Accessed 15 January 2018).
13. Eremina T. Yu., Tikhonova N. V. Fire safety of historic buildings. *Pozharnaya bezopasnost / Fire Safety*, 2017, no. 2, pp. 99–107 (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. 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 Russian Publ., 2009. 212 p. (in Russian).
18. Kholshchevnikov V. V., Prasadkov 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).
23. *Instruction on accounting procedure, protection, keeping, use and restoration for historic and cultural monuments*. Ministry of Culture of USSR Order on 13.05.1986 No. 203 (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/9013052> (Accessed 7 March 2018).

For citation: Prasadkov V. I., Eremina T. Yu., Bogdanov A. V., Sushkova O. V., Tikhonova N. V. Review of international normative fire safety requirements for historic and cultural heritage objects. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 5, pp. 7–16 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.05.7-16.

Н. Ю. ЗУЕВ, соискатель факультета научно-педагогических кадров, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: n.u.zuev@mail.ru)

Р. Ш. ХАБИБУЛИН, канд. техн. наук, доцент, начальник Учебно-научного комплекса автоматизированных систем и информационных технологий, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: kh-r@yandex.ru)

Д. В. ШИХАЛЕВ, канд. техн. наук, научный сотрудник отдела информационного обеспечения населения и технологий информационной поддержки РСЧС и пожарной безопасности, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: evacsystem@gmail.com)

С. В. ГУДИН, канд. техн. наук, научный сотрудник отдела информационного обеспечения населения и технологий информационной поддержки РСЧС и пожарной безопасности, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: sergey.gudin@firerisks.ru)

УДК 1082:004

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ЭКСПЕРТНОГО ОПРОСА СПЕЦИАЛИСТОВ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ПОЖАРОВ НА ОБЪЕКТАХ ЗАЩИТЫ

Проведен опрос специалистов (экспертов) производственного объекта. Изучены результаты опроса специалистов. Представлено описание информационной технологии автоматизированного опроса специалистов, работников различных специальностей, работающих на пожароопасных участках объектов нефтегазовой отрасли. Проведен анализ полученных данных на типовом объекте хранения и переработки нефтепродуктов, выявлены их закономерности. Осуществлена статистическая обработка полученных результатов.

Ключевые слова: компьютерная экспертная система; опрос; нефтегазовая отрасль; база знаний; пожароопасные ситуации.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.05.17-25

Введение

На многих объектах защиты существует одна из немаловажных проблем — недостаток или отсутствие высококвалифицированных специалистов, имеющих соответствующее профессиональное образование, знания, опыт, которые способны своевременно предотвратить, спрогнозировать пожароопасную ситуацию, предложить необходимые меры по снижению пожарного риска, а также минимизировать последствия от пожара (аварии).

Анализ разбора пожаров (описание пожаров) показал, что к наиболее распространенным категориям лиц, виновных в возникновении пожара, относятся работники различных специальностей (19 %), которые не являются специалистами в области пожарной безопасности. Для получения минимального объема знаний в данной сфере, а также для подсказки в различных сложных ситуациях этим работникам необходима помощь более опытных специалистов (экспертов) в достаточно узкой области.

Для решения проблем, связанных с “кадровым голодом” на пожароопасных производственных объектах нефтегазовой отрасли, предлагается использовать инструмент, позволяющий накапливать знания, усваивать опыт специалистов и экспертов в виде компьютерной экспертной системы поддержки принятия решений [1–8]. В данную программу входит база данных, включающая в себя статистику по пожарам на данных объектах защиты, их описание, данные об отказах технологического оборудования, результаты опросов, а также базу знаний [9–17].

Научно-исследовательской группой проводились исследования в рамках выявления закономерностей причин пожаров — источников зажигания, изделий и устройств, от которых возникал пожар [18]. Для успешного определения этих закономерностей проанализированы статистические данные по пожарам, происшедшим с 2001 по 2015 гг. на производственных объектах складирования нефти и нефтепродуктов.

Методика опроса специалистов-экспертов

Целью экспертного оценивания являлось наполнение базы знаний разрабатываемой компьютерной экспертной системы, позволяющей специалистам

своевременно принимать меры по предотвращению пожаров и снижению пожарной опасности [19].

В качестве модераторов экспертного оценивания выступали специалисты Академии ГПС МЧС России. В их задачу входило разъяснение цели и за-

Таблица 1. Вопросы, представленные на экспертное оценивание

Table 1. Questions submitted for expert evaluation

№ п/п No.	Вопрос Question	Варианты ответа Possible answers
1	Расставьте основные источники зажигания (изделие и устройство), от которых непосредственно может возникнуть пожар, по степени их значимости в порядке убывания Arrange the main sources of ignition (product and device) from which directly there can be a fire, in terms of their significance in descending order	Легковоспламеняющаяся жидкость (ЛВЖ), горючая жидкость (ГЖ) / Highly flammable liquid, combustible liquid Электроинструмент / Electric tools Газовая установка, прибор, плита / Gas installation, appliance, cooker Технологический аппарат / Technological apparatus Газосварочный инструмент / Gas welding tool
2	Расставьте основные причины пожаров, возможных на вашем предприятии, расположите их по степени их значимости в порядке убывания Arrange the main causes of fires possible in your company, arrange them according to the degree of their importance in descending order	Нарушение правил пожарной безопасности (ППБ) при проведении электрогазосварочных работ / Violation of fire safety rules during welding operations Неосторожное обращение с огнем / Careless handling of fire Нарушение технологического регламента процесса производства / Violation of the technological regulations of the production process Разряд статического электричества / Discharge of static electricity Нарушение ППБ при проведении огневых работ / Violation of fire safety rules during fire works
3	Перечислите наиболее пожароопасные факторы, характеризующие технологию хранения, по степени их значимости в порядке убывания List the most fire hazard factors, characterizing the storage technology, in terms of their significance in descending order	Разгерметизация / Depressurization Перекачка нефтепродуктов / Pumping of oil products Ремонт / Repairs
4	Перечислите газоопасные работы на вашем предприятии, которые являются наиболее пожароопасными, по степени их опасности в порядке убывания List gas hazardous works in your company, which are the most fire hazardous, in terms of their degree of danger in descending order	Разгерметизация технологического оборудования / Depressurization of process equipment Разгерметизация коммуникаций / Depressurization of communications Осмотр, чистка, ремонт / Inspection, cleaning, repair Выделение в рабочую зону взрыво- и пожароопасных или вредных паров, газов и других веществ / Allocation into the working area of explosive and fire hazardous or harmful vapors, gases and other substances
5	Перечислите факторы, которые могут повлиять на причину пожара, по степени их значимости в порядке убывания List factors, which can affect the cause fire, in terms of their significance in descending order	Нарушение правил пожарной безопасности / Violation of fire safety rules Нарушение правил хранения / Violation of retention rules Нарушение технологического регламента процесса / Violation of the technological regulations of the process
6	Перечислите человеческие факторы (со стороны персонала), которые могут повлиять на возникновение пожара, по степени их значимости List human factors (from the staff), which can affect the occurrence of fire in terms of their significance in descending order	Несоблюдение правил технологического регламента / Non-observance of the rules of technological regulations Неосторожное обращение с огнем / Careless handling of fire Поджог, террористический акт / Arson, terrorist act

дач экспертного оценивания, вопросов и вариантов ответов. Эксперты проводили оценивание очно, в период с 3 по 18 апреля 2017 г., каждый по одному разу. В качестве способа получения оценок был выбран известный метод индивидуального анкетирования с использованием компьютерной программы [20]. В качестве способа оценки полученных результатов был использован метод ранжирования. Оценивание осуществлялось с помощью разработанной автоматизированной информационной системы [21], в которой предлагались вопросы, представленные в табл. 1.

В качестве экспертов выступали сотрудники одного из типовых предприятий складирования нефти и нефтепродуктов, соответствующие следующим категориям: работники различных специальностей (плотники, электрики, электро- и газосварщики, сантехники, ремонтники) и инженерно-технические работники (главный механик, инженеры производственно-технического отдела, операторы товара (заправщики)). Выбор таких категорий работников обусловлен тем, что их вина в возникновении пожаров в совокупности составляет 28 % (согласно Федеральному банку данных “Пожары” за 2001–2015 гг.) [22]. Всего на предприятии трудится 17 чел. данной категории (генеральная совокупность). Таким образом, с учетом доверительной вероятности 95 % требуемый размер выборки составляет 16 чел.

Результаты и их обсуждение

По результатам анкетирования получены оценки (в виде ранжирования по степени важности) по вопросам, представленным в табл. 1. Перед рассмотрением полученных результатов проведена оценка их согласованности. В качестве метода оценки был определен коэффициент конкордации Кендалла [23], применяемый в случае наличия более двух вариантов ответов.

Процедура оценки согласованности мнений экспертов осуществлялась следующим образом. Определялись значения вариантов ответа M и количество экспертов D . Вычислялась сумма среднего из рангов (оценок) $\bar{r}$ по каждому варианту ответа m . После этого подсчитывался коэффициент конкордации Кендалла W , который показывает степень согласованности мнений экспертов и вычисляется по выражению

$$W = \frac{12S}{d^2(m^3 - m)}, \quad (1)$$

$$S = \sum_{i=1}^m \left(\sum_{s=1}^d r_{is} - \bar{r} \right)^2; \quad (2)$$

r_{is} — ранг, присваиваемый s -м экспертом ($s \in D$) i -му объекту ($i \in M$).

Таблица 2. Результаты определения согласованности мнений экспертов

Table 2. Results of the consistency of expert opinions

Номер вопроса (табл. 1) Question number (table 1)	M	D	$\bar{r}$	S	W	χ^2	$\chi^2_{\text{табл}}$ χ^2_{table}
1	5	16	48	1918	0,749	47,95	9,48
2	5	16	48	1826	0,713	45,65	9,48
3	3	16	32	314	0,613	19,63	5,99
4	4	16	40	930	0,726	34,88	7,81
5	3	16	32	326	0,637	20,37	5,99
6	3	16	32	338	0,66	21,13	5,99

Так, $W = 0$ означает полное отсутствие согласованности в мнениях экспертов, $W = 1$ — полную согласованность их мнений. Граничным условием выступает значение $W = 0,5$, т. е. при $W > 0,5$ выводы экспертов в большей степени согласованы между собой, чем не согласованы.

Выполнена также проверка гипотезы о согласии мнений экспертов, для принятия которой необходимым условием является неравенство $\chi^2 > \chi^2_{\text{табл}}$. В случае выполнения данного условия считается, что гипотеза о согласии экспертов в ранжировках принимается.

В табл. 2 представлены результаты определения согласованности мнений экспертов.

Результаты, приведенные в табл. 2, показывают, что по каждому вопросу мнения экспертов являются согласованными, а гипотеза о согласии экспертов в ранжировках принимается.

Перейдем к рассмотрению полученных в ходе обработки данных ранжировок (рис. 1–6).

По результатам исследования эксперты определили, что наиболее распространенными источниками зажигания (изделие и устройство), от которых

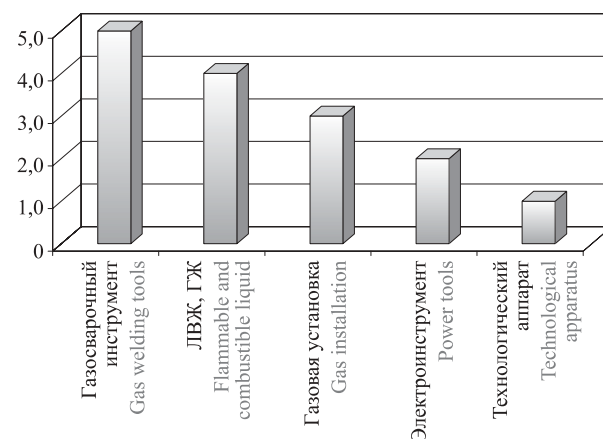


Рис. 1. Результаты ранжирования по вопросу № 1

Fig. 1. Results of ranking on issue No. 1

непосредственно может возникнуть пожар, по степени их значимости (вероятности) в порядке убывания являются (см. рис. 1): газосварочный инструмент — ЛВЖ, ГЖ — газовая установка, прибор, плита — электроинструмент — технологический аппарат.

Согласно статистическим данным по пожарам в Российской Федерации [22] наиболее распространенными источниками возникновения пожара являются: ЛВЖ, ГЖ — 34 %; технологический аппарат — 6 %; сигарета, спички, зажигалка — 5 %; кабель, электропровод — 3 %; автоматический выключатель — 2 %. Как видим, *результаты опросов специалистов на конкретном объекте защиты незначительно отличаются* от официальных статистических данных.

По результатам исследования эксперты (специалисты) установили, что наиболее распространенными причинами возможных на предприятии пожаров, расположенными по степени их значимости, являются (см. рис. 2): нарушение правил пожарной безопасности (далее — ППБ) при проведении огневых работ — нарушение ППБ при проведении электрогазосварочных работ — неосторожное обращение с огнем — разряд статического электричества — нарушение технологического процесса производства.

Согласно статистическим данным по пожарам в Российской Федерации наиболее распространенными причинами пожаров, применимыми к объектам складирования нефти и нефтепродуктов, являются: нарушение ППБ при проведении электрогазосварочных работ — 21 %; неосторожное обращение с огнем — 16 %; нарушение технологического регламента процесса производства — 13 %; нарушение

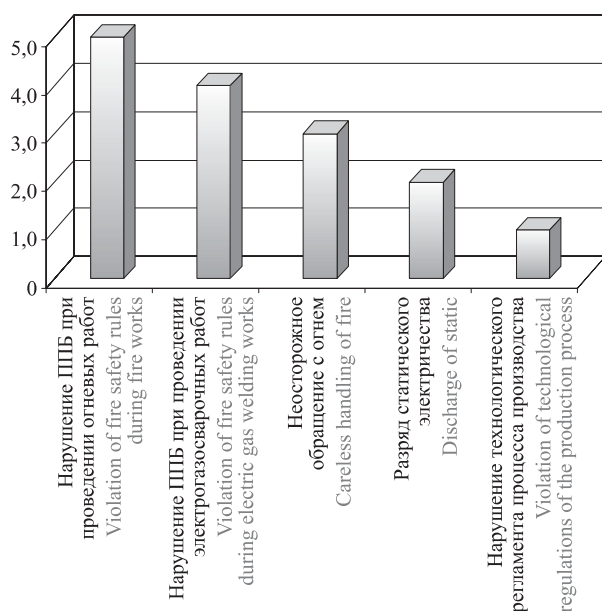


Рис. 2. Результаты ранжирования по вопросу № 2
Fig. 2. Results of ranking on issue No. 2

правил технической эксплуатации электрооборудования — 9 %; разряд статического электричества — 8 %; нарушение ППБ при проведении огневых работ — 7 %.

Таким образом, специалисты обращают внимание на особую опасность *при проведении огневых работ, при этом количество пожаров по данной причине за рассматриваемый период является минимальным.*

По результатам исследования эксперты определили, что наиболее распространенными пожароопасными факторами, характеризующими технологию хранения, по степени их значимости в порядке убывания являются: разгерметизация — перекачка нефтепродуктов — ремонт (см. рис. 3).

По результатам ранжирования по вопросу № 4 экспертами установлены наиболее пожароопасные газоопасные работы по степени их опасности в порядке убывания: выделение газа в рабочую зону — разгерметизация оборудования — разгерметизация коммуникаций — осмотр, чистка, ремонт.

По результатам исследования эксперты определили, что наиболее распространенными факторами, которые могут повлиять на причину пожара, по сте-

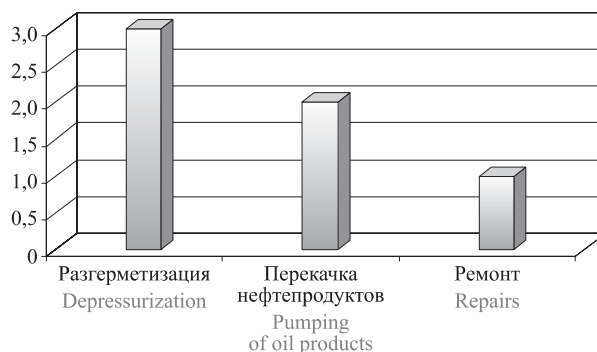


Рис. 3. Результаты ранжирования по вопросу № 3
Fig. 3. Results of ranking on issue No. 3

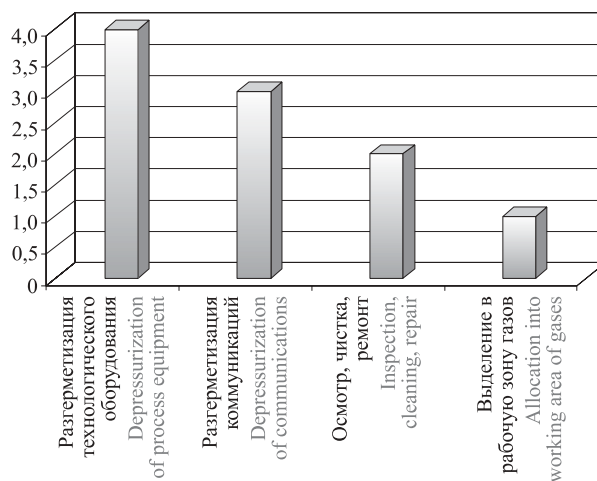


Рис. 4. Результаты ранжирования по вопросу № 4
Fig. 4. Results of ranking on issue No. 4

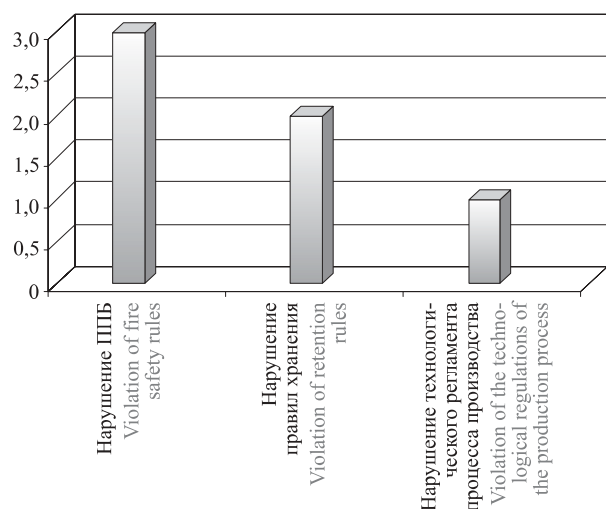


Рис. 5. Результаты ранжирования по вопросу № 5

Fig. 5. Results of ranking on issue No. 5

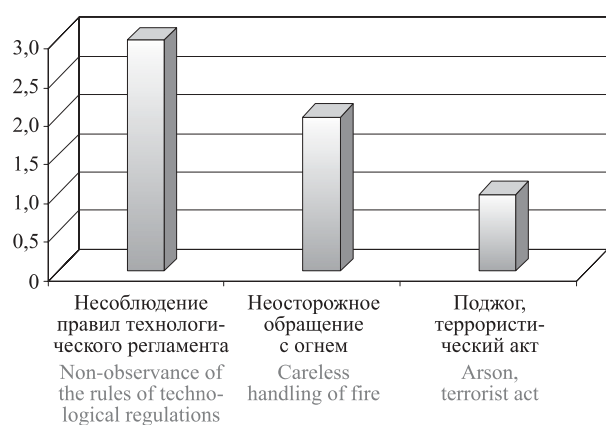


Рис. 6. Результаты ранжирования по вопросу № 6

Fig. 6. Results of ranking on issue No. 6

пени их значимости в порядке убывания являются: нарушение ППБ — нарушение правил хранения — нарушение технологического регламента процесса.

По результатам исследования установлено, что наиболее распространенными человеческими факторами, которые могут повлиять на возникновение

пожара, по степени их значимости являются: поджог, террористический акт — неосторожное обращение с огнем — несоблюдение правил технологического регламента.

По завершении опроса специалистов все ответы сохраняются и помещаются в базу данных компьютерной программы. Оператор (пользователь) программы извлекает интересующие его данные и проводит собственный анализ полученных результатов.

Результаты опроса позволяют сформировать и выявить закономерности, определить слабые места в системе обеспечения пожарной безопасности, в отношении которых требуется применить первоочередные мероприятия, направленные на восстановление (поддержание) пожаробезопасного состояния конкретного объекта защиты.

Заключение

Полученные при опросе специалистов-экспертов данные позволяют сформировать базу данных экспертной системы поддержки принятия решений для предотвращения пожаров на объектах нефтегазовой отрасли. Логические связи вопросов и ответов можно обобщить и выявить определенные закономерности, которые необходимо идентифицировать как полученные знания [24].

При полном насыщении базы знаний ожидается, что данная компьютерная экспертная система позволит пользователю правильно и своевременно идентифицировать пожароопасную ситуацию на обслуживаемом объекте защиты, получить необходимую информационно-аналитическую поддержку для их предотвращения.

На завершающей стадии исследования планируется дальнейшая апробация разработанной информационной технологии на объектах нефтегазовой отрасли. По их результатам будет проведено обобщение разработанных моделей и алгоритмов управления пожарной безопасностью на производственных объектах нефтегазовой отрасли с использованием компьютерных экспертных систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Осипов Г. С. Динамические интеллектуальные системы // Искусственный интеллект и принятие решений. — 2008. — № 1. — С. 47–54.
2. Серебровский А. Н. О формировании баз знаний экспертных систем оценки техногенной опасности : материалы 8-й Международной конференции “Интеллектуальный анализ информации — ИАИ–2008” (Киев). — Киев : Просвіта, 2008. — С. 422–430.
3. Юсупова Н. И., Шахматова Г. Р., Еникеева К. Р. Модели представления знаний для идентификации опасностей промышленного объекта // Вестник УГАТУ. — 2008. — Т. 11, № 1. — С. 91–100.
4. Khan F., Rathnayaka S., Ahmed S. Methods and models in process safety and risk management: past, present and future // Process Safety and Environmental Protection. — 2015. — Vol. 98. — P. 116–147. DOI: 10.1016/j.psep.2015.07.005.

5. Данеев А. В., Жигалов Н. Ю., Шварц-Зиндер С. Н. Диагностическая экспертиза оболочки для нужд информационного обеспечения проведения пожарно-технических экспертиз // Вестник Восточно-Сибирского института МВД России. — 2009. — № 3(50). — С. 96–101.
6. Supriadi L. S. R., Pheng L. S. Knowledge Based Decision Support System (KBDSS) // Business Continuity Management in Construction. Management in the Built Environment. — Singapore : Springer, 2018. — P. 155–174. DOI: 10.1007/978-981-10-5487-7_7.
7. Walia A., Singhal N., Sharma A. K. A novel e-learning approach to add more cognition to semantic Web // IEEE International Conference on Computational Intelligence & Communication Technology (13–14 February 2015, Ghaziabad, India). — Piscataway, New Jersey, US : IEEE, 2015. — P. 13–17. DOI: 10.1109/cict.2015.15.
8. Акинин Н. И., Булхов Н. Н., Гериш В. А. Статистический анализ причин аварий и травматизма на опасных производственных объектах // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2010. — Т. 19, № 10. — С. 53–55.
9. Watts J. M., Hall J. R. Introduction to fire risk analysis // SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. — New York, NY : Springer, 2016. — P. 2817–2826. DOI: 10.1007/978-1-4939-2565-0_72.
10. Hanea D. M., Jagtman H. M., Ale B. J. M. Analysis of the Schiphol Cell Complex fire using a Bayesian belief net based model // Reliability Engineering & System Safety. — 2012. — Vol. 100. — P. 115–124. DOI: 10.1016/j.ress.2012.01.002.
11. Mohammadfam I., Zarei E. Safety risk modeling and major accidents analysis of hydrogen and natural gas releases: A comprehensive risk analysis framework // International Journal of Hydrogen Energy. — 2015. — Vol. 40, No. 39. — P. 13653–13663. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2015.07.117.
12. Sandercock P. M. L. Fire investigation and ignitable liquid residue analysis — A review: 2001–2007 // Forensic Science International. — 2008. — Vol. 176, No. 2–3. — P. 93–110. DOI: 10.1016/j.forsciint.2007.09.004.
13. Necci A., Cozzani V., Spadoni G., Khan F. Assessment of domino effect: State of the art and research needs // Reliability Engineering & System Safety. — 2015. — Vol. 143. — P. 3–18. DOI: 10.1016/j.ress.2015.05.017.
14. Тростянский С. Н., Зенин Ю. Н., Минаев В. А., Скрыль С. В., Бакаева Г. А. Оценка вероятности возникновения пожаров на основе математической модели, учитывающей факторы, определяющие долю нарушителей требований пожарной безопасности среди собственников объектов // Пожарная безопасность. — 2013. — № 2. — С. 86–91.
15. Козлова Т. Д. Экспертная система поддержки процесса диагностирования автоматических станочных модулей : дис. ... канд. техн. наук. — Саратов, 2013. — 144 с.
16. Bhoskar T., Kulkarni O. K., Kulkarni N. K., Patekar S. L., Kakandikar G. M., Nandedkar V. M. Genetic algorithm and its applications to mechanical engineering: A review // Materials Today: Proceedings. — 2015. — Vol. 2, No. 4–5. — P. 2624–2630. DOI: 10.1016/j.matpr.2015.07.219.
17. Milov V. R., Suslov B. A., Kryukov O. V. Intellectual management decision support in gas industry // Automation and Remote Control. — 2011. — Vol. 72, No. 5. — P. 1095–1101. DOI: 10.1134/s0005117911050183.
18. Назаров В., Коротовских Я. Прогнозирование пожаровзрывоопасности объектов НГК при помощи компьютерных технологий // ТехНадзор. — 2011. — № 7(56). — С. 54–55.
19. Зуев Н. Ю., Хабибулин Р. Ш., Рыженко А. А. Компьютерная реализация экспертной системы для расследования пожаров на объектах нефтепереработки // Технологии техносферной безопасности. — 2015. — Вып. 2(60). — С. 73–77. URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2015-2/34-02-15.ttb.pdf> (дата обращения: 12.01.2018).
20. Орлов А. И. Экспертные оценки : учебное пособие. — М., 2002. — 31 с.
21. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2016615884. Программа для сбора экспертных данных в области обеспечения пожарной безопасности объектов складирования нефти и нефтепродуктов / Хабибулин Р. Ш., Картавцев К. А., Зуев Н. Ю. — № 2016613345; заявл. 05.04.2016; опублик. 20.06.2016.
22. Федеральный банк данных “Пожары” : Федеральная государственная информационная система. URL: <http://www.mchs.gov.ru/document/219031> (дата обращения: 12.01.2018).
23. Kendall M. G., Smith B. Babington. The problem of m rankings // The Annals of Mathematical Statistics. — 1939. — Vol. 10, No. 3. — P. 275–287. DOI: 10.1214/aoms/1177732186.
24. Хабибулин Р. Ш., Картавцев К. А., Зуев Н. Ю. Подсистема управления знаниями в системе пожарной безопасности объектов нефтепереработки // Системы безопасности-2015 : матер. 24-й Междунар. науч.-техн. конф. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2015. — С. 461–462.

Материал поступил в редакцию 20 января 2018 г.

Для цитирования: Зуев Н. Ю., Хабибулин Р. Ш., Шихалев Д. В., Гудин С. В. Информационная технология экспертного опроса специалистов нефтегазовой отрасли для предотвращения пожаров на объектах защиты // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 5. — С. 17–25. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.05.17-25.

English

INFORMATION TECHNOLOGY OF EXPERT POLL OBSERVATION OF OIL AND GAS INDUSTRIAL SPECIALISTS FOR PREVENTION OF FIRE ON PROTECTION OBJECTS

ZUEV N. Yu., Competitor of Faculty of Scientific and Pedagogical Staff, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: n.u.zuev@mail.ru)

KHABIBULIN R. Sh., Candidate of Technical Sciences, Docent, Head of Information Technologies Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: kh-r@yandex.ru)

SHIKHALEV D. V., Candidate of Technical Sciences, Researcher of Educational-Scientific Complex of Automated Systems and Information Technologies, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: evacsystem@gmail.com)

GUDIN S. V., Candidate of Technical Sciences, Researcher of Educational-Scientific Complex of Automated Systems and Information Technologies, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: sergey.gudin@firerisks.ru)

ABSTRACT

Introduction. At many protection facilities one of the most important problems is the lack or absence of highly qualified specialists with the appropriate professional education, knowledge and experience that can prevent in a timely manner, predict the fire hazard situation, suggest the necessary measures to reduce fire risk, and minimize the consequences from a fire.

Studies were carried out in the framework of the identification of the causes of ignition sources, products and devices that caused a fire. To determine these regularities, an analysis of statistical data on fires that occurred between 2001 and 2015 was carried out at production facilities for storing oil and oil products.

Methods. The expert's goal was to fill the knowledge base of the developed computer expert system, which allows specialists to take timely measures to prevent fires and reduce fire danger. As moderators of expert appraisal, experts of State Fire Service Academy of Emercom of Russia acted. Their task was to clarify the purpose, tasks of expert evaluation, questions and answers. As experts, employees of one of the typical oil and petroleum product storage facilities, corresponding to the following categories: workers of various specialties (carpenters, electricians, electric and gas welders, plumbers, repairmen) and engineers and technicians (chief mechanic, engineers of the production and technical department, the goods operator (refuellers)).

Results and discussion. The data obtained as a result of the survey allows us to identify patterns, identify weaknesses in the fire safety system for which priority actions are required, and also to create a database of expert decision support systems. Logical links between questions and answers can be generalized and identified certain regularities that need to be identified as acquired knowledge.

Conclusions. With full knowledge base saturation, this expert system will allow the user to correctly and timely identify a fire hazard situation on the protected object, receive the necessary information and analytical support to prevent them.

Keywords: computer expert system; interview; oil and gas industry; knowledge base; fire-hazardous situations.

REFERENCES

1. Osipov G. S. Intelligent dynamic systems. *Scientific and Technical Information Processing*, 2010, vol. 37, no. 5, pp. 259–264 (in Russian).
2. Serebrovskiy A. N. About the formation of knowledge bases of expert systems for assessing man-made hazards. In: *Intellektualnyy analiz informatsii. VIII Mezhdunarodnaya konferentsiya* [Intelligent Information Analysis. Proceedings of VIII International Conference]. Kiev, Prosvita Publ., 2008, pp. 422–430 (in Russian).
3. Yusupova N. I., Shakhmametova G. R., Enikeeva K. R. Knowledge representation models for identification of dangers of industrial objects. *Vestnik UGATU / Bulletin of Ufa State Aviation Technical University*, 2008, vol. 11, no. 1, pp. 91–100 (in Russian).
4. Khan F., Rathnayaka S., Ahmed S. Methods and models in process safety and risk management: past, present and future. *Process Safety and Environmental Protection*, 2015, vol. 98, pp. 116–147. DOI: 10.1016/j.psep.2015.07.005.
5. Daneev A. V., Zhigalov N. Yu., Schwarz-Zinder S. N. Diagnostic expert casing for the needs of information for fire-technical expertise. *Vestnik Vostochno-Sibirskogo instituta MVD Rossii / Vestnik of the Eastern Siberia Institute of the Ministry of the Interior of the Russian Federation*, 2009, no. 3(50), pp. 96–101 (in Russian).
6. Supriadi L. S. R., Pheng L. S. Knowledge Based Decision Support System (KBDSS). In: *Business Continuity Management in Construction. Management in the Built Environment*. Singapore, Springer, 2018, pp. 155–174. DOI: 10.1007/978-981-10-5487-7_7.
7. Walia A., Singhal N., Sharma A. K. A novel e-learning approach to add more cognition to semantic Web. *IEEE International Conference on Computational Intelligence & Communication Technology* (13–14 February 2015, Ghaziabad, India). Piscataway, New Jersey, US, IEEE, 2015, pp. 13–17. DOI: 10.1109/cict.2015.15.
8. Akinin N. I., Bulhov N. N., Gerish V. A. The statistical analysis of reasons of accident and industrial injuries on dangerous industrial objects. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2010, vol. 19, no. 10, pp. 53–55 (in Russian).
9. Watts J. M., Hall J. R. Introduction to fire risk analysis. In: *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. New York, NY, Springer, 2016, pp. 2817–2826. DOI: 10.1007/978-1-4939-2565-0_72.
10. Hanea D. M., Jagtman H. M., Ale B. J. M. Analysis of the Schiphol Cell Complex fire using a Bayesian belief net based model. *Reliability Engineering & System Safety*, 2012, vol. 100, pp. 115–124. DOI: 10.1016/j.res.2012.01.002.
11. Mohammadfam I., Zarei E. Safety risk modeling and major accidents analysis of hydrogen and natural gas releases: A comprehensive risk analysis framework. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2015, vol. 40, no. 39, pp. 13653–13663. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2015.07.117.
12. Sandercock P. M. L. Fire investigation and ignitable liquid residue analysis — A review: 2001–2007. *Forensic Science International*, 2008, vol. 176, no. 2–3, pp. 93–110. DOI: 10.1016/j.forsciint.2007.09.004.
13. Necci A., Cozzani V., Spadoni G., Khan F. Assessment of domino effect: State of the art and research needs. *Reliability Engineering & System Safety*, 2015, vol. 143, pp. 3–18. DOI: 10.1016/j.res.2015.05.017.
14. Trostyanskiy S. N., Zenin Yu. N., Minaev V. A., Skryl S. V., Bakayeva G. A. Evaluation of the fire occurrence probability based on the mathematical model taking into account the factors defining the share of offenders of the fire security requirements in the facility owners. *Pozharnaya bezopasnost / Fire Safety*, 2013, no. 2, pp. 86–91 (in Russian).
15. Kozlova T. D. *Expert system for supporting the process of diagnosing automatic machine modules*. Cand. tech. sci. diss. Saratov, 2013. 144 p. (in Russian).
16. Bhoskar T., Kulkarni O. K., Kulkarni N. K., Patekar S. L., Kakandikar G. M., Nandedkar V. M. Genetic algorithm and its applications to mechanical engineering: A review. *Materials Today: Proceedings*, 2015, vol. 2, no. 4–5, pp. 2624–2630. DOI: 10.1016/j.matpr.2015.07.219.
17. Milov V. R., Suslov B. A., Kryukov O. V. Intellectual management decision support in gas industry. *Automation and Remote Control*, 2011, vol. 72, no. 5, pp. 1095–1101. DOI: 10.1134/s0005117911050183.
18. Nazarov V., Korotovskikh Ya. Forecasting fire and explosion hazard of NGK objects using computer technology. *Tekhnadzor / Technical Supervision*, 2011, no. 7(56), pp. 54–55 (in Russian).
19. Zuev N. Yu., Khabibulin R. Sh., Ryzhenko A. A. Computer implementation of expert system to investigate the fire on objects of oil refining. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti / Technology of Technosphere Safety*, 2015, issue 2(60), pp. 73–77 (in Russian). Available at: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2015-2/34-02-15.ttb.pdf> (Accessed 12 January 2018).

20. Orlov A. I. *Ekspertnyye otsenki. Uchebnoye posobiye* [Expert assessments. Tutorial]. Moscow, 2002. 31 p. (in Russian).
21. Khabibulin R. Sh., Kartavtsev K. A., Zuev N. Yu. *The program for data collection in the field of fire safety of oil and petroleum products storage facilities*. Certificate of State Registration of the Computer Program RU, no. 2016615884, publ. date 20.06.2016 (in Russian).
22. *Federal Data Bank "Fires". Federal State Information System* (in Russian). Available at: <http://www.mchs.gov.ru/document/219031> (Accessed 12 January 2018).
23. Kendall M. G., Smith B. Babington. The problem of m rankings. *The Annals of Mathematical Statistics*, 1939, vol. 10, no. 3, pp. 275–287. DOI: 10.1214/aoms/1177732186.
24. Khabibulin R. Sh., Kartavtsev K. A., Zuev N. Yu. Knowledge management subsystem in the fire safety system of oil refining facilities. In: *Sistemy bezopasnosti–2015. Materialy 24-y Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Security Systems–2015. Proceedings of 24th International Scientific-Technical Conference]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2015, pp. 461–462 (in Russian).

For citation: Zuev N. Yu., Khabibulin R. Sh., Shikhalev D. V., Gudim S. V. Information technology of expert poll observation of oil and gas industrial specialists for prevention of fire on protection objects. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 5, pp. 17–25 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.05.17-25.



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

Н. Г. ТОПОЛЬСКИЙ, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры информационных технологий в составе УНК автоматизированных систем и информационных технологий, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: N.Topolskiy@academygps.ru)

Д. В. ТАРАКАНОВ, канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры пожарной тактики и основ аварийно-спасательных и других неотложных работ в составе УНК "Пожаротушение", Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России (Россия, 153040, г. Иваново, просп. Строителей, 33; e-mail: den-pgsm@mail.ru)

М. О. БАКАНОВ, канд. техн. наук, начальник кафедры пожарной тактики и основ аварийно-спасательных и других неотложных работ в составе УНК "Пожаротушение", Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России (Россия, 153040, г. Иваново, просп. Строителей, 33; e-mail: mask-13@mail.ru)

УДК 614.842.4,614.849

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ МОНИТОРИНГА ПОЖАРА В ЗДАНИИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНЫМИ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯМИ

Представлена многокритериальная модель мониторинга пожара в здании, предназначенная для формализованного описания процесса сбора информации об изменении значений контролируемых параметров для иерархических систем мониторинга. Рассмотрена специфика изменения параметров мониторинга пожара на основе программной реализации разработанной модели. Предложена мультипликативная модель обобщенного показателя мониторинга для зон контроля с различными по структуре и динамике параметрами мониторинга. Для реализации результатов мониторинга в системах поддержки принятия решений разработана модель теоретико-множественного анализа вариантов управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров, учитывающая важность показателей мониторинга на результирующую функцию принятия решений. Предложены направления дальнейшего развития методологической составляющей процесса моделирования мониторинга пожара в целях повышения объективности принимаемых управленческих решений и снижения влияния субъективных факторов на процесс управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров в зданиях.

Ключевые слова: система мониторинга пожара; моделирование динамики параметров; система поддержки принятия решений; теоретико-множественный анализ; варианты управления; тушение пожаров в зданиях и сооружениях.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.05.26-33

Введение

Крупный пожар является одним из наиболее опасных деструктивных событий, возникающих в процессе жизнедеятельности человечества. Ежегодно прямой материальный ущерб от пожаров в Российской Федерации измеряется миллиардами рублей, более десяти тысяч человек гибнет на пожарах [1]. Большинство крупных пожаров происходит в зданиях. Специфика процесса тушения пожара в здании определяет решающую роль действий первого прибывшего пожарно-спасательного подразделения в недопущении развития пожара до крупного. В соответствии с нормативно-правовой базой, регулирующей вопросы обеспечения пожарной безопасности в Российской Федерации, здания оборудуются

системами и средствами пожарной автоматики, которые являются основополагающими компонентами активной противопожарной защиты зданий и относятся к средствам ведения боевых действий по тушению пожаров [2, 3].

Современное состояние вопроса развития систем и средств пожарной автоматики направлено на расширение их функциональных возможностей и одновременный контроль изменения нескольких параметров пожара, что с формальных позиций теории управления сложными системами можно считать многокритериальным мониторингом пожара в здании [4]. В свою очередь, результаты мониторинга пожара имеют особое значение при принятии решений руководителем тушения пожара, особенно на начальной стадии его развития, когда он еще может

быть потушен силами и средствами первого прибывшего пожарно-спасательного подразделения [5–8].

В соответствии с концепцией единого информационного пространства результаты мониторинга пожара являются компонентой, используемой для управления службами экстренного реагирования на деструктивные события, возникающие в социально-экономической среде. Однако практический аспект управления на основе мониторинга пожара предусматривает использование данного вида информации лишь в системе поддержки принятия решений (далее — СППР).

Стоит отметить, что теоретическая основа разработки и применения СППР предусматривает в качестве источника информации для управления математические модели процессов развития и тушения пожара и/или формализацию экспертного мнения, а результаты мониторинга пожара, в свою очередь, находятся за пределами методического сопровождения СППР. В связи с этим актуальной представляется научная задача, состоящая в разработке многокритериальных моделей мониторинга пожара в здании и их систематизации с моделями принятия решений, используемыми для разработки СППР при тушении пожаров в зданиях.

Для решения поставленной задачи необходимы:

- 1) разработка информационно-аналитической модели мониторинга пожара;
- 2) реализация модели в многокритериальной системе принятия решений.

Совокупность результатов решения поставленной задачи позволит внедрить в информационно-аналитическую составляющую СППР результаты мониторинга пожара в здании, снизить влияние субъективных факторов на процесс управления, повысить оперативность принятия решений, что в динамично меняющейся обстановке на пожаре играет решающую роль в успехе ликвидации пожара на начальной стадии его развития.

Разработка модели мониторинга пожара

Специфика мониторинга пожара в здании с использованием средств пожарной автоматики определяет деление общей площади мониторинга на зоны контроля и наблюдение за одним или несколькими параметрами пожара в каждой конкретной зоне. Результаты мониторинга представляют собой совокупность состояний наблюдаемого параметра в каждой из этих зон. Принципиальная схема мониторинга и его иерархическая структура представлены на рисунке.

Таким образом, специфика мониторинга пожара в здании позволяет заключить, что каждый конкретный вариант действий по тушению пожара в здании,

основанный на результатах мониторинга, будет характеризоваться m показателями наблюдений, для каждого из которых получена векторная оценка для n зон контроля.

Для принятия решений на основе результатов многокритериального мониторинга пожара необходимо иметь представление об изменении каждого из параметров мониторинга. Для получения такой информации в системе мониторинга пожара необходима математическая модель, описывающая в первом приближении процесс изменения параметров мониторинга во времени. Концепция мониторинга пожара предусматривает деление объекта мониторинга на зоны контроля и рассмотрение каждой из них в отдельности с учетом одновременного наблюдения за несколькими параметрами пожара. В связи с этим оценка динамики параметров мониторинга возможна на основе теории клеточных автоматов, в которой совокупность зон и параметров контроля может быть описана системой дифференциальных уравнений.

Тогда каждая из зон контроля будет являться отдельным объектом клеточного автомата с делением по функциональным особенностям на начальную зону контроля, в которой интенсивность изменения параметра мониторинга имеет наибольшие значения, и смежные зоны контроля.

Изменение параметра мониторинга пожара p в зонах контроля определяется по формулам:

- в начальной зоне:

$$\Delta p_0(\tau) = p_0(\tau) - p^0 = p^* [1 - \exp(-Z_0(\tau))]; \quad (1)$$

- в смежной зоне:

$$\Delta p_j(\tau) = p_j(\tau) - p^0 = \frac{\sum_{i=1, \dots, s} n_{ij} p_i(\tau)}{\sum_{i=1, \dots, s} n_{ij}} \times \left[1 - \exp\left(-Z_j(\tau) \sum_{i=1, \dots, s} n_{ij}\right) \right], \quad (2)$$

где $p(\tau)$ — параметр мониторинга пожара;

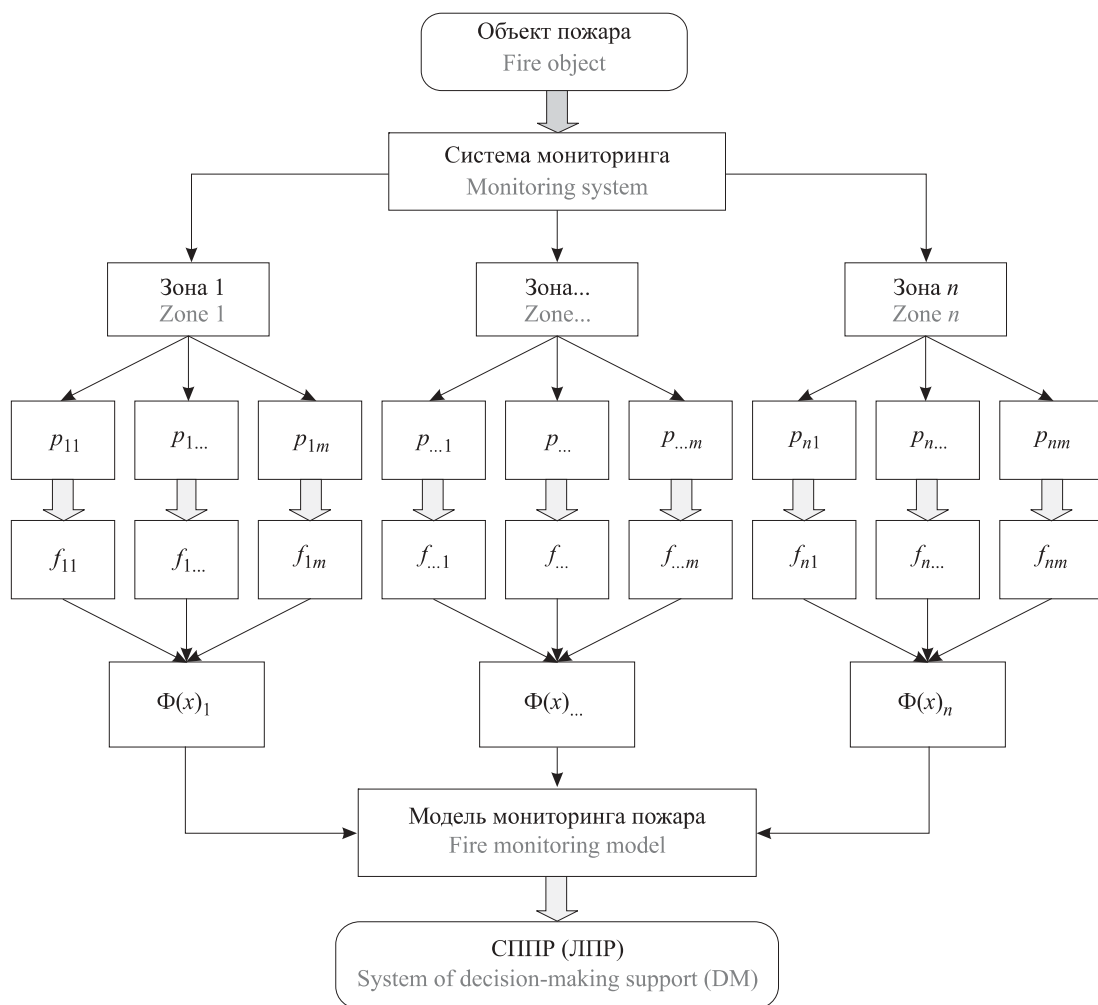
p^0, p^* — начальное и пороговое значения параметра мониторинга пожара;

n_{ij} — коэффициент обмена между зонами контроля i и j ;

s — количество зон контроля в системе мониторинга;

Z_0, Z_j — интенсивность изменения параметров мониторинга пожара в зонах 0 и j .

Стоит отметить, что параметры мониторинга в многокритериальной системе различны по структуре и динамике, поэтому в качестве источника информации для принятия решений необходимо рассматривать нормированные показатели мониторинга f_i , значения которых измеряются по единой количест-



Принципиальная схема применения результатов мониторинга пожара в системе поддержки принятия решений: ЛПР — лицо, принимающее решение

Layout of application of fire monitoring results in the system of decision-making support: DM — decision maker

венной шкале. При переходе от параметра p_i к f_i применимы все известные способы нормализации, однако в качестве рекомендаций на основе опыта разработки СППР можно заключить, что наилучший результат при решении данной задачи дает модель интервальной нормализации.

Разработанная модель мониторинга реализована в виде программного средства. Результаты исследования процесса мониторинга с использованием его компьютерной реализации показали, что, как правило, функция динамики параметра мониторинга имеет экспоненциальный вид. Поэтому в качестве обобщенного критерия мониторинга пожара может быть использована мультипликативная функция $\Phi(x)$, которая записывается следующим образом:

$$\Phi(x) = \prod_{i=1}^m f_i^{\omega_i}(x), \quad (3)$$

где x — варианты управленческих решений;

ω_i — коэффициенты важности i -го нормированного параметра мониторинга пожара; $\sum_{i=1}^m \omega_i = 1$.

Внедрение результатов мониторинга в модели принятия решений

В общей концепции проектирования и практического применения СППР под принятием решений понимают процесс выбора одного или нескольких вариантов из множества имеющихся в распоряжении ЛПР [9, 10]. Такая вербальная постановка задачи принятия решений позволяет рассматривать два объекта модели данного процесса:

- множество вариантов действий:

$$x_i \in X, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad n \geq 2;$$

- множество оценок вариантов по показателям мониторинга пожара:

$$F(X) = f_1(X) \times f_2(X) \times \dots \times f_m(X),$$

где X — исходное множество вариантов в модели принятия решений.

Теоретико-множественный анализ вариантов решений предусматривает построение структуры многомерных подмножеств с указанием рекомен-

даций для окончательного выбора варианта решения в СППР [11–17].

Для реализации результатов мониторинга пожара при теоретико-множественном анализе вариантов решений необходимо рассматривать структуру, состоящую из трех подмножеств, взаимосвязанных последовательными включениями [10]:

$$C(X) \subset P_G(X) \subset P_F(X) \subset X, \quad (4)$$

где $C(X)$ — множество выбранных вариантов;

$P_F(X)$ — множество вариантов и их оценок по показателям мониторинга $F = \{f_1, f_2, \dots, f_m\}$;

$P_G(X)$ — множество вариантов и их оценок по показателям мониторинга с учетом коэффициентов важности $G = \{g_1, g_2, \dots, g_m\}$.

При учете коэффициентов важности в результатах мониторинга каждый новый показатель мониторинга $G = \{g_1, g_2, \dots, g_m\}$ состоит из линейных комбинаций:

$$g_{ij}(x) = f_i(x)^{\theta_j} f_j(x)^{1-\theta_j}, \quad j = 1, 2, \quad (5)$$

где θ_j — коэффициент относительной важности критериев.

Коэффициенты модели теоретико-множественного анализа θ_j рассчитываются на основе коэффициентов важности ω_j функции (3) по формуле

$$\theta_j = k(1 - \omega_j), \quad (6)$$

где k — количество линейных комбинаций параметров мониторинга F .

Таким образом, появляется возможность использовать в классической модели теоретико-множественного анализа вариантов принятия решений ре-

зультаты мониторинга пожара и тем самым повысить объективность модели за счет частичного или полного исключения субъективных факторов [18–21].

Выводы

Мониторинг пожара является одним из источников объективной дополнительной информации для повышения эффективности действий пожарно-спасательных подразделений при тушении пожаров в зданиях. Для внедрения результатов мониторинга пожара в СППР решена задача, состоящая в разработке многокритериальной модели мониторинга пожара в здании и предложены способы ее использования при теоретико-множественном анализе вариантов управления пожарно-спасательными подразделениями.

Разработанная модель учитывает специфику изменения параметров мониторинга пожара в иерархических системах с учетом важности показателей в результирующей функции принятия решений.

Совокупность полученных результатов позволяет повысить объективность управления пожарно-спасательными подразделениями с использованием СППР и частично или полностью исключить субъективные факторы, влияющие на качество принимаемых решений.

Многокритериальная модель мониторинга предназначена для контроля параметров пожара в здании на основе стационарных средств мониторинга. Систематизация данных, полученных с мобильных средств мониторинга, в предложенной модели является направлением дальнейшего совершенствования ее методологической составляющей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брушлинский Н. Н., Соколов С. В., Вагнер П. Человечество и пожары (краткий очерк). — М. : ИПЦ “Маска”, 2007. — 124 с.
2. Топольский Н. Г., Хабибуллин Р. Ш., Рыженко А. А., Бедило М. В. Адаптивная система поддержки деятельности центров управления в кризисных ситуациях : монография. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2014. — 151 с.
3. Терещев В. В., Богданов А. Е., Семенов А. О., Тараканов Д. В. Принятие решений при управлении силами и средствами на пожаре. — Екатеринбург : ООО “Издательство “Калан”, 2012. — 100 с.
4. Терещев В. В., Семенов А. О., Смирнов В. А., Тараканов Д. В. Анализ и поддержка решений при тушении крупных пожаров // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2010. — Т. 19, № 9. — С. 51–57.
5. Минаев В. А., Топольский Н. Г., Фадеев А. О., Бондарь К. М., Мокшанцев А. В. Геодинамические риски и строительство. Математические модели : монография. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2017. — 208 с.
6. Терещев В. В. Расчет параметров развития и тушения пожаров. — Екатеринбург : ООО “Издательство “Калан”, 2011. — 460 с.
7. Терещев В. В., Семенов А. О., Тараканов Д. В. Теоретические основы принятия решений при управлении силами и средствами на пожаре // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2012. — Т. 21, № 10. — С. 14–17.

8. Ермилов А. В. Модель формирования профессионально значимых личностных качеств курсантов на занятиях по дисциплине “Пожарная тактика” в учебных и спасательных центрах МЧС России // Вестник Владимирского государственного университета им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых. Серия: Педагогические и психологические науки. — 2015. — № 20(39). — С. 60–68.
9. Подиновский В. В., Ногин В. Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач : монография. — М. : Физматлит, 2007. — 256 с.
10. Ногин В. Д. Принятие решений в многокритериальной среде. Количественный подход : монография. — М. : Физматлит, 2004. — 176 с.
11. Sanae Khali Issa, Abdellah Azmani, Benaissa Amami. Vulnerability analysis of fire spreading in a building using fuzzy logic and its integration in a decision support system // International Journal of Computer Applications. — 2013. — Vol. 76, No. 6. — P. 48–53. DOI: 10.5120/13255-0732.
12. Hao Cheng, George V. Hadjisophocleous. The modeling of fire spread in buildings by Bayesian network // Fire Safety Journal. — 2009. — Vol. 44, No. 6. — P. 901–908. DOI: 10.1016/j.firesaf.2009.05.005.
13. Mehdi Ben Lazreg, Jaziar Radianti, Ole-Christoffer Granmo. Smart rescue: architecture for fire crisis assessment and prediction // Proceedings of the 12th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management (ISCRAM 2015) (Kristiansand, Norway, May 24–27, 2015). 7 p. URL: <http://iscram2015.uia.no/wp-content/uploads/2015/05/10-1.pdf> (дата обращения: 05.04.2018).
14. Lee E. W. M. Application of artificial neural network to fire safety engineering // Handbook on Decision Making. Intelligent Systems Reference Library / L. C. Jain, C. P. Lim (eds.). — Berlin, Heidelberg : Springer, 2010. — Vol. 4. — P. 369–395. DOI: 10.1007/978-3-642-13639-9_15.
15. Lee E. W. M., Lau P. C., Yuen K. K. Y. Application of artificial neural network to building compartment design for fire safety // Intelligent Data Engineering and Automated Learning — IDEAL 2006. Lecture Notes in Computer Science / Corchado E., Yin H., Botti V., Fyfe C. (eds.). — Berlin, Heidelberg : Springer, 2006. — Vol. 4224. — P. 265–274. DOI: 10.1007/11875581_32.
16. Xiaodong Chen, Yongjun Liu, Yangyang Liu. The fire vulnerability evaluation of the old building based on fuzzy comprehensive assessment method // Proceedings of the 3rd International Conference on Material, Mechanical and Manufacturing Engineering. — Atlantis Press, 2015. — P. 642–647. DOI: 10.2991/ic3me-15.2015.125.
17. David Mendonça, Giampiero E. G. Beroggi, Daan van Gent, William A. Wallace. Designing gaming simulations for the assessment of group decision support systems in emergency response // Safety Science. — 2006. — Vol. 44, Issue 6. — P. 523–535. DOI: 10.1016/j.ssci.2005.12.006.
18. Minkin D. Yu., Sineshchuk Yu. I., Terekhin S. N., Yusharov K. S. A method of constructing a structured database of the typical objects of protection on the basis of cluster analysis // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. — 2017. — Vol. 95, No. 20. — P. 5331–5339.
19. Markus Scholz, Dawud Gordon, Leonardo Ramirez, Stephan Sigg, Tobias Dyrks, Michael Beigl. A concept for support of firefighter frontline communication // Future Internet. — 2013. — Vol. 5, Issue 2. — P. 113–127. DOI: 10.3390/fi5020113.
20. Xing Zhi-xiang, Gao Wen-li, Zhao Xiao-fang, Zhu De-zhi. Design and implementation of city fire rescue decision support system // Procedia Engineering. — 2013. — Vol. 52. — P. 483–488. DOI: 10.1016/j.proeng.2013.02.172.
21. Lauras M., Benaben F., Truptil S., Charles A. Event-cloud platform to support decision-making in emergency management // Information Systems Frontiers. — 2015. — Vol. 17, Issue 4. — P. 857–869. DOI: 10.1007/s10796-013-9475-0.

Материал поступил в редакцию 15 апреля 2018 г.

Для цитирования: Топольский Н. Г., Тараканов Д. В., Баканов М. О. Многокритериальная модель мониторинга пожара в здании для управления пожарно-спасательными подразделениями // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 5. — С. 26–33. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.05.26-33.

MULTI-CRITERIA MODEL FOR MONITORING OF FIRE IN THE BUILDING FOR MANAGING FIRE-RESCUE SUBDIVISIONS

TOPOLSKIY N. G., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of IT-Department of Automated Systems and Informational Technologies, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: N.Topolskiy@academygps.ru)

TARAKANOV D. V., Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of Fire Tactics and Bases of Emergency Rescue and Other Urgent Works Department within the Academic and Research complex (ARC) "Fire Extinguishing", Ivanovo Fire and Rescue Academy of State Firefighting Service of Emercom of Russia (Stroiteley Avenue, 33, Ivanovo, 153040, Russian Federation; e-mail: den-pgsm@mail.ru)

BAKANOV M. O., Candidate of Technical Sciences, Head of Fire Tactics and Bases of Emergency Rescue and Other Urgent Works Department within the Academic and Research complex (ARC) "Fire Extinguishing", Ivanovo Fire and Rescue Academy of State Firefighting Service of Emercom of Russia (Stroiteley Avenue, 33, Ivanovo, 153040, Russian Federation; e-mail: mask-13@mail.ru)

ABSTRACT

Introduction. The article considers issues relating to improvement of activities as to extinguishing of major fires by manpower and resources of fire-rescue units for the account of additional information support of officials with the emergency system of control over results of objective remote monitoring of fire in the building. A complex of fire monitoring results is considered as a component of integrated informational space for the control of emergency services reacting at destructive events in social environment.

Development of monitoring model. A class of hierarchical multi-criteria systems of fire monitoring has been considered. In such systems, a multi-criteria model for monitoring fire in the building is developed for formalized description of the process of collection of information on altering values of fire parameters. The model represents a complex of analytical solutions of a system of differential equations which describe alteration of monitoring parameters during fire development. The model is implemented as software with which help evaluation of alteration of fire monitoring parameters is performed and their exponential temporal relationship is detected.

Implementation of results. In order to account monitoring results, in decision-making models methods of monitoring parameter normalization are suggested. For various monitoring parameters in terms of structure and dynamics a multiplicative model of a complex monitoring index is developed. The developed model is adapted to be introduced into systems of decision-making support in terms of set-theoretic analysis of variants for controlling fire-rescue units when extinguishing fires.

Conclusions. Results of set-theoretic analysis of variants for controlling, allowed on a qualitative level to account relative importance of monitoring indices over resulting function of decision making. The following is suggested: trends for further development of methodological component of monitoring of fire in buildings aimed at increase of objectivity of the managerial decisions being made as well as for decrease of impact of human factors upon the process of control of fire-rescue subdivisions when extinguishing fires in buildings.

Keywords: fire monitoring system; simulation of parameter dynamics; system of decision-making support; set-theory analysis; variants of control; fire extinguishing in buildings and constructions.

REFERENCES

1. Brushlinskiy N. N., Sokolov S. V., Wagner P. *Chelovechestvo i pozhary (kratkiy ocherk)* [Mankind and fires (brief notation)]. Moscow, IPTs "Maska" Publ., 2007. 124 p. (in Russian).
2. Topolskiy N. G., Khabibulin R. Sh., Ryzhenko A. A., Bedilo M. V. *Adaptivnaya sistema podderzhki deyatel'nosti tsentrov upravleniya v krizisnykh situatsiyakh. Monografiya* [Adaptive system of support of activities of Crisis Management Centers. Monograph]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., Moscow, 2014. 151 p. (in Russian).

3. Terebnev V. V., Bogdanov A. E., Semenov A. O., Tarakanov D. V. *Prinyatiye resheniy pri upravlenii silami i sredstvami na pozhare* [Decision-making within management of manpower and resources at fire]. Yekaterinburg, Kalan Publ., 2012. 100 p. (in Russian).
4. Terebnev V. V., Semenov A. O., Smirnov V. A., Tarakanov D. V. Analysis and support solutions that arise when putting out large fires. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2010, vol. 19, no. 9, pp. 51–57 (in Russian).
5. Minaev V. A., Topolskiy N. G., Fadeev A. O., Bondar K. M., Mokshantsev A. V. *Geodinamicheskiye riski i stroitelstvo. Matematicheskiye modeli. Monografiya* [Geodynamic risks and construction. Mathematical models. Monograph]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2017. 208 p. (in Russian).
6. Terebnev V. V. *Raschet parametrov razvitiya i tusheniya pozharov* [Calculation of parameters of fire spread and extinguishing]. Yekaterinburg, Kalan Publ., 2011. 460 p. (in Russian).
7. Terebnev V. V., Semenov A. O., Tarakanov D. V. Decision making theoretical basis of management on fire. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 10, pp. 14–17 (in Russian).
8. Ermilov A. V. The model of professionally significant personal qualities of cadets formation at the training lessons of “Fire tactics” discipline in training and rescue centers of Emercom of Russia. *Vestnik Vladimirovskogo gosudarstvennogo universiteta im. Aleksandra Grigoryevicha i Nikolaya Grigoryevicha Stoletovkh. Seriya: Pedagogicheskiye i psikhologicheskiye nauki / Vestnik of Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs*, 2015, no. 20(39), pp. 60–68 (in Russian).
9. Podinovskiy V. V., Nogin V. D. *Pareto-optimalnyye resheniya mnogokriterialnykh zadach. Monografiya* [Pareto-efficient solutions of multi-criteria tasks. Monograph]. Moscow, Fizmatlit Publ., 1982. 256 p. (in Russian).
10. Nogin V. D. *Prinyatiye resheniy v mnogokriterialnoy srede. Kolichestvennyy podkhod. Monografiya* [Decision-making in multi-criteria environment. Quantitative approach. Monograph]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2004. 176 p. (in Russian).
11. Sanae Khali Issa, Abdellah Azmani, Benaissa Amami. Vulnerability analysis of fire spreading in a building using fuzzy logic and its integration in a decision support system. *International Journal of Computer Applications*, 2013, vol. 76, no. 6, pp. 48–53. DOI: 10.5120/13255-0732.
12. Hao Cheng, George V. Hadjisophocleous. The modeling of fire spread in buildings by Bayesian network. *Fire Safety Journal*, 2009, vol. 44, no. 6, pp. 901–908. DOI: 10.1016/j.firesaf.2009.05.005.
13. Mehdi Ben Lazreg, Jaziar Radianti, Ole-Christoffer Granmo. Smart rescue: architecture for fire crisis assessment and prediction. In: *Proceedings of the 12th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management — ISCRAM 2015* (Kristiansand, Norway, May 24–27, 2015). 7 p. Available at: <http://iscram2015.uia.no/wp-content/uploads/2015/05/10-1.pdf> (Accessed 5 April 2018).
14. Eric Wai Ming Lee. Application of artificial neural network to fire safety engineering. In: Jain L. C., Lim C. P. (eds.). *Handbook on Decision Making. Intelligent Systems Reference Library*. Berlin, Heidelberg, Springer, 2010, vol. 4, pp. 369–395. DOI: 10.1007/978-3-642-13639-9_15.
15. Lee E. W. M., Lau P. C., Yuen K. K. Y. Application of artificial neural network to building compartment design for fire safety. In: Corchado E., Yin H., Botti V., Fyfe C. (eds.). *Intelligent Data Engineering and Automated Learning — IDEAL 2006. Lecture Notes in Computer Science*. Berlin, Heidelberg, Springer, 2006, vol. 4224, pp. 265–274. DOI: 10.1007/11875581_32.
16. Xiaodong Chen, Yongjun Liu, Yangyang Liu. The fire vulnerability evaluation of the old building based on fuzzy comprehensive assessment method. In: *Proceedings of the 3rd International Conference on Material, Mechanical and Manufacturing Engineering*. Atlantis Press, 2015, pp. 642–647. DOI: 10.2991/ic3me-15.2015.125.
17. David Mendonça, Giampiero E. G. Beroggi, Daan van Gent, William A. Wallace. Designing gaming simulations for the assessment of group decision support systems in emergency response. *Safety Science*, 2006, vol. 44, issue 6, pp. 523–535. DOI: 10.1016/j.ssci.2005.12.006.
18. Minkin D. Yu., Sineshchuk Yu. I., Terekhin S. N., Yusherov K. S. A method of constructing a structured database of the typical objects of protection on the basis of cluster analysis. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 2017, vol. 95, no. 20, pp. 5331–5339.
19. Markus Scholz, Dawud Gordon, Leonardo Ramirez, Stephan Sigg, Tobias Dyrks, Michael Beigl. A concept for support of firefighter frontline communication. *Future Internet*, 2013, vol. 5, issue 2, pp. 113–127. DOI: 10.3390/fi5020113.

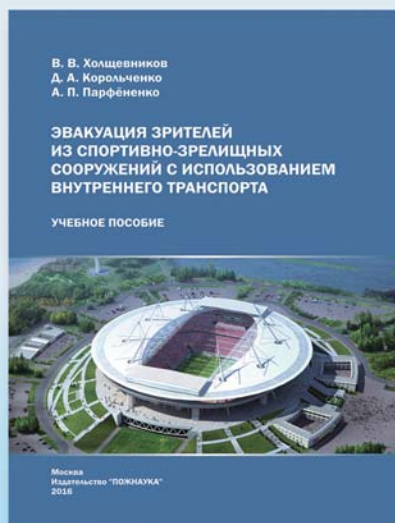
20. Xing Zhi-xiang, Gao Wen-li, Zhao Xiao-fang, Zhu De-zhi. Design and implementation of city fire rescue decision support system. *Procedia Engineering*, 2013, vol. 52, pp. 483–488. DOI: 10.1016/j.proeng.2013.02.172.
21. Lauras M., Benaben F., Truptil S., Charles A. Event-cloud platform to support decision-making in emergency management. *Information Systems Frontiers*, 2015, vol. 17, issue 4, pp. 857–869. DOI: 10.1007/s10796-013-9475-0.

For citation: Topolskiy N. G., Tarakanov D. V., Bakanov M. O. Multi-criteria model for monitoring of fire in the building for managing fire-rescue subdivisions. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 5, pp. 26–33 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.05.26-33.



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

Впервые в практике архитектурно-строительного преподавания рассмотрена методология учета важнейшего функционального процесса — движение 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

А. И. НЕДОБИТКОВ, канд. техн. наук, доцент кафедры информатики и математики, Казахский гуманитарно-юридический инновационный университет (Республика Казахстан, 070014, г. Усть-Каменогорск, ул. Астана, 48; e-mail: a.nedobitkov@mail.ru)

УДК 656.13;614.84

ОСОБЕННОСТИ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В АВТОМОБИЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

Показано, что пожары на автотранспортных средствах относятся к особо тяжелым происшествиям, поэтому проблема повышения их пожарной безопасности очень актуальна. Экспериментально проиллюстрировано, что при коротком замыкании в электрической цепи, содержащей аккумуляторные батареи типа 51АН/280А и 60АН/330А, в ряде случаев не происходит образования шарового оплавления у медного многопроволочного проводника сечением $0,75 \text{ мм}^2$, а наблюдается выгорание отдельных проволок проводника, прилипание их к стальной поверхности и разрушение в непосредственной близости от точки контакта. Приведены результаты исследования на растровом электронном микроскопе JSM-6390LV образцов медных многопроволочных проводников и стальной ленты, подвергшихся воздействию короткого замыкания при напряжении 12 и 24 В. Даны снимки поверхностей оплавления медных многопроволочных проводников и стальной ленты, подвергшихся воздействию короткого замыкания. Установлены характерные диагностические признаки, позволяющие методом растровой микроскопии идентифицировать причину повреждения при пожаре (высокотемпературное воздействие, короткое замыкание, токовая перегрузка) медного проводника в электрической цепи с напряжением 12 В. Установлено, что выявленные признаки являются устойчивыми и не подвержены изменениям в естественных условиях хранения автомобиля, получившего повреждения в результате термовоздействия.

Ключевые слова: пожар; растровая электронная микроскопия; диагностический признак; микрослед; судебная пожарно-техническая экспертиза; первичное короткое замыкание; вторичное короткое замыкание; токовая перегрузка; медный проводник.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.05.34-49

Введение

Пожары причиняют значительный материальный ущерб, в частности уничтожают или повреждают имущество, а также приводят к гибели и ранению людей. Ущерб от пожаров в промышленно развитых странах превышает 1 % национального дохода и имеет тенденцию к постоянному росту [1–3]. Пожары на автотранспортных средствах относятся к особо тяжелым происшествиям.

В ряде работ [4–8] показано, что пожарная опасность электросистемы автомобиля определяется тем, что ее отдельные элементы могут служить источником возгорания в случае возникновения аварийного режима в какой-либо функциональной цепи. Необходимо отметить, что по данным ВНИИПО в Российской Федерации наблюдается тенденция увеличения доли числа пожаров на транспортных средствах по причине технической неисправности. В частности, доля числа пожаров на легковых автомобилях из-за технической неисправности увеличилась с 15,7 % в 2001 г. до 34,0 % в 2010 г. А в 2012 г. в Российской Федерации суммарное число пожаров, происшедших в результате неисправности сис-

тем, механизмов и узлов транспортного средства, а также неисправности его электропроводки, составило 7718 (40,0 %). В работе [8] отмечается, что в отдельных судебно-экспертных учреждениях Федеральной противопожарной службы (СЭУ ФПС) МЧС России доля экспертиз пожаров на автомобилях достигает 40–50 % от общего количества поступивших материалов. Необходимо напомнить, что с 2013 г. в общемировом масштабе стартовала и в настоящее время реализуется программа автоматизации автотранспортных средств. Например, автомобиль Mercedes-Benz S 500 2016 г. выпуска конструктивно имеет только около 80 блоков управления различными электрическими устройствами. Согласно данной программе к 2020 г. автоматизация автотранспортных средств должна достичь высокого уровня, при котором отсутствует контроль за автомобилем со стороны водителя и он лишь изредка берет управление на себя. К 2025 г. автомобили должны достичь уровня полной автоматизации, при котором водителю не нужно управлять транспортным средством. Тем не менее практика свидетельствует, что даже на автомобилях с высоким уровнем авто-

матизации имеют место случаи возгорания, в частности известен случай пожара на электромобиле Tesla Model S.

Таким образом, разработка мероприятий по предотвращению пожаров на автотранспорте имеет важное значение [4–9]. Одним из видов профилактических мероприятий является пожарно-техническая экспертиза.

По мнению автора [10], экспертиза пожаров основана на комплексе специальных знаний, необходимых для исследования места пожара, отдельных конструкций, материалов, изделий и их обгоревших остатков в целях получения информации, необходимой для установления очага пожара, его причины, путей распространения горения, природы обгоревших остатков, а также для решения некоторых других задач, возникающих в ходе анализа причин, вызвавших пожар.

Следует заметить, что подавляющее число выводов судебных экспертов относительно технических причин возникновения пожаров на автотранспорте носит предположительный (вероятностный) характер, что не позволяет разрабатывать и внедрять конкретные инженерные решения [11]. Это можно объяснить многими причинами, в том числе отсутствием современных научно обоснованных методик, позволяющих однозначно определить, например, первичность или вторичность короткого замыкания. Это косвенно подтверждают И. Д. Чешко и Г. И. Смелков в работе [9], указывая на необходимость совершенствования существующих методик.

Как наглядно показано авторами [9, 10, 12], если в очаговой зоне обнаружены характерные признаки разрушения токоведущих проводов, то неизбежно возникает вопрос о механизме повреждения (электродуговой или тепловой) и, в частности, о первичности или вторичности короткого замыкания. По мнению многих авторов, данный вопрос далеко не прост. Попытки решить его с помощью инструментальных методов криминалисты предпринимали еще в 50-х годах прошлого столетия [9, 10, 12]. К сожалению, апробированная и научно обоснованная универсальная методика отсутствует до настоящего времени, несмотря на наличие ряда решенных частных задач [4–22].

Так, например, авторы работы [22] на основе многочисленных экспериментальных данных пришли к выводу, что круглые медные глобулы с четкими линиями разграничения, традиционно определяемые как “наплывы”, образовывались на проводах не только под напряжением, но и без него. На некоторых проводах под напряжением возникала дуга, приводящая к образованию таких глобул. В то же время у некоторых проводов без напряжения дуга отсутствовала, но наблюдались эти характерные на-

плывы [22]. Под микроскопом наплывы некоторых проводов под напряжением имели пористую структуру и содержали большое количество внутренних поровых пространств, в то время как в других наплывах последние отсутствовали. Авторы [22] отмечают, что эта же тенденция была характерна и для проводов без напряжения.

В работе [22] наглядно показано, что при изучении образцов под растровым электронным микроскопом установлено отсутствие у них тенденций к изменениям в структуре зерна или химических составах. Внутренние зерновые структуры наплывов были исследованы на предмет размеров элементов микроструктуры, пористости и основных изменений. Ни по одному из изученных физических аспектов наплывов не обнаружено каких-либо отличительных особенностей для образцов проводов под напряжением и без него [22]. Это мнение поддерживают такие исследователи, как V. Babrauskas, Kuan-Heng Liu, Yung-Hui Shih, Guo-Ju Chen и др., которые указывают на неспособность научного сообщества на современном этапе дифференцировать первичные и вторичные оплавления медных проводников [16, 18]. В частности, V. Babrauskas в работе [16], оперируя координатами очага пожара, подвергает критическому анализу результаты, полученные N. J. Carey [21] в отношении первичности или вторичности короткого замыкания.

В то же время необходимо отметить, что в работе [6] приведены фактические данные, позволяющие по характеру излома медного проводника в зоне оплавления дифференцировать причину разрушения, обусловленную электродуговым или тепловым процессом. Настоящая работа также посвящена установлению признаков, позволяющих идентифицировать причину разрушения медного проводника.

Целью работы является разработка научно обоснованного метода исследования медных проводников автомобильной электрической сети, разрушенных в результате короткого замыкания, для установления причины их повреждения в ходе пожарно-технической экспертизы.

Исходя из указанной цели, поставлены следующие задачи исследования:

- провести экспериментальные исследования по электродуговому разрушению медных проводников при напряжении 12 и 24 В;
- экспериментально подтвердить условия возникновения первичного короткого замыкания в автомобильной электрической сети;
- доказать, что на поверхности разрушения медного проводника, подвергнувшегося короткому замыканию, могут быть выявлены признаки, позволяющие идентифицировать электродуговой процесс;

- установить, что признаки, выявленные на поверхности разрушения медных проводников, подвергшихся короткому замыканию, являются устойчивыми и не подвержены изменениям в естественных условиях хранения (без умышленного уничтожения признаков);
- показать, что растровую микроскопию можно использовать при исследовании плавких вставок автомобильных предохранителей в качестве основного метода.

В настоящей статье рассматриваются фактические примеры исследования оплавлений медных проводников, подвергшихся короткому замыканию при напряжении 12 и 24 В.

Материалы и методы

Исследования проводились в Региональной университетской лаборатории инженерного профиля “ИРГЕТАС” Восточно-Казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева с использованием растрового электронного микроскопа JSM-6390LV с приставкой для энергодисперсионного микроанализа. Поверхности разрушения медных проводников подвергались анализу без предварительной пробоподготовки. Схема испытаний приведена на рис. 1.

По аналогии с работой [7] для имитации режима короткого замыкания использовался многопроволочный медный провод сечением 0,75 мм², как наиболее распространенный в автомобильных электрических сетях. Источником постоянного тока при напряжении 12 В служили аккумуляторные батареи 51Ан/280А и 60Ан/330А, как наиболее массовые по применению на современных легковых автомобилях, при напряжении 24 В — аккумуляторные батареи 6СТ190. Пусковой ток аккумуляторных батарей 51Ан/280А и 60Ан/330А равен соответственно 280 и 330 А, батареи 6СТ190 — 1150 А. Кузовную

деталь автомобиля имитировала стальная лента размером 52×20×0,8 мм. К отрицательному выводу аккумуляторной батареи посредством многопроволочного медного провода подключалась стальная лента, а к положительному — нагрузка в виде электрической лампочки. Для имитации короткого замыкания проводник располагался по касательной к поверхности ленты (см. рис. 1,б) и перпендикулярно к ней (см. рис. 1,в).

Результаты и их обсуждение

Результаты эксперимента по имитации короткого замыкания приведены на рис. 2. Классическое шаровое оплавление было получено только в случае расположения медного провода перпендикулярно к стальной ленте при напряжении 24 В от батареи 6СТ190 (см. рис. 2,а). При использовании аккумуляторных батарей 51Ан/280А и 60Ан/330А и напряжении 12 В происходило разрушение медных проводников без образования шаровых оплавлений (см. рис. 2,б и 2,в). При перпендикулярном расположении многопроволочного провода относительно поверхности ленты происходило спекание проволок с полным выгоранием их фрагментов (см. рис. 2,б).

При касательном расположении многопроволочного проводника относительно поверхности ленты происходило сплавление отдельных проволок друг с другом и стальной пластиной. Этот эффект был описан в работе [7] и назван залипанием. При этом в непосредственной близости от места залипания происходило разрушение проволок медного проводника с характерными признаками токовой перегрузки. На поверхности стальной ленты в случае как перпендикулярного, так и касательного расположения проводника отмечаются “кратеры” и капли расплавленного металла (см. рис. 2,в и 2,з). Необходимо также отметить, что в момент короткого замыкания нить накаливания электрической лампы, играющей роль

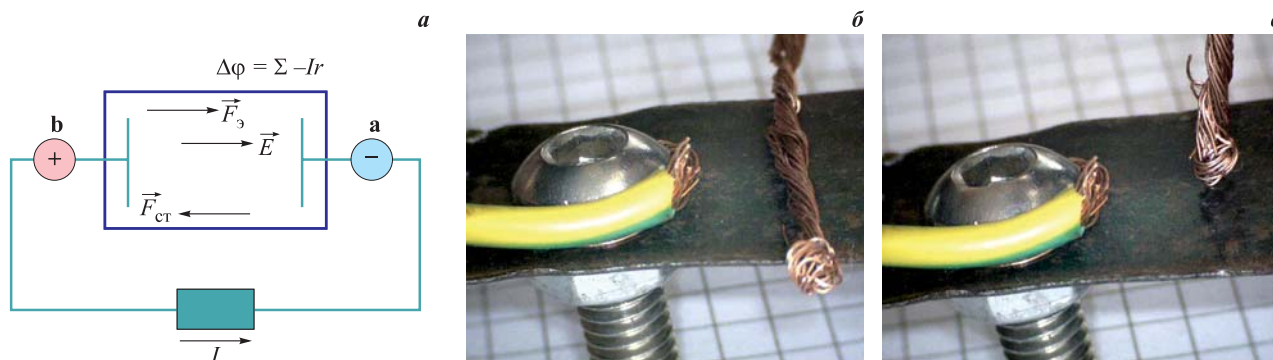


Рис. 1. Схема проведения испытаний: а — принципиальная схема (а — отрицательный вывод аккумуляторной батареи; б — положительный вывод аккумуляторной батареи; Σ — величина электродвижущей силы аккумуляторной батареи; I — сила тока; r — внутреннее сопротивление аккумуляторной батареи; $\Delta\phi$ — разность потенциалов; $\vec{E}$ — напряженность электрического поля внутри аккумуляторной батареи; $\vec{E}_3$ — электрическая сила; $\vec{E}_{ct}$ — сторонняя сила); б — медный провод расположен по касательной к поверхности стальной ленты; в — медный провод расположен перпендикулярно к поверхности стальной ленты

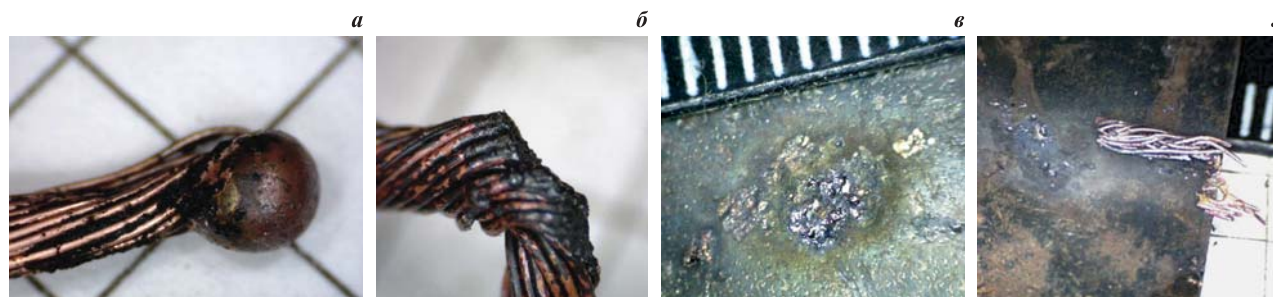


Рис. 2. Общий вид фрагментов медного проводника и стальной ленты, подвергшихся короткому замыканию: *а* — оплавление проводника при напряжении 24 В; *б* — разрушение проводника при напряжении 12 В; *в* — повреждение стальной ленты при перпендикулярном расположении проводника относительно ее поверхности; *г* — повреждение стальной ленты при касательном расположении проводника относительно ее поверхности



Рис. 3. Воздушный зазор, равный толщине изоляции провода, препятствует возникновению короткого замыкания в автомобильной электрической сети

нагрузки, переставала излучать свет. Данное обстоятельство свидетельствует о том, что потребителю в момент короткого замыкания не хватает необходимой мощности для работы.

Следует также отметить, что воздушный зазор между оголенным медным проводником и стальной лентой, равный толщине изоляции проводника (в данном случае около 0,4 мм), препятствует возникновению короткого замыкания, несмотря на то что по схеме рис. 1, *а* в цепи поддерживается напряжение от аккумуляторной батареи 51Ан/280А и нить накаливания электрической лампочки излучает свет (рис. 3).

В ходе морфологического исследования фрагмента оплавленного медного проводника (см. рис. 2, *а*), подвергнутого короткому замыканию при напряже-

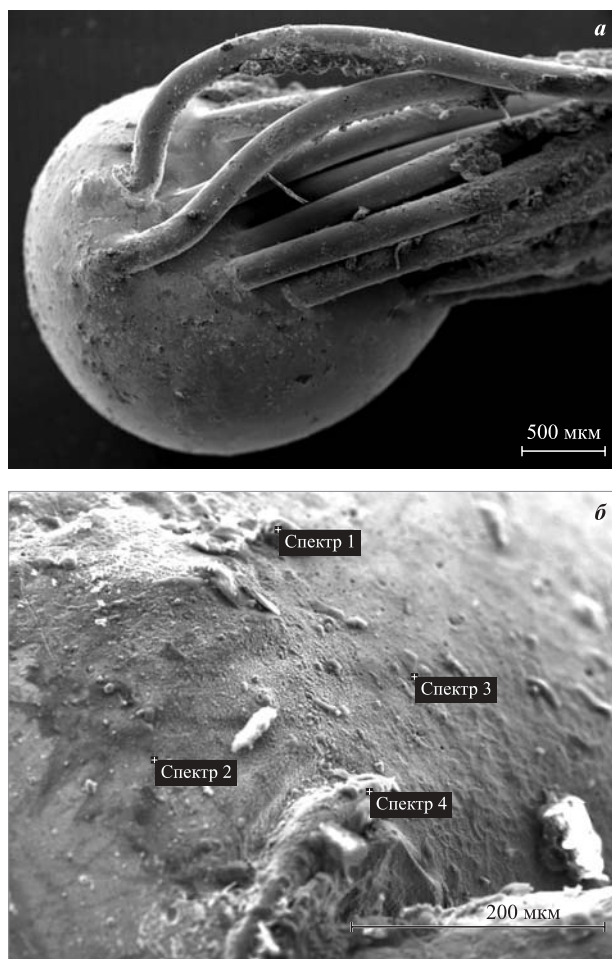


Рис. 4. Вид поверхности медного проводника, разрушенного в результате короткого замыкания при напряжении 24 В (см. рис. 2, *а*), при увеличении 35 $\times$ (*а*) и 200 $\times$ (*б*)

Таблица 1. Результаты микроанализа участка, приведенного на рис. 4, *б*

Номер точки измерения	Содержание химического элемента, % масс.						
	О	Mg	Al	Mn	Fe	Cu	Zn
Спектр 1	24,22	—	1,14	0,64	58,26	4,48	8,62
Спектр 2	29,64	1,17	1,92	—	6,66	21,18	37,10
Спектр 3	18,34	—	1,96	—	7,16	59,65	10,00
Спектр 4	1,96	—	2,88	—	—	95,16	—

нии 24 В от аккумуляторной батареи 6СТ190, при помощи растрового микроскопа JSM-6390LV установлено, что, помимо микропористости, на поверхности шарового оплавления имеются химические элементы, относящиеся к составу стальной ленты (рис. 4, табл. 1).

Как следует из табл. 1, на поверхности шарового оплавления наблюдаются такие химические элементы, как Fe, Zn, Mn, присущие стальной ленте.

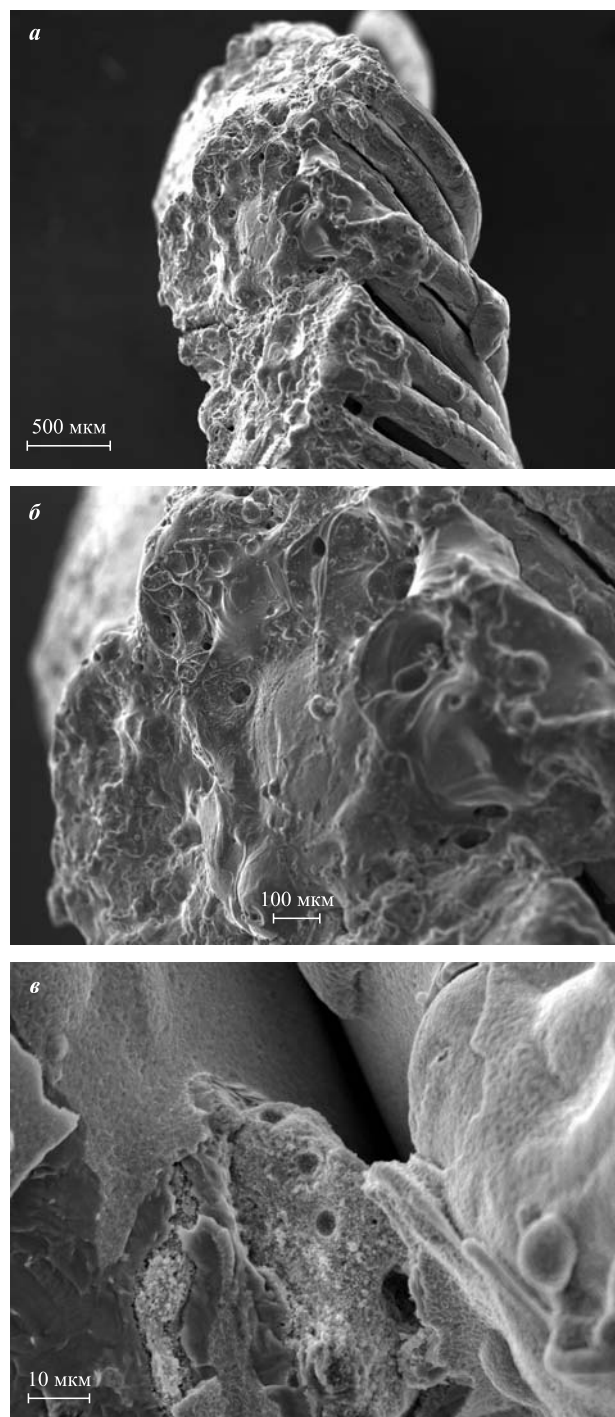


Рис. 5. Вид поверхности медного проводника, разрушенного в результате короткого замыкания при напряжении 12 В (см. рис. 2,б), при увеличении $37\times$ (а), $200\times$ (б) и $1300\times$ (в)

Причем железо на поверхности меди присутствует фрагментарно, в виде частиц шаровидной формы. Следует также отметить, что температура электродугового процесса выше температуры горения автомобиля, которая составляет около $950\text{ }^{\circ}\text{C}$. Таким образом, наличие на поверхности оплавленного медного проводника химических элементов, ранее ему не принадлежавших, может быть объяснено только протеканием электродугового процесса.

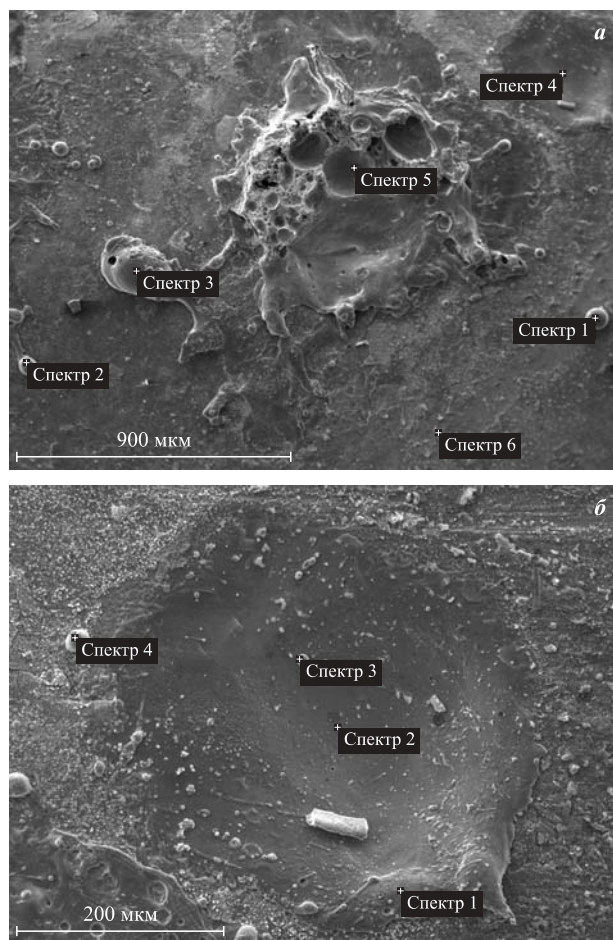


Рис. 6. Вид поверхности стальной ленты с медным проводником после короткого замыкания при напряжении 12 В (см. рис. 2,в и 2,з) при увеличении $60\times$ (а) и $220\times$ (б)

Исследованием разрушенного в результате короткого замыкания медного проводника при напряжении 12 В (см. рис. 2,б, рис. 5) установлено, что отдельные проводники сплавлены между собой, на оплавленной поверхности наблюдаются микропоры (см. рис. 5,б) и микролунки (см. рис. 5,в).

На рис. 6 приведены результаты исследования поверхности разрушения стальной ленты после короткого замыкания при напряжении 12 В (табл. 2).

Как следует из рис. 6,а и табл. 2, на участке короткого замыкания наблюдаются шарообразные и каплевидные частицы меди, а также фрагмент неправильной формы с лунками, состоящий из меди. На поверхности стальной ленты имеется “кратер” с ровным дном (см. рис. 6,б). Дно “кратера” на 50–72 % представляет собой железо (табл. 3), а по его краям расположены шарообразные и каплевидные частицы меди.

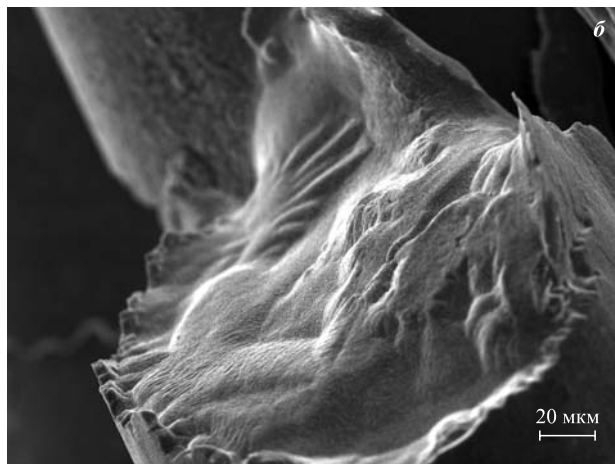
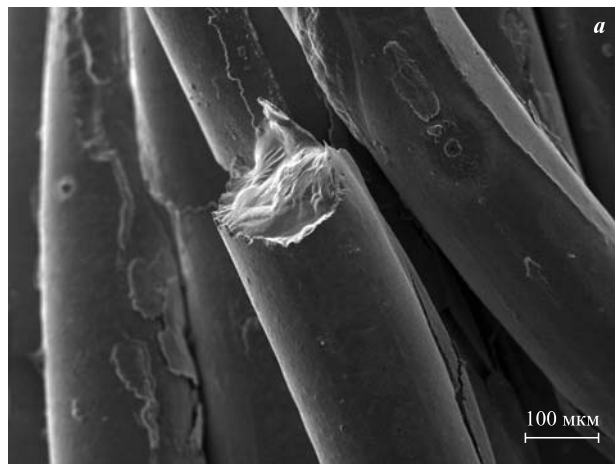
По терминологии микротрасологии перечисленные выше признаки являются микроследами, наглядно доказывающими, что причиной повреждения как стальной ленты, так и медного многопроволоч-

Таблица 2. Результаты микроанализа участка, приведенного на рис. 6,а

Номер точки измерения	Содержание химического элемента, % масс.						
	O	Mg	Al	Mn	Fe	Cu	Ca
Спектр 1	13,37	—	—	—	38,91	46,65	—
Спектр 2	28,90	—	—	—	51,70	17,26	—
Спектр 3	10,13	—	—	—	11,82	78,04	—
Спектр 4	19,20	—	—	—	69,59	9,91	—
Спектр 5	11,91	—	—	—	47,80	40,29	—
Спектр 6	27,73	0,69	0,80	0,36	59,35	7,50	0,38

Таблица 3. Результаты микроанализа участка, приведенного на рис. 6,б

Номер точки измерения	Содержание химического элемента, % масс.				
	O	Cl	Mn	Fe	Cu
Спектр 1	27,10	1,47	—	48,84	22,59
Спектр 2	15,96	1,96	—	72,17	9,92
Спектр 3	28,38	—	—	50,42	21,20
Спектр 4	23,37	2,18	0,52	48,27	25,66

**Рис. 7.** Характер излома проволоки медного проводника при токовой перегрузке при увеличении 160[×] (а) и 600[×] (б)

ного проводника послужил электродуговой процесс в виде короткого замыкания.

На рис. 2,з показано разрушение прилипшего к стальной ленте медного проводника. Если одна сторона проводника получила повреждения в результате короткого замыкания, то другая была разрушена в результате токовой перегрузки.

На поверхности разрушения проволоки медного проводника в результате токовой перегрузки отмечается ручьи́стый узор. Согласно РД 50-672–88 “Методические указания. Расчеты и испытания на прочность. Классификация видов изломов металлов” ручьи́стый узор — элемент строения поверхности фасеток скола, представляющий собой систему сходящихся ступенек, образующуюся в плоскости скола в результате разрушения перемычек между хрупкими микротрещинами, распространяющимися по параллельным, близко расположенным кристаллографическим плоскостям. Направление слияния ступенек скола в ручьи́стом узоре соответствует направлению распространения трещины. Частный случай ручьи́стого узора — веерообразный узор, который возникает, если ступеньки скола сходятся в одной точке в пределах фасетки. Необходимо подчеркнуть, что ручьи́стый узор — это признак хрупкого излома.

Исследованные образцы медных многопроволочных проводников и стальной ленты хранились 3 мес. (что превышает средний срок расследования дел о пожарах), в разных условиях (в помещении на открытом воздухе, в помещении в герметичной упаковке, в уличных условиях без доступа воды в жидком агрегатном состоянии (без погружения в воду)). При сравнении образцов установлено, что выявленные признаки являются устойчивыми и не подвержены изменениям в естественных условиях хранения (без умышленного уничтожения признаков).

Таким образом, в результате исследования методом растровой микроскопии фрагментов многопроволочного медного проводника и стальной ленты, подвергшихся короткому замыканию, установлены характерные признаки, позволяющие идентифицировать процесс, приведший к их разрушению.

В заключение необходимо отметить, что, по мнению И. Д. Чешко [10], использование результатов инструментальных исследований в качестве “промежуточного продукта” в экспертном исследовании по пожару не снижает их ценности как важнейшего источника объективной информации, без которой выводы о причине пожара будут малоубедительными.

Заключение

Доказано, что в электрической цепи с напряжением 12 или 24 В при коротком замыкании между многопроволочным медным проводником и сталь-

ной лентой, имитирующей деталь кузова, на поверхностях разрушения могут фиксироваться признаки, в том числе массоперенос, позволяющие идентифицировать электродуговой механизм образования повреждений.

В частности, такие признаки, как “кратер” с ровным дном и расположенные по его краям шарообразные и каплевидные частицы меди на поверхности стальной кузовной детали, являются микроследами электродугового процесса.

С другой стороны, такие признаки, как микропористость, микролунки, шарообразные частицы железа на поверхности разрушения многопроволочного медного проводника, также являются признаками короткого замыкания.

Таким образом, в отличие от токовой перегрузки при коротком замыкании в автомобильной электрической сети микроследы являются парными, отображающимися как на медном проводнике, так и на кузовной детали. Указанное обстоятельство позволяет достаточно легко дифференцировать механизм разрушения медного проводника. Короткое замыкание идентифицируется по массопереносу, т. е. по наличию на поверхности оплавления медного проводника капель железа. Внешнее высокотемпературное воздействие определяется по вязкому характеру излома. В этом случае поверхность излома проволонок медного проводника вблизи оплавления имеет ячеистую структуру. Токовая перегрузка характеризуется такими признаками, как отсутствие массопереноса и хрупкий характер излома. При этом на поверхности излома проволонок медного проводника вблизи оплавления наблюдается ручейстый узор.

Показано, что растровую микроскопию можно использовать при исследовании оплавлений медных проводников не только в качестве вспомогательного метода, но в ряде случаев и в качестве основного.

Приведены примеры того, что короткое замыкание в автомобильной электрической сети с аккумуляторными батареями типа 51АН/280А и 60АН/330А зачастую приводит не к классическим шарообразным оплавлениям, а к залипанию, сплавлению в одну массу и выгоранию отдельных проволок медного многопроволочного проводника.

Наглядно проиллюстрированы следующие обстоятельства:

- при коротком замыкании в автомобильной электрической цепи любому потребителю (в том числе электрической лампочке) не хватает мощности для продолжения работы;
- в автомобильной электрической сети воздушного зазора между оголенным медным проводником и кузовной деталью без лакокрасочного покрытия, равного толщине изоляционного покрытия, достаточно для предотвращения короткого замыкания.

Настоящим исследованием установлено, что признаки, выявленные на поверхностях разрушения медных многопроволочных проводников, подвергшихся короткому замыканию при напряжении в электрической сети 12 или 24 В, являются устойчивыми и не подвержены изменениям в естественных условиях хранения (без умышленного уничтожения признаков).

Полученные результаты могут быть использованы при экспертном исследовании многопроволочных медных проводников, изымаемых с мест пожаров, установлении механизма их повреждения и, в конечном счете, причины пожара автомобиля. В свою очередь, знание технической причины пожара даст возможность разработать профилактические мероприятия и технические решения, направленные на ее устранение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брушлинский Н. Н., Соколов С. В., Вагнер П. Человечество и пожары. — М. : ООО “ИПЦ Маска”, 2007. — 142 с.
2. Quintiere J. G. Fundamentals of fire phenomena. — England, Chichester : John Wiley and Sons Ltd., 2006. DOI: 10.1002/0470091150.fmatter.
3. Beyler C., Carpenter D., Dinunno P. Introduction to fire modeling. Fire Protection Handbook. — 20th ed. — Quincy : National Fire Protection Association, 2008.
4. Severy D., Blaisdell D., Kerkhoff J. Automotive Collision Fires // SAE Technical Paper 741180, 1974. DOI: 10.4271/741180.
5. Katsuhiko Okamoto, Norimichi Watanabe, Yasuaki Hagimoto, Tadaomi Chigira, Ryoji Masano, Hitoshi Miura, Satoshi Ochiai, Hideki Satoh, Yohsuke Tamura, Kimio Hayano, Yasumasa Maeda, Jinji Suzuki. Burning behavior of sedan passenger cars // Fire Safety Journal. — 2009. — Vol. 44, No. 3. — P. 301–310. DOI: 10.1016/j.firesaf.2008.07.001.
6. Недобитков А. И. Фрактография изломов медных проводников автомобильной электрической цепи // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2016. — Т. 25, № 2. — С. 21–27. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.02.21-27.

7. Богатищев А. И. Комплексные исследования пожароопасных режимов в сетях электрооборудования автотранспортных средств : дис. ... канд. техн. наук. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2002. — 269 с.
8. Чешко И. Д., Скودтаев С. В. Формирование электронной базы данных экспертных исследований пожаров автомобилей // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. — 2016. — № 2. — С. 61–65.
9. Селков Г. И., Чешко И. Д., Плотников В. Г. Экспериментальное моделирование пожароопасных аварийных режимов в электрических проводах // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. — 2017. — № 3. — С. 121–128.
10. Чешко И. Д. Экспертиза пожаров (объекты, методы, методики исследования). — 2-е изд., стереотип. — СПб. : СПб ИПБ МВД РФ, 1997. — 562 с.
11. Судебная экспертиза: типичные ошибки / Под. ред. Е. Р. Россинской. — М. : Проспект, 2014. — 544 с.
12. Селков Г. И. Пожарная безопасность электропроводок. — М. : ООО “Кабель”, 2009. — 328 с.
13. Delplace M., Vos E. Electric short circuits help the investigator determine where the fire started // Fire Technology. — 1983. — Vol. 19, No. 3. — P. 185–191. DOI: 10.1007/bf02378698.
14. Babrauskas V. Arc beads from fires: Can ‘cause’ beads be distinguished from ‘victim’ beads by physical or chemical testing? // Journal of Fire Protection Engineering. — 2004. — Vol. 14, No. 2. — P. 125–147. DOI: 10.1177/1042391504036450.
15. Wright S. A., Loud J. D., Blanchard R. A. Globules and beads: what do they indicate about small-diameter copper conductors that have been through a fire? // Fire Technology. — 2015. — Vol. 51, No. 5. — P. 1051–1070. DOI: 10.1007/s10694-014-0455-9.
16. Babrauskas V. Arc mapping: a critical review // Fire Technology. — 2018. — Vol. 54, Issue 3. — P. 749–780. DOI: 10.1007/s10694-018-0711-5.
17. Hoffmann D. J., Swonder E. M., Burr M. T. Arc faulting in household appliances subjected to a fire test // Fire Technology. — 2016. — Vol. 52, Issue 6. — P. 1659–1666. DOI: 10.1007/s10694-015-0556-0.
18. Kuan-Heng Liu, Yung-Hui Shih, Guo-Ju Chen, Jaw-Min Chou. Microstructural study on oxygen permeated arc beads // Journal of Nanomaterials. — 2015. — Article ID 373861. — 8 p. DOI: 10.1155/2015/373861.
19. Lewis K. H., Templeton B. Morphological variation in copper arcs during post-arc fire heating // Proceedings of 3rd International Symposium on Fire Investigation Science & Technology. — Sarasota : National Association of Fire Investigators, 2008. — P. 183–195.
20. Murray I., Ajersch F. New metallurgical techniques applied to fire investigation // Fire & Materials 2009. — London : Interscience Communications Ltd., 2009. — P. 857–869.
21. Carey N. J. Developing a reliable systematic analysis for arc fault mapping : Ph. D. Diss. — Strathclyde, United Kingdom : University of Strathclyde, 2009.
22. Roby R. J., McAllister J. Forensic investigation techniques for inspecting electrical conductors involved in fire // Final Technical Report for Award No. 239052. — Columbia : Combustion Science & Engineering, Inc., 2012.

Материал поступил в редакцию 24 марта 2018 г.

Для цитирования: Недобитков А. И. Особенности короткого замыкания в автомобильной электрической сети // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 5. — С. 34–49. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.05.34-49.

A. I. NEDOBITKOV, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Department of Informatics and Mathematics, Kazakh Humanitarian Law
Innovative University (Astana St., 48, Ust-Kamenogorsk, 070014, Kazakhstan;
e-mail: a.nedobitkov@mail.ru)

UDC 656.13;614.84

SPECIFIC FEATURES OF SHORT CIRCUIT IN AUTOMOBILE ELECTRICAL SYSTEM

It is shown that fires on vehicles refer to particularly severe accidents, so the problem of increasing their fire safety is extremely important. It is experimentally illustrated that in a number of cases, when a short circuit happens in an electrical circuit containing 51AH/280A and 60AH/330A batteries, a spherical fusion is not formed in a copper conductor with a cross-section of 0.75 mm^2 , but there is a burn-out of separate conductor wires, their adhesion to the steel surface and destruction in the immediate vicinity of the contact point. The results of a study with JSM-6390LV scanning electron microscope of copper multiwire conductors samples and steel band exposed to short circuits at a voltage of 12 and 24 V are given. There are shown photographs of the copper multiwire conductors' fused surfaces, as well as of the steel band exposed to short circuits. Characteristic diagnostic factors are found out that allow to identify the cause of the damage in the event of a fire (high-temperature exposure, short circuit, current overload) of a copper conductor in an electrical circuit with a voltage of 12 V using the method of scanning microscopy. It is found out that the detected factors are stable and are not prone to changes in the natural storage conditions of a vehicle, which was damaged as a result of thermal exposure.

Keywords: fire; scanning electron microscopy; diagnostic feature; ultratrace; forensic fire and technical expertise; primary short circuit; secondary short circuit; current overload; copper conductor.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.05.34-49

Introduction

Fires cause significant material damage, in particular, destroy or damage property, as well they cause deaths and injuries. The damage from fires exceeds 1 % of the national income in industrialized countries and tends to constant growth [1–3]. Motor vehicle fires are among the most severe accidents.

It was shown in a number of works [4–8] that the vehicle electrical system fire hazard is determined by the fact that its individual elements can serve as an ignition source in the event of an emergency operation in any functional circuit. It should be noted that according to Fire Safety Research Institute in the Russian Federation, there has been a trend of increasing the number of fires in vehicles due to technical malfunction. In particular, the number of car fires due to technical malfunction increased from 15.7 % in 2001 to 34.0 % in 2010. And in 2012, the total number of fires resulting from malfunctioning of systems, mechanisms and components of the vehicle and the failure of the vehicle wiring, amounted to 7,718 (40.0 %) in the Russian Federation. It is noted in the work [8] that the proportion of car fire examinations reaches 40–50 % of the total number of received materials in some Forensic Expert Institutions of the Federal Fire Service (FEI FFS) of the Ministry of Emergencies of Russia. It should be recalled that a program for automating vehicles has been launched on a worldwide scale since 2013, and it is cur-

rently being implemented. For example, a Mercedes-Benz S 500 of 2016 production year has only about 80 various electrical devices control units. According to this program, vehicles automation should reach a high level by 2020, and there is no driver's control of the vehicle in these conditions and he/she only occasionally takes over the control. By 2025, vehicles should become fully automated and in conditions a driver does not need to drive the vehicle. Nevertheless, practice shows that fires happen even in cars with a high level of automation, in particular, we know that there was an accident when Tesla Model S burst into flames.

Thus, the development of measures aimed at preventing fires in motor vehicles is important [4–9]. One of the types of preventive measures is a fire investigation.

It is the author's opinion that [10] fire investigation is based on a complex of special knowledge being necessary for the investigation of a fire site, individual structures, materials, products and their scorched residues in order to obtain information, which is necessary for establishing initial fire, its cause, scorched residues, as well as to solve some other problems arising in the analysis of the causes of the fire.

It should be noted that the overwhelming number of forensic experts' conclusions on the technical causes of fires in motor vehicles has a presumptive (probabilistic) nature that does not allow the development and imple-

mentation of specific engineering solutions [11]. This can be explained by many reasons, including the lack of modern scientifically grounded techniques that make it possible to unequivocally determine, for example, the primary or secondary nature of a short circuit. This fact is confirmed indirectly by I. D. Cheshko and G. I. Smelkov in the framework of the work [9], pointing out to the need to improve the existing methods.

As shown by the authors [9, 10, 12], if the characteristic features of the destruction of current-carrying wires are found in the fire zone, the question of the mechanism of damage (arc or thermal one) and, in particular, of the primary or secondary nature of the short-circuit is inevitably raised. According to many authors, this issue is far from being a simple one. Attempts to solve it with the help of instrumental methods were made by criminologists in the fifties of the last century [9, 10, 12]. Unfortunately, an approved and scientifically based universal technique is not available at the moment, despite the existence of a number of solved particular problems [4–22].

So, for example, the authors of the work [22] came to the conclusion on the basis of numerous experimental data that round copper globules with distinct delination lines, which are traditionally defined as “overlaps”, were formed on the wires not only under voltage, but also with no voltage as well. An arc appeared on some wires under voltage leading to the formation of such globules. At the same time, some wires with no voltage did not have an arc, but these characteristic overlaps were observed [22]. The overlaps of some wires under voltage had a porous structure under the microscope and contained a large number of internal pore volumes, while there were no pore volumes in other overlaps. The authors [22] note that the same tendency was characteristic for wires with no voltage.

It is clearly shown in the work [22] that it was determined when studying samples under a scanning electron microscope, the samples have no tendency to change the grain structure or chemical compositions. The internal grain structures of the overlaps were studied with respect to the dimensions of the micro structure elements, porosity and major changes. None of the studied physical aspects of the overlaps revealed any distinctive features for the samples of wires under voltage and with no voltage [22]. This opinion is supported by such researchers as V. Babrauskas, Kuan-Heng Liu, Yung-Hui Shih, Guo-Ju Chen and others, who point to the inability of the scientific community to differentiate the primary and secondary fusion of copper conductors at the present stage [16, 18]. In particular, V. Babrauskas, using the coordinates of the fire, critically analyzes the results obtained by N. J. Carey [21] in relation to the primary or secondary short circuit in work [16].

At the same time, it should be noted that the work [6] contains actual data that allows one to differentiate the cause of failure caused by the electric arc or thermal process by the nature of the fracture in the copper conductor in the fusion zone. The present work is also concerned with the establishment of features that allow one to identify the cause of the destruction of a copper conductor.

The aim of the work is the development of a scientifically grounded method for studying copper conductors of an automobile electrical system destroyed as a result of a short circuit, in order to establish the cause of their damage during the fire investigation.

Based on this goal, the following research objectives are set:

- to conduct experimental studies on the electrical arc destruction of copper conductors at a voltage of 12 and 24 V;
- to confirm the conditions for the occurrence of a primary short circuit in the automobile electrical system experimentally;
- to prove that there may be traces that allow to identify the electric arc process on the destroyed surface of the copper conductor, which has been short-circuited;
- to establish that the traces revealed on the destroyed surface of copper conductors that have been short-circuited are stable and are not prone to changes in the natural storage conditions (unless the traces are destroyed deliberately);
- to show that scanning microscopy can be applied in the study of fusible elements of vehicle fuses as the main method.

Actual examples of the research of copper conductors' fusion exposed to short-circuiting at a voltage of 12 and 24 V are considered in this article.

Materials and methods

The researches were carried out at the Regional University Engineering Laboratory “IRGETAS” of Serikbaev East Kazakhstan State Technical University with the application of JSM-6390LV scanning electron microscope with energy-dispersive microanalysis attachment. The destroyed surfaces of copper conductors were analyzed without preliminary sample preparation. The testing chart is shown in Fig. 1.

By analogy with the work [7], a multiconductor copper wire with 0.75 mm^2 cross-section was used to imitate the short-circuit state, as being the most common in automobile electrical systems. The direct current source at a voltage of 12 V was 51AH/280A and 60AH/330A rechargeable batteries, which are the most popular for modern passenger cars, 6ST190 rechargeable batteries were used at a voltage of 24 V. The starting current of 51AH/280A and 60AH/330A recharge-

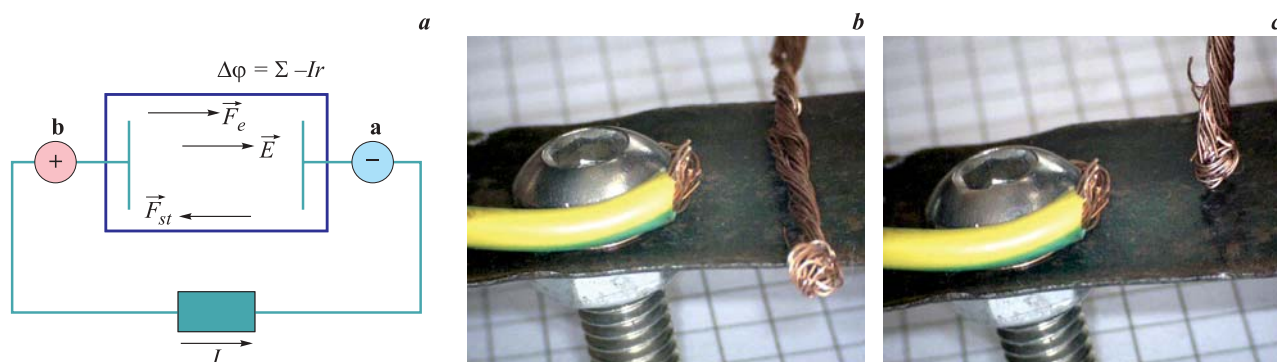


Fig. 1. Testing chart: *a* — fundamental chart (*a* — negative conclusion of storage battery; *b* — positive conclusion of storage battery; Σ — size of electromotive force of storage battery; I — strength of current; r — internal resistance of storage battery; $\Delta\phi$ — difference of potentials; $\vec{E}$ — tension of electric-field into a storage battery; $\vec{E}_e$ — electric force; $\vec{E}_{st}$ — strange force); *b* — a copper wire is arranged along the tangent to the surface of the steel band; *c* — a copper wire is arranged perpendicular to the surface of the steel band

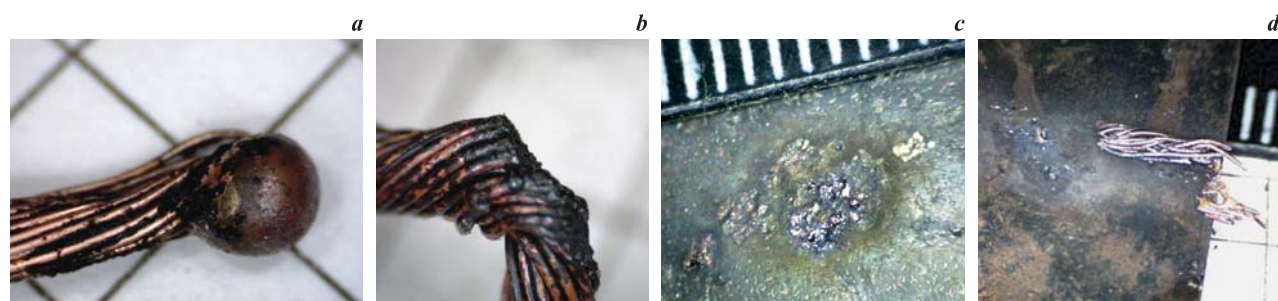


Fig. 2. General view of fragments of the copper conductor and steel band which has been exposed to a short circuit: *a* — fusion of the conductor with a voltage of 24 V; *b* — the destruction of the conductor with a voltage of 12 V; *c* — the damage to the steel band with the perpendicular location of the conductor to its surface; *d* — the damage to the steel band with the tangent location of the conductor to its surface

able batteries is 280 and 330 A, respectively, as well as the starting current of 6ST190 rechargeable battery is 1150 A. A steel band with the dimension of 52×20×0.8 mm imitated the car body part. A steel band was connected by means of the multiconductor copper wire to the negative terminal of the battery, and an electric bulb as a load was connected to the positive terminal. To imitate a short circuit, the conductor was arranged along the tangent to the surface of the band (See Fig. 1*b*) and perpendicular to it (See Fig. 1*c*).

Results and discussion

The results of the short circuit imitation are shown in Fig. 2. Classical spherical fusion was obtained only in the case of the arrangement of a copper wire perpendicular to the steel band at a voltage of 24 V received from 6ST190 battery (See Fig. 2*a*). When using 51AH/280A and 60AH/330A batteries and the voltage of 12 V, the copper conductors destruction occurred without forming spherical fusion (See Fig. 2*b* and 2*d*). When applying perpendicular arrangement of the multifilament wire relative to the surface of the band, the wires were fused with complete burn-out of their fragments (See Fig. 2*b*).

When applying tangential arrangement of the multifilament conductor relative to the surface of the band,

the separate wires were fused to each other and to a steel plate. This effect was described in the work [7] and is called sticking. At the same time, the copper conductor wires were destroyed with characteristic signs of current overload in the immediate vicinity of the place of sticking. The craters and drops of molten metal on the surface of the steel band occur both in the case of a perpendicular and tangential arrangement of the conductor (See Fig. 2*c* and 2*d*). It should also be noted that at the moment of a short circuit, the filament of the electric lamp, which acted as a load, ceased to emit light. This fact in-



Fig. 3. Air gap that is equal to the thickness of the wire insulation and prevents the occurrence of a short circuit in the automobile electrical system

indicates that the consumer does not have enough power for functioning at the moment of short circuit.

It should also be noted that the air gap between the bare copper conductor and the steel band that is equal to the thickness of the conductor insulation (in this case its thickness is about 0.4 mm), prevents short-circuit, in spite of the fact that according to the scheme in Fig. 1a, the voltage is maintained in the circuit by means of 51AH/280A battery and the filament of the electric bulb emits light (Fig. 3).

It was found out with the help of JSM-6390LV scanning microscope in the course of the morphological

study of a fused fragment of copper conductor exposed to the short circuit with the voltage of 24 V received from 6ST190 battery (See Fig. 2a) that, in addition to the microporosity, there are chemical elements relating to the composition of the steel band on the surface of the spherical fusion (Fig. 4, Table 1).

As can be seen from Table 1, there are chemical elements such as Fe, Zn, Mn, inherent in steel band on the surface of spherical fusion. And iron on the surface

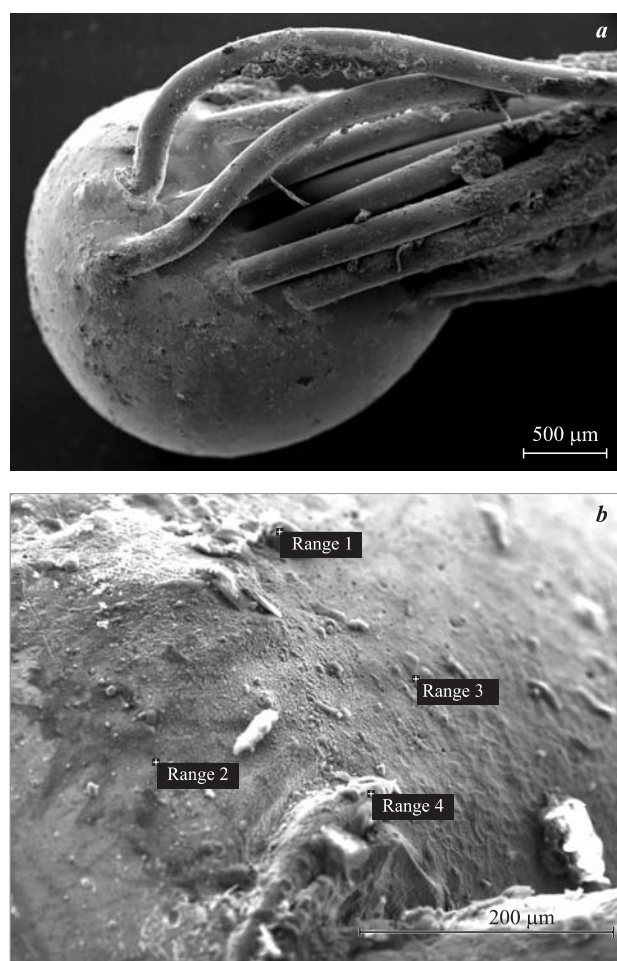


Fig. 4. The surface of a copper conductor destroyed in the process of a short circuit at a voltage of 24 V (See Fig. 2a), at the increase of 35 $\times$ (a) and 200 $\times$ (b)

Table 1. Results of microanalysis of the section shown in Fig. 4b

Measurement point number	Content of chemical element, % by mass						
	O	Mg	Al	Mn	Fe	Cu	Zn
Range 1	24.22	–	1.14	0.64	58.26	4.48	8.62
Range 2	29.64	1.17	1.92	–	6.66	21.18	37.10
Range 3	18.34	–	1.96	–	7.16	59.65	10.00
Range 4	1.96	–	2.88	–	–	95.16	–

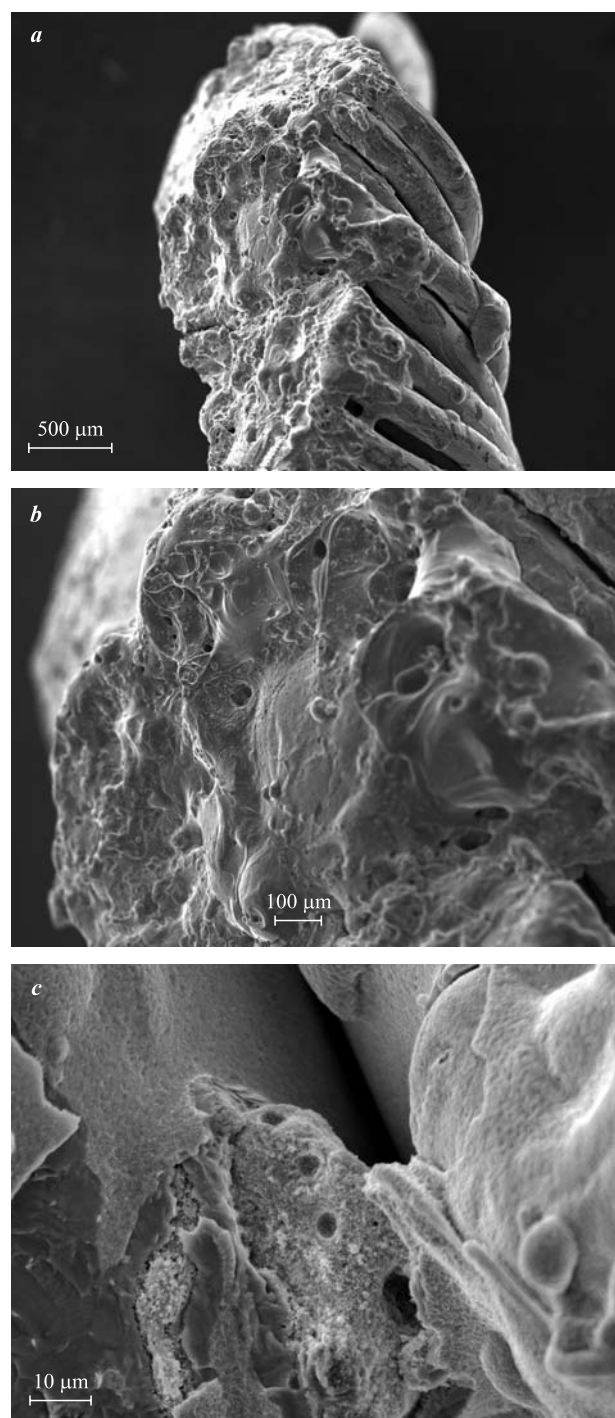


Fig. 5. The surface of a copper conductor destroyed in the process of a short circuit at a voltage of 12 V (See Fig. 2b), at increase of 37 $\times$ (a), 200 $\times$ (b) and 1300 $\times$ (c)

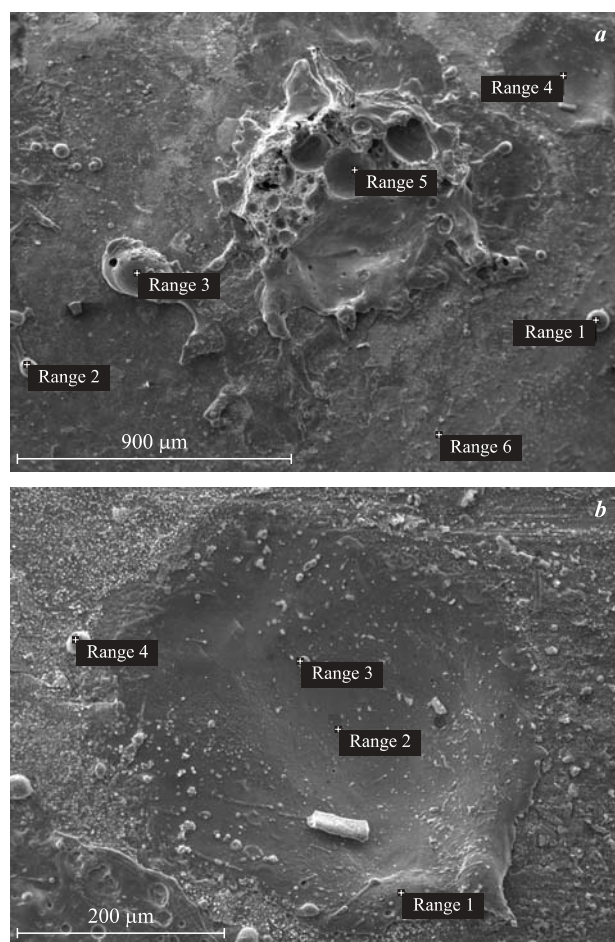


Fig. 6. The surface of a steel strip with a copper conductor after a short circuit at 12 V (See Fig. 2c and 2d) at the increase of 60 $\times$ (a) and 220 $\times$ (b)

of copper is present fragmentarily, in the form of particles of a spherical shape. It should also be noted that the temperature of the electric arc process is higher than the peak firing temperature of a car, which is about 950 °C. Thus, the presence of chemical elements on the surface of the fused copper conductor, which previously was not in its composition, can be only explained by the electric arc process.

It was established in the process of the study of the copper conductor destroyed by short-circuiting at a voltage of 12 V (See Fig. 2b, Fig. 5) that separate conductors are fused together, micropores are observed on the fused surface (See Fig. 5b), as well as micro craters (See Fig. 5c).

Fig. 6 shows the results of the study of the destroyed surface of the steel band after a short circuit at a voltage of 12 V (See Table 2).

As can be seen from Fig. 6a and Table 2, there are observed spherical and drop-shaped particles of copper, as well as a fragment of irregular shape with craters, consisting of copper in the short-circuit area. There is a “crater” with flat floor on the surface of steel band (See Fig. 6b). The floor of the “crater” consists of iron

Table 2. Results of microanalysis of the section shown in Fig. 6a

Measurement point number	Content of chemical element, % by mass						
	O	Mg	Al	Mn	Fe	Cu	Ca
Range 1	13.37	–	–	–	38.91	46.65	–
Range 2	28.90	–	–	–	51.70	17.26	–
Range 3	10.13	–	–	–	11.82	78.04	–
Range 4	19.20	–	–	–	69.59	9.91	–
Range 5	11.91	–	–	–	47.80	40.29	–
Range 6	27.73	0.69	0.80	0.36	59.35	7.50	0.38

Table 3. Results of microanalysis of the section shown in Fig. 6b

Measurement point number	Content of chemical element, % by mass				
	O	Cl	Mn	Fe	Cu
Range 1	27.10	1.47	–	48.84	22.59
Range 2	15.96	1.96	–	72.17	9.92
Range 3	28.38	–	–	50.42	21.20
Range 4	23.37	2.18	0.52	48.27	25.66

by 50–72 % (Table 3), and there are spherical and drop-shaped particles of copper along its edges.

In the terminology of microtracology, the factors listed above are microscopic traces that clearly demonstrate that the cause of the damage to both the steel band and the copper multifilament conductor was the electric arc process in the form of a short circuit.

In Fig. 2d it is shown the destruction of the copper conductor adhered to the steel band. If one side of the conductor is damaged as a result of a short circuit, the other side has been destroyed by current overload.

A stream pattern can be seen on the surface of the copper conductor, as the result of the current overload. According to RD 50-672–88 “Guidelines. Strength Calculations and Tests. Classification of Types of Metals Fractures”, the stream pattern is an element of the structure of the cleavage facets surface, which is a system of convergent steps formed in the cleavage face as a result of the destruction of the bridges between fragile microcracks propagating along parallel, closely located crystallographic planes. The direction of merging of the cleavage steps in the stream pattern corresponds to the crack propagation direction. A particular case of a stream pattern is a fan-shaped pattern that occurs if the cleavage steps converge within the facet. It should be emphasized that the stream pattern is a sign of a fragile fracture.

The studied samples of copper multifilament conductors, as well the steel band were stored for 3 months (which exceeds the average time for investigating fires), in different conditions (indoors in the open air, indoors

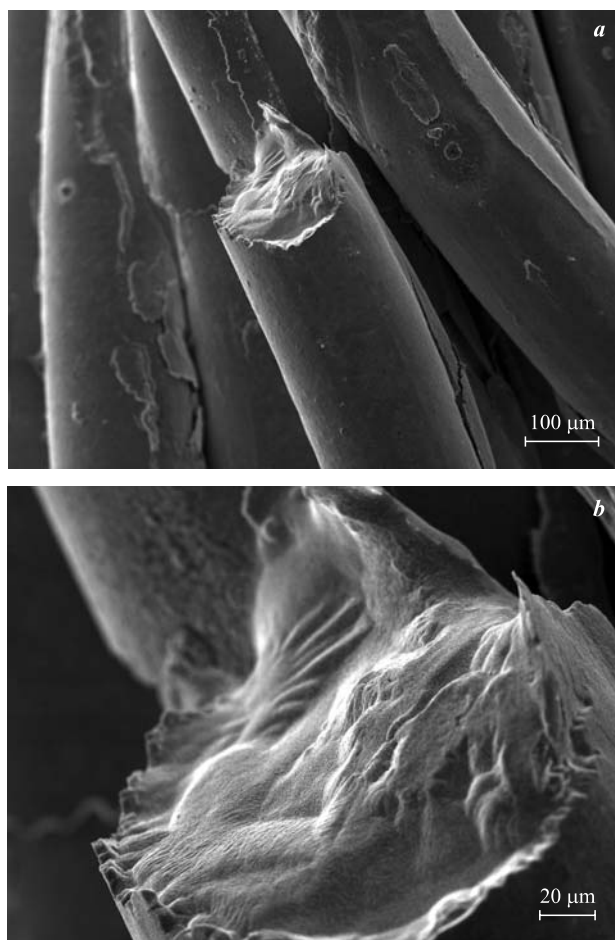


Fig. 7. The nature of the fracture in the wire of a copper conductor with current overload at the increase of 160 $\times$ (a) and 600 $\times$ (b)

in a sealed package, in street conditions without water access in a liquid aggregate state (without immersion in water)). When comparing the samples, it is established that the identified traces are stable and are not prone to changes in the natural storage conditions (unless the traces are destroyed deliberately).

Thus, as a result of study by means of scanning microscopy method of fragments of the multifilament copper conductor and steel band exposed to a short circuit, the characteristic features are established that allow one to identify the process that led to their destruction.

In conclusion, it should be noted that, in I. D. Cheshko's opinion [10] the use of the results of instrumental research as an "intermediate product" in an expert fire investigation does not reduce their value as the most important source of objective information without which the conclusions about the cause of the fire will be unconvincing.

Conclusion

It has been proved that some features can be fixed on the fracture surfaces, including mass transfer that allow to identify the electric arc mechanism of damages

formation in an electrical circuit with a voltage of 12 or 24 V in the case of a short circuit between a multifilament copper conductor and a steel band imitating a car body part.

In particular, such traces as a "crater" with a flat floor and spherical and drop-shaped copper particles located on its edges on the surface of the steel body part are micro-traces of the electric arc process.

On the other hand, such features as microporosity, micro craters, spherical iron particles on the destruction surface of the destruction of a multifilament copper conductor are also traces of short circuit.

Thus, unlike the current overload in case of a short circuit in the automobile electrical system, the microscopic traces are paired and are displayed both on the copper conductor and on the car body part. This fact makes it possible to quite easily differentiate the copper conductor destruction mechanism. A short circuit is identified by mass transfer, i. e., by the presence of iron droplets on the fused surface of the copper conductor. The external high-temperature exposure is determined by the viscous nature of the fracture. In this case, the surface of the fracture in the wires of the copper conductor near the fusion has a cellular structure. Current overload is characterized by such features as the lack of mass transfer and the fragile nature of the fracture. At the same time, a stream pattern is observed on the surface of the fracture in the wires of the copper conductor near the fusion area.

It is shown that scanning microscopy can be used in studying fusions of copper conductors not only as an auxiliary method, but also as the main one in some cases.

Examples are given that a short circuit in an automobile electrical system with 51AH/280A and 60AH/330A rechargeable batteries often causes a sticking, fusing and burning out of separate wires of a copper multifilament conductor instead of a classical spherical fusion.

The following facts are clearly illustrated:

- there is not enough capacity for work continuation for any consumer (including an electric bulb) at the moment of a short circuit in an automobile electric circuit;
- the air gap between the bare copper conductor and the car body part without a paint coating equal to the thickness of the insulation coating is sufficient for preventing a short circuit in the automobile electric system.

The present study found that the traces revealed on the destroyed surfaces of copper multifilament conductors exposed to short circuit at a voltage of 12 or 24 V in the electrical system, are stable and are not prone to changes in natural storage conditions (unless the traces are destroyed deliberately).

The obtained results can be used for expert examination of multifilament copper conductors taken from fire sites, as well as for establishing the mechanism of their damage and, ultimately, the causes of the vehicle's

fire. In its turn, the knowledge of the technical cause of the fire will make it possible to develop preventive measures and technical solutions aimed at its elimination.

REFERENCES

1. Brushlinskiy N. N., Sokolov S. V., Wagner P. *Chelovechestvo i pozhary* [Humanity and fires]. Moscow, IPTs Maska Publ., 2007. 142 p. (in Russian).
2. Quintiere J. G. *Fundamentals of fire phenomena*. England, Chichester, John Wiley and Sons Ltd, 2006. DOI: 10.1002/0470091150.fmatter.
3. Beyler C., Carpenter D., Dinunno P. *Introduction to fire modeling. Fire Protection Handbook*. 20th ed. Quincy, National Fire Protection Association, 2008.
4. Severy D., Blaisdell D., Kerkhoff J. Automotive Collision Fires. *SAE Technical Paper 741180*, 1974. DOI: 10.4271/741180.
5. Katsuhiko Okamoto, Norimichi Watanabe, Yasuaki Hagimoto, Tadaomi Chigira, Ryoji Masano, Hitoshi Miura, Satoshi Ochiai, Hideki Satoh, Yohsuke Tamura, Kimio Hayano, Yasumasa Maeda, Jinji Suzuki. Burning behavior of sedan passenger cars. *Fire Safety Journal*, 2009, vol. 44, no. 3, pp. 301–310. DOI: 10.1016/j.firesaf.2008.07.001.
6. Nedobitkov A. I. Fractography of car electric circuit copper conductor fractures. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 2, pp. 21–27. DOI 10.18322/PVB.2016.25.02.21-27 (in Russian).
7. Bogatishchev A. I. *Comprehensive research of fire hazardous modes in mains of electrical equipment of vehicles*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2002. 269 p. (in Russian).
8. Cheshko I. D., Skodtaev S. V. Formation of electronic database expert researches of car fires. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MChS Rossii / Herald of Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia*, 2016, no. 2, pp. 61–65 (in Russian).
9. Smelkov G. I., Cheshko I. D., Plotnikov V. G. Experimental modeling of fire-alarm emergency modes in electrical wires. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MChS Rossii / Herald of Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia*, 2017, no. 3, pp. 121–128 (in Russian).
10. Cheshko I. D. *Ekspertiza pozharov (obyekty, metody, metodiki issledovaniya)* [Examination of fire (objects, methods, methods of research)]. Saint Petersburg, Saint Petersburg Institute of Fire Safety of Ministry of the Interior of Russian Federation Publ., 1997. 562 p. (in Russian).
11. Rossinskaya E. R. (ed). *Sudebnaya ekspertiza: tipichnyye oshibki* [Judicial examination: typical mistakes]. Moscow, Prospekt Publ., 2014. 544 p. (in Russian).
12. Smelkov G. I. *Pozharnaya bezopasnost elektroprovodok* [Fire safety of wirings]. Moscow, Cable LLC Publ., 2009. 328 p. (in Russian).
13. Delplace M., Vos E. Electric short circuits help the investigator determine where the fire started. *Fire Technology*, 1983, vol. 19, no. 3, pp. 185–191. DOI: 10.1007/bf02378698.
14. Babrauskas V. Arc beads from fires: Can 'cause' beads be distinguished from 'victim' beads by physical or chemical testing? *Journal of Fire Protection Engineering*, 2004, vol. 14, no. 2, pp. 125–147. DOI: 10.1177/1042391504036450.
15. Wright S. A., Loud J. D., Blanchard R. A. Globules and beads: what do they indicate about small-diameter copper conductors that have been through a fire? *Fire Technology*, 2015, vol. 51, no. 5, pp. 1051–1070. DOI: 10.1007/s10694-014-0455-9.
16. Babrauskas V. Arc mapping: a critical review. *Fire Technology*, 2018, vol. 54, issue 3, pp. 749–780. DOI: 10.1007/s10694-018-0711-5.
17. Hoffmann D. J., Swonder E. M., Burr M. T. Arc faulting in household appliances subjected to a fire test. *Fire Technology*, 2016, vol. 52, issue 6, pp. 1659–1666. DOI: 10.1007/s10694-015-0556-0.
18. Kuan-Heng Liu, Yung-Hui Shih, Guo-Ju Chen, Jaw-Min Chou. Microstructural study on oxygen permeated arc beads. *Journal of Nanomaterials*, 2015, art. ID 373861. 8 p. DOI: 10.1155/2015/373861.
19. Lewis K. H., Templeton B. Morphological variation in copper arcs during post-arc fire heating. In: *Proceedings of 3rd International Symposium on Fire Investigation Science & Technology*. Sarasota, National Association of Fire Investigators, 2008, pp. 183–195.

20. Murray I., Ajersch F. New metallurgical techniques applied to fire investigation. In: *Fire & Materials 2009*. London, Interscience Communications Ltd., 2009, pp. 857–869.
21. Carey N. J. *Developing a reliable systematic analysis for arc fault mapping*. Ph. D. diss. Strathclyde, United Kingdom, University of Strathclyde, 2009.
22. Roby R. J., McAllister J. Forensic investigation techniques for inspecting electrical conductors involved in fire. *Final Technical Report for Award No. 239052*. Columbia, Combustion Science & Engineering, Inc., 2012.

Received 24 March 2018

For citation: Nedobitkov A. I. Specific features of short circuit in automobile electrical system. *Pozharovzryvobezопасnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 5, pp. 34–49. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.05.34-49.



Издательство «ПОЖНАУКА»

Г. И. Смелков, В. Н. Черкасов,
В. Н. Вережкин, В. А. Пехотилов, А. И. Рябилов

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

М. Х. УСМАНОВ, канд. физ.-мат. наук, академик НАН ПБ, заслуженный изобретатель и рационализатор Республики Узбекистан (Республика Узбекистан, 100076, г. Ташкент, Яшнабадский р-н, ул. Байсунская, 109; e-mail: m_usmanov@mail.ru)

А. Х. КУЛДАШЕВ, первый заместитель министра по чрезвычайным ситуациям Республики Узбекистан (Республика Узбекистан, 100084, г. Ташкент, Юнусабадский р-н, ул. Кичик халка йули, 4; e-mail: info@fvv.uz)

У. Т. МУЗАФАРОВ, первый заместитель начальника Института пожарной безопасности Министерства внутренних дел Республики Узбекистан (Республика Узбекистан, 100102, г. Ташкент, Сергелийский р-н, ул. Дуслик, 5; e-mail: ulmas1709@mail.ru)

У. А. ЕКУБОВ, канд. техн. наук, начальник кафедры инженерно-технического обеспечения охраны Военно-технического института Национальной гвардии Республики Узбекистан (Республика Узбекистан, 100109, Ташкентская обл., Зангиатинский р-н, пос. Чарсу; e-mail: ulugbek799@yandex.ru)

И. Х. КУЛДАШЕВ, начальник редакционно-издательского отдела Военно-технического института Национальной гвардии Республики Узбекистан (Республика Узбекистан, 100109, Ташкентская обл., Зангиатинский р-н, пос. Чарсу)

УДК 614.841

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ "СОГДА" НА ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНЫХ ОБЪЕКТАХ В УЗБЕКИСТАНЕ

Рассмотрены этапы развития инновационной технологии ослабления мощных тепловых потоков, представляющих собой электромагнитное излучение инфракрасного диапазона, тонкими водяными пленками, генерируемыми на металлических сеточных поверхностях. Приведены основанные на многолетнем опыте тушения крупных пожаров и газонефтяных фонтанов факторы, предопределяющие разработку наиболее востребованных моделей теплозащитных экранов "СОГДА". Представлен реализованный на практике на примере Бухарского нефтеперерабатывающего завода вариант применения различных моделей экранов "СОГДА", позволяющий повысить уровень противопожарной защиты особо важных пожаровзрывоопасных объектов. Показано, что экраны "СОГДА" обладают уникальными свойствами, о которых авторы сначала даже и не подозревали. Подведены итоги развития и применения новой технологии борьбы с пожарами за последнюю четверть века.

Ключевые слова: теплозащитные экраны; ослабление тепловых потоков; газонефтяные фонтаны; резервуарный парк; сливноналивная эстакада; насосная станция; перспективы.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.05.50-60

Введение

Противопожарные преграды разрабатываются уже много десятилетий [1, 2]. Однако к концу XX века выяснилось, что достаточно безопасных и надежных методов и устройств, обеспечивающих эффективную защиту пожарных и пожарной техники от пламени и теплового излучения пожаров, практически не имеется. Традиционные методы обеспечения безопасной работы пожарных на крупных пожарах включают в себя в основном средства индивидуальной защиты пожарных, в частности специальную защитную одежду с максимальной устойчивостью к воздействию теплового потока $18,0 \text{ кВт/м}^2$ в течение

600–960 с. Всемерное распыление воды ослабляет тепловой поток всего в 2–3 раза, а тонкораспыленная вода, получаемая с помощью приборов высокого давления, — всего в 5–7 раз.

В начале XXI века в Узбекистане было теоретически обосновано и экспериментально доказано, что водяная пленка толщиной около 200 мкм, генерируемая на металлической сетке, ослабляет падающий тепловой поток в 45–100 раз и более в зависимости от его плотности. Наряду с теоретическими исследованиями по реализации этой идеи с помощью различных устройств, а также способов их применения на различных пожароопасных объектах были

начаты работы по разработке, производству и внедрению в практику пожарной охраны республики наиболее простых моделей теплозащитных экранов “СОГДА”, предназначенных для защиты пожарных и повышения эффективности тушения пожаров [3–5].

Целью и задачей исследования является обобщение многолетнего опыта Государственной службы пожарной безопасности Республики Узбекистан по оснащению промышленных предприятий нефтегазовой и химической отраслей различными моделями теплозащитных экранов, оптимальному размещению их, способам их применения и доставки, обучению пожарных и членов Добровольных пожарных дружин (ДПД) применению данного инновационного оборудования, а также опыта по использованию специальных видов экранов при ликвидации аварий на газонефтяных фонтанах.

Анализ опыта применения экранов. Результаты

На одном из заседаний ученого совета Высшей технической школы пожарной безопасности МВД Республики Узбекистан в 1996 г. была предложена гипотеза о возможности ослабления тепловых потоков в десятки раз тонкой водяной пленкой (около 200 мкм), генерируемой на металлической сетке. Гипотеза подверглась жесткой критике. Дальнейшие экспериментальные и теоретические исследования в этом направлении проводились с разрешения начальника школы в инициативном порядке совместно с Институтом электроники Академии наук Республики Узбекистан.

В 1999 г. на берегу р. Чирчик в пригороде Ташкента при активном участии Главного управления пожарной безопасности Министерства внутренних дел Республики Узбекистан (ГУПБ МВД РУ) были проведены крупные натурные испытания опытных образцов экранов. С трех сторон опытного образца коридора размером 1,7×2,0×2,0 м был уложен штабель дров высотой 1,7 м. На расстоянии 0,5 м от штабеля были установлены противопожарная преграда размером 2,2×0,15 м и теплозащитный экран для защиты стволистика стационарного лафетного ствола (СЛС). Испытания со всей убедительностью доказали жизнеспособность предложенной ранее гипотезы.

В начале 2001 г. на одном из особо важных объектов нефтегазовой отрасли вблизи г. Ангрен ввиду сложного горного рельефа размещение стационарных лафетных стволов вдоль двухпутной сливноналивной эстакады (СНЭ) потребовало уменьшения расстояния между ними и железнодорожной линией, что в свою очередь задерживало запуск технологического процесса. Введение же данного объекта в

срок имело стратегически важное значение для экономики республики.

В связи с этим технический совет ГУПБ МВД РУ под председательством полковника А. Х. Кулдашева принял ответственное решение — использовать экраны “СОГДА” в качестве компенсирующей меры (ГОСТ 12.1.004–91). Это решение доказало целесообразность применения теплозащитных экранов “СОГДА” в подобных ситуациях.

Своевременное и качественное техническое обслуживание теплозащитных экранов в соответствии с руководством по эксплуатации в целях сохранения их тактико-технических характеристик сделало теплозащитные экраны надежной защитой для пожарных, о чем свидетельствует 17-летняя практика их использования в боевом расчете на данном объекте.

Опыт тушения крупных пожаров с применением экранов показывает широкий спектр их возможностей, а не только использование их в качестве компенсирующей меры для сокращения противопожарных расстояний.

В апреле 1995 г. на территории прирельсового резервуарного парка, состоящего из восьми РВС-5000, разделенных обвалованием на две группы, одного из промышленных предприятий страны произошел крупный пожар. Двухпутная сливноналивная эстакада располагалась на расстоянии около 100 м от склада горючего. Комплекс противопожарной защиты СНЭ состоял из системы автоматического пенотушения и восьми стационарных лафетных стволов, размещенных в 15 м от СНЭ только с той стороны, где располагался резервуарный парк. На момент начала пожара (в 11.20 по местному времени) на путях под загрузкой находились два состава железнодорожных цистерн. На начальном этапе развития пожара были задействованы все СЛС и пожарная техника отдельной пожарной части (2 ед. АЦ-40 и 1 ед. АП-5). Однако в связи с тем что система автоматического пенотушения из-за технических неисправностей не сработала, а решающее направление тушения было выбрано неправильно, в течение первых 15 мин был израсходован весь запас пены и порошка, локализовать же пожар не удалось. Огонь охватил оба состава, положение стало критическим, и обслуживающий персонал был вынужден оставить СЛС и отступить из-за резко нарастающей тепловой радиации.

В 11.35 прибыли еще четыре АЦ-40, начальник отряда подполковник Д. О. Пулатов, взяв на себя командование, немедленно пресек начавшуюся панику и организовал людей, поставив перед каждым конкретную боевую задачу:

- личному составу пожарных подразделений с помощью переносных средств тушения обеспечить

эшелонированную тепловую защиту созданием водяных завес, продвинувшись к СЛС и возобновить их работу, а затем, продвинувшись к ближайшему составу, сбить на нем пламя;

- главному инженеру завода организовать работу по закрытию кошками горловин горящих цистерн и вывести первый состав с территории СНЭ, затем перейти ко второму составу;
- операторам СЛС охлаждать цистерны второго состава, подавая на них струи воды поверх первого состава.

Самоотверженными действиями участников тушения поставленная РТП боевая задача была успешно решена без потерь и серьезных травм.

Анализ этого пожара очевидным образом доказывает необходимость оснащения СЛС экранами “СОГДА-2А”.

Разработанные ГУПБ МВД РУ и направленные всем пожарным гарнизонам рекомендации по применению теплозащитных экранов “СОГДА” имели важное значение для практического использования последних на особо важных объектах или на объектах, имеющих повышенную пожаро- и взрывоопасность.

2 декабря 2002 г. поступило сообщение о возгорании газонефтяного фонтана при его аварийном истечении на Кукдумалакском месторождении Кашкадарьинской обл. Республики Узбекистан. Высота пламени составляла более 90 м. Перед специалистами ООО “Енгин-Тех” начальником ГУПБ МВД РУ, РТП полковником А. Х. Кулдашевым была поставлена задача в кратчайший срок реализовать предложенную им идею — изготовить головной элемент теплозащитного коридора. В течение 12 сут на предприятии, основной задачей которого была разработка новых востребованных моделей экранов “СОГДА” и внедрение их в практику службы пожарной охраны, было изготовлено теплозащитное укрытие “СОГДА” размером 2,0×2,0×2,0 м, установленное на салазки из двух труб диаметром 40 мм с целью обеспечить возможность волочения его по песчаному грунту. Система распыления воды в экранирующих панелях была сделана дублированной. Наиболее сложным вопросом, который удалось решить за столь короткий срок, была система водоочистки. Теплозащитное укрытие “СОГДА” было доставлено и установлено непосредственно рядом с одним из стандартных укрытий с габаритными размерами 6,0×2,0×2,0 м, изготовленных из двухслойного листового железа, которые обычно используются в таких случаях и устанавливаются на расстоянии 25 м вокруг устья фонтана.

Подаваемая из искусственных водоемов вода была сильно загрязнена глинистыми и песчаными примесями, поэтому была разработана двухкаскад-

ная система фильтров для обеспечения бесперебойной работы укрытия “СОГДА”. На первом каскаде были использованы фильтры, состоящие из основного и запасного фильтров грубой очистки воды, которые задерживают примеси размером более 1,5 мм, а на втором — четыре фильтра тонкой очистки (один — основной и три — запасных), задерживающие примеси размером более 0,5 мм (рис. 1). Фильтр грубой очистки был разработан таким образом, что за счет потока проходящей сквозь фильтр воды осуществлялась его самоочистка. За все время боевой эксплуатации в течение 15 сут ни разу не потребовалось использование запасного фильтра грубой очистки. Опыт эксплуатации фильтров тонкой очистки показал, что они требуют профилактического осмотра каждые 6–8 ч работы. В дальнейшем идеи подобных фильтров были использованы при модернизации теплозащитных экранов “СОГДА-1А” и “СОГДА-1В”.

Стандартное укрытие из листового железа непрерывно орошалось водой для охлаждения стенок. Внутри укрытия постоянно находилась дежурная смена, в обязанность которой входило: наблюдение за самим фонтаном; обеспечение водоохлаждения работающей рядом техники; действия по установке лафетных стволов в непосредственной близости от устья фонтана в целях подачи воды в пламя фонтана для уменьшения лучистого потока; обеспечение эффективной работы СЛС. Несмотря на все меры по охлаждению водой пространства внутри стандартного укрытия, высокая температура не позволяла длительное время нести службу (более 2–4 ч).

В отличие от стандартного укрытия внутри укрытия “СОГДА” температура была около 0 °С, так как теплозащитные панели отражали тепловые потоки фонтана. Засасываемый пламенем фонтана зимний воздух из окружающей среды не успевал прогреться,



Рис. 1. Фильтрующая система укрытия “СОГДА”

Fig. 1. SOGDA filtering shelter system

что и определяло низкую температуру внутри укрытия “СОГДА”.

После срезания превентора характер фонтанирования скважины изменился: вертикальное пламя фонтана перешло в режим горизонтального, распыляемого во все стороны истечения. Под воздействием пламени в течение короткого промежутка времени стены стандартного металлического укрытия начали сильно деформироваться. Только благодаря оперативным действиям руководителя группы замначальника ГУПБ МВД РУ полковника А. Н. Алиматова удалось срочно передислоцироваться в укрытие “СОГДА” и избежать серьезных травм и увечий. Это были первые четверо людей, спасенные благодаря теплозащитным экранам “СОГДА”.

Особо следует отметить, что наиболее опасным в действиях дежурных групп являлось обеспечение эффективной работы лафетных стволов СЛС-20, установленных в непосредственной близости от устья фонтана — на расстоянии 5–7 м, через которые подавались мощные струи воды в ствол фонтана. Необходимость периодически выбегать из-под укрытия для корректировки направления подаваемой воды из этих, незащищенных стволов представляла наибольшую опасность.

В дальнейшем пожарный гарнизон Кашкадарьинской обл. был укомплектован четырьмя экранами “СОГДА-4”, оснащенными лафетными стволами ПЛС-20, в целях повышения безопасности пожарных при ликвидации аварий на газонефтяных месторождениях (рис. 2).

Все эти годы Научно-исследовательский центр Высшей технической школы пожарной безопасности (ныне Институт пожарной безопасности) МВД РУ и предприятие “Енгин-Тех” в постоянном режиме изучали различные случаи возгораний и потребности предприятий нефтеперерабатывающей отрасли в модернизации этих экранов. Интересным оказалось мнение начальника ведомственной пожарной охраны Ферганского НПЗ (далее — ФНПЗ) о необходимости оснащать СНЭ не только стационарными, но и передвижными экранами. Поступали также предложения по разработке легких переносных модификаций теплозащитных экранов для использования их при тушении на верхних площадках технологических установок. Передвижные и переносные модификации дали бы возможность более эффективно использовать теплозащитные экраны на практике.

В результате был разработан передвижной экран “СОГДА-1А”, оснащенный колесной парой и предназначенный для защиты звена из двух пожарных (рис. 3). Экран оказался настолько эффективным, что позволял пожарным не только тушить пожары, но и заниматься другими видами работ. Этот вид



Рис. 2. Теплозащитный экран “СОГДА-4” со встроенным лафетным стволом ПЛС-20

Fig. 2. SOGDA-4 thermal-protection shield with the built-in fire-fighting monitor PLS-20



Рис. 3. Теплозащитный экран “СОГДА-1А”

Fig. 3. SOGDA-1A thermal-protection shield

экрана нашел применение не только на СНЭ, но и на других пожаровзрывоопасных участках объектов.

Идея переносного складного экрана индивидуального пользования для применения на верхних площадках технологических установок оказалась значительно более продуктивной, чем предполага-

лось изначально. Более 70 % пожаров происходит в жилом секторе. Габаритные размеры (по площади) складного экрана “СОГДА-1В” принимались исходя из стандартной минимальной ширины двери и выбирались таким образом, чтобы их можно было использовать в жилом секторе, — 1,7×0,75 м (рис. 4). Компактность и легкость экрана (масса около 12 кг) позволяют перевозить его не только на АЦ, но и на автомобилях первой помощи, а также обеспечивают высокую оперативность, безопасность ствольщика, работающего в многоэтажных зданиях и на верхних площадках технологических установок.

Первичные средства пожаротушения, которыми согласно противопожарным нормам оснащаются места возможных возгораний, нередко оказываются неэффективными: при больших разливах легко воспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ) тепловой поток не позволяет пожарным приблизиться на оптимальное для тушения расстояние. По предложению специалистов-пожарных с большим опытом работы на крупных пожароопасных объектах был разработан комплекс первичного пожаротушения, оснащенный теплозащитным экраном “СОГДА” (рис. 5). На четырехколесной раме размещались огнетушители марок ОП-50, ОП-10, ОУ-10, кошма, багор и емкость с водой для обеспечения работоспособности экрана в течение нескольких минут.

Таким автономным комплексом первичного пожаротушения “СОГДА” целесообразно оснащать насосные для перекачки нефтепродуктов, автоналивные эстакады, технологические зоны на НПЗ и другие объекты складирования нефтепродуктов, где возможны аварийные истечения и проливы продуктов, для обеспечения возможности выполнения первичных действий со стороны ДПД предприятия до приезда пожарных подразделений.

Наряду с разработкой новых моделей экранов “СОГДА” проводилась большая теоретическая работа по определению эффективности их использования, выбору наиболее оптимальных моделей для различных пожароопасных объектов.

На основании результатов этой работы было начато оснащение теплозащитными экранами “СОГДА” многих объектов в Узбекистане: Шуртанского ГХК, Мубарекского ГХК, ФНПЗ, Бухарского НПЗ (далее — БНПЗ), АО “Максам Чирчик”, Чинабадской, Ангренской и Папской нефтебаз и т. п.

Наиболее комплексное оснащение различными моделями экранов “СОГДА” было достигнуто на БНПЗ, благодаря содействию начальника УПБ УВД Бухарской обл. канд. техн. наук, полковника Х. Н. Шарипова, а также руководства БНПЗ, докторов технических наук Э. М. Саидахмедова и Ш. М. Саидахмедова.



Рис. 4. Теплозащитный экран “СОГДА-1В” в развернутом, боевом положении (а) и в свернутом состоянии (б)

Fig. 4. SOGDA-1B thermal-protection shield in a deployed, operational state (a) and in a retracted state (b)



Рис. 5. Комплекс первичного пожаротушения “СОГДА”

Fig. 5. SOGDA primary fire-fighting system

Пожарные посты, установленные в начале и в конце СНЭ, были дооснащены четырьмя передвижными экранами “СОГДА-1А” по два в каждом.

На СНЭ на стационарных лафетных установках были установлены экраны “СОГДА-2А”. В самой пожарной части автомобиля АЦ-40 были оборудованы крепления для перевозки экранов “СОГДА-1А” (рис. 6).

В случае возникновения пожара на объекте был установлен следующий порядок использования экранов:

а) прибывшие первыми к месту пожара члены ДПД приступают к тушению пожара лафетными стволами под защитой экранов “СОГДА-2А”;



Рис. 6. Крепления для перевозки экранов “СОГДА-1А” на АЦ-40

Fig. 6. Mountings for transportation of shields SOGDA-1A mounted on the tank truck ATs-40

б) экипаж объектовой пожарной части, прибыв на место пожара и сняв с АЦ-40 передвижные экраны “СОГДА-1А”, под их защитой начинает тушение пожара, применяя наиболее эффективные средства тушения;

в) прибывшие по вызову к месту пожара боевые экипажи гарнизона (городского или районного) в целях ограничения распространения пожара на большие площади и оперативной ликвидации его с минимальными потерями используют для максимального приближения к очагу пожара четыре передвижных экрана “СОГДА-1А”, размещенных на пожарных постах в начале и конце СНЭ.

Начальник отдела пожарной безопасности БНПЗ отмечает высокую эффективность теплозащитных экранов “СОГДА” при тушении имитированных пожаров на СНЭ (рис. 7) и в местах хранения жидкого газа в ходе пожарно-тактических учений (рис. 8).

Как было указано выше, несколькими комплексами первичного пожаротушения “СОГДА” на БНПЗ были оснащены насосная для перекачки нефтепродуктов, автоналивная эстакада, технологические зоны и другие пожароопасные участки, где возможны аварийные истечения и проливы нефтепродуктов.

На рис. 9 представлен фрагмент отработки действий членов ДПД объекта по использованию комплекса первичного пожаротушения “СОГДА”.

Систематическое проведение учений с отработкой практических методов применения экранов способствует обеспечению постоянной боевой готовности и эффективного использования экранов. Так, например, на учениях, проводимых ежеквартально на БНПЗ, отрабатываются методы практического применения экранов личным составом пожарной охраны и добровольной пожарной дружиной (см. рис. 7–9).

Таким образом, опыт применения теплозащитных экранов “СОГДА” в Узбекистане на пожаро-



Рис. 7. Пожарно-тактические учения по ликвидации пожара на СНЭ

Fig. 7. Fire-fighting tactical exercises to eliminate the fire on the loading and unloading rack



Рис. 8. Оработка действий членами ДПД объекта по использованию экрана “СОГДА-2А” в местах хранения жидкого газа

Fig. 8. The scenario of actions taken by members of the facility Voluntary Fire Brigade (VFB) on the use of the SOGDA-2A shield in liquid gas storage locations



Рис. 9. Оработка членами ДПД объекта действий по использованию комплекса первичного пожаротушения “СОГДА”

Fig. 9. The scenario of actions taken by the facility’s VBF members on the use of the primary fire-fighting system SOGDA

опасных объектах на примере Бухарского НПЗ показывает, что они повышают боевую готовность личного состава и членов ДПД объекта в случае возникновения чрезвычайной ситуации (ЧС), защищают их жизнь и здоровье при выполнении боевых задач по ликвидации аварий, а также резко повышают эффективность тушения пожаров.

Необходимо отметить, что на объектах нефтегазового комплекса объективно существует очень сложная пожаровзрывоопасная обстановка, требующая резкого повышения уровня их противопожарной защиты [6–8]. Этой проблемой стали интересоваться не только в Узбекистане, но и в России, и за рубежом [9–18].

В заключение особо следует отметить многолетнее и плодотворное сотрудничество с российскими учеными Н. Н. Брушлинским (главный координатор совместных узбекско-российских исследований), Е. А. Серебренниковым, Н. П. Копыловым, В. Л. Карповым, Р. А. Яйлиян и с другими специалистами-практиками, а также с сотрудниками ООО “СпецПожТех” (генеральный директор В. Ю. Шимко) по развитию данной технологии. Проведенное по заданию Газпрома РФ и при его финансовой поддержке в 2010 и 2011 гг. на полигоне ФГУ ВНИИПО МЧС РФ в Оренбургской обл. экспериментальное изучение возможностей безопасного рассеяния парогазовых облаков, образующихся при аварийном истечении сжиженного природного газа (СПГ) из малых емкостей, показало [19], что экраны обладают рядом дополнительных уникальных свойств, которые позволяют:

- обеспечить контроль над направлением распространения взрывопожароопасных газов, а также опасных газов (химически активных газов при авариях на химических предприятиях; газов, содержащих радионуклиды, при авариях на АЭС);
- в случае возникновения взрыва пожароопасного газа ограничить распространение взрыва за пределы огражденной экранами зоны и погасить пожар внутри ее.

Как видно из вышеизложенного, оба эти изобретения [20, 21] представляют собой прорывную инновационную технологию не только в области пожарной безопасности, но и в более широких сферах обеспечения безопасности в жизнедеятельности человека. Проведение дальнейших исследований позволит открыть широкие возможности для создания сотен устройств, реализующих эту технологию [22].

Выводы

Более чем за 15 лет использования различных видов теплозащитных экранов на предприятиях нефтегазохимической отрасли были разработаны наи-

более оптимальные модификации экранов отдельно для каждого из пожаровзрывоопасных участков объектов в зависимости от степени их риска. К примеру, резервуарные парки, автомобильные и железнодорожные сливноналивные эстакады, склады нефтепродуктов в бочкотаре, автозаправочные станции, а также пожарные части на особо важных объектах рекомендовано оснащать передвижными теплозащитными экранами, а стационарные лафетные стволы — стационарным теплозащитным экраном, обеспечивающим защиту оператора ствола от теплового излучения большой интенсивности.

Укомплектование на особо важных объектах лафетных стволов стационарными теплозащитными экранами и оснащение пожарных частей и вышеперечисленных участков с высоким уровнем риска передвижными и переносными индивидуальными теплозащитными экранами, безусловно, будет способствовать обеспечению требуемого уровня противопожарной защиты пожаровзрывоопасных участков стратегических объектов экономики.

Прошедшие боевые испытания на газонефтяных фонтанах укрытия “СОГДА”, предназначенные для защиты дежурных смен, а также укрытия “СОГДА-4” для лафетных стволов, устанавливаемых в непосредственной близости от устья фонтана и подающих воду в пламя фонтана, показали себя как незаменимые и уникальные средства защиты пожарных.

Кроме того, проведенные в 2010 и 2011 гг. на полигоне ФГУ ВНИИПО МЧС РФ экспериментальные исследования возможностей безопасного рассеяния парогазовых облаков, образующихся при аварийном истечении СПГ из малых емкостей, показали, что теплозащитные экраны обладают дополнительными уникальными свойствами, позволяющими не только обеспечить контроль над направлением распространения взрывопожароопасных газов, но и предотвратить распространение взрыва за пределы огражденной экранами зоны при возникновении его во взрывоопасной среде и погасить пожар внутри этой зоны.

Таким образом, исследования выявили, что научная идея “ослабления теплового потока” представляет собой прорывную инновационную технологию не только в области пожарной безопасности, но и в более широких сферах обеспечения безопасности в жизнедеятельности человека. Дальнейшая реализация исследований на основе этой научной идеи позволит открыть широкие возможности для создания сотен устройств, реализующих данную технологию (более подробную информацию можно посмотреть на сайтах www.sogda.uz, а также www.specpzhtech.ru.)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ройтман М. Я.* Основы противопожарного нормирования в строительстве. — М. : Стройиздат, 1969. — 478 с.
2. *Ройтман М. Я.* Противопожарное нормирование в строительстве. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Стройиздат, 1985. — 590 с.
3. *Брушлинский Н. Н., Соколов С. В., Усманов М. Х., Глуховенко Ю. М., Тычкин А. А.* Управление безопасностью сложных систем: методология, технологии, опыт // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. — 2002. — Вып. 6. — С. 22–46.
4. *Брушлинский Н. Н., Усманов М. Х., Шакиров Ф., Семенов В. П., Кулдашев А. Х., Исламов А. И.* Перспективы применения новых огнезащитных устройств на объектах нефтеперерабатывающей промышленности // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2004. — Т. 13, № 3. — С. 53–60.
5. *Усманов М. Х.* Влияние термического воздействия на ограждающие конструкции: новые методы экспертизы мест пожаров и теплозащиты : монография. — Ташкент : Высшая техническая школа пожарной безопасности МВД РУ, 2008. — 291 с.
6. *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.
7. *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: 05.04.2018).
8. *Кармес А. П.* Технические проблемы обеспечения тушения и предотвращения пожаров на нефтегазопроводах // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — 2014. — № 1. — С. 24–31.
9. *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.
10. *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.
11. *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.fire-saf.2005.07.007.
12. *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.
13. *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.
14. *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.
15. *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.fire-saf.2003.07.00.
16. *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.
17. *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.
18. *Cheung W. Y.* Radiation blockage of water curtain // International Journal on Engineering Performance-Based Fire Codes. — 2009. — No. 1. — P. 7–13.
19. *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.

20. Пат. 2182024 Российская Федерация. МПК А62С 2/08, А62С 35/68. Способ ослабления потоков энергии в виде света, тепла и конвективных газовых потоков и устройство к лафетному стволу для создания защитного экрана от потока энергии в виде света, тепла и конвективных газовых потоков / Усманов М. Х., Брушлинский Н. Н., Аблязис Р. А., Касымов Ю. У., Копылов Н. П., Лобанов Н. Б., Садыков Ш., Серебренников Е. А., Сабиров М., Худоев А. Д. — № 2000105809/12; заявл. 13.03.2000; опубл. 10.05.2002, Бюл. № 13.
21. Пат. 2506103 Российская Федерация. МПК А62С 3/00. Способ рассеивания газового облака, образующегося при утечке из наземной емкости, и устройство для его осуществления / Карпов В. Л., Шимко В. Ю., Усманов М. Х. — № 2012125835/12; заявл. 21.06.2012; опубл. 10.02.2014, Бюл. № 4.
22. *Корольченко А. Д.* Исследование предельных состояний водопленочной противопожарной преграды // Строительство — формирование среды жизнедеятельности : сб. тр. XX Международной межвузовской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых. — М. : МГСУ, 2017. — С. 463–466.

Материал поступил в редакцию 10 апреля 2018 г.

Для цитирования: Усманов М. Х., Кулдашев А. Х., Музафаров У. Т., Екубов У. А., Кулдашев И. Х. Опыт применения теплозащитных экранов “СОГДА” на пожаровзрывоопасных объектах в Узбекистане // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 5. — С. 50–60. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.05.50-60.

English

EXPERIENCE IN APPLICATION OF SOGDA THERMAL-PROTECTION SHIELDS AT FIRE AND EXPLOSION HAZARDOUS FACILITIES IN UZBEKISTAN

USMANOV M. Kh., Candidate of Physic-Mathematical Sciences, Academician of National Academy of Fire Science, Honoured Inventor and Innovator of Republic of Uzbekistan (Baysunkaya St., 109, Yashnabad District, Tashkent, 100076, Republic of Uzbekistan; e-mail: m_usmanov@mail.ru)

KULDASHEV A. Kh., First Deputy Minister for Emergency Situations of Republic of Uzbekistan (Kichik halka yuli St., 4, Yunusabad District, Tashkent, 100084, Republic of Uzbekistan; e-mail: info@fvv.uz)

MUZAFAROV U. T., First Deputy Head of Institute of Fire Safety of Ministry of Internal Affairs of Republic of Uzbekistan (Dustlik St., 5, Sergeliyskiy District, Tashkent, 100102, Republic of Uzbekistan; e-mail: ulmas1709@mail.ru)

EKUBOV U. A., Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Security Engineering and Technical Services, Military Institute of National Guard of Republic of Kazakhstan (Charsu Housing Estate, Tashkent Region, Zangiata District, 100109, Republic of Uzbekistan; e-mail: ulugbek799@yandex.ru)

KULDASHEV I. Kh., Head of Editorial and Publishing Department, Military Institute of National Guard of Republic of Kazakhstan (Charsu Housing Estate, Tashkent Region, Zangiata District, 100109, Republic of Uzbekistan)

ABSTRACT

Goal. The aim and objective of the study is to summarize the long-term experience of the State Fire Safety Service of the Republic of Uzbekistan in equipping the industrial enterprises of the oil and gas and chemical industries with various models of thermal-protection shields, their optimal location, methods of their application and delivery, training of firefighters and members of the Voluntary Fire Brigade (VFB) in the application of this innovative equipment, as well as the experience in application of special types of shields in the elimination of accidents at oil and gas gushers.

Review of experience in application of the shields. Outputs. The experience of using SOGDA thermal-protection shields at fire hazardous facilities in Uzbekistan, as evidenced by the example of

the Bukhara Oil Refinery Plant, shows that they increase the operational readiness of the force and VFB members of the facility in the event of an emergency, protect their life and health during the elimination of accidents, which will obviously improve fire-fighting efficiency. Thermal-protection shields SOGDA are adopted by such large facilities in the Republic of Uzbekistan as the Bukhara Oil Refinery Plant (refinery), the Fergana refinery, etc.

Conclusions. In more than 15 years of using different types of thermal-protection shields by the companies in the oil and gas chemical industry, their most rational modifications have been developed separately for each of the fire and explosion hazardous sites of the facilities, depending on their risk degree. For example, tank batteries, truck and rail loading and unloading racks, barrel storage warehouses for oil products, gas stations, as well as fire-fighting stations at highly important facilities are recommended to be equipped with mobile thermal-protection shields, and for fixed fire-fighting monitors a stationary thermal-protection shield, which protects the operator of the monitor against high intensity thermal radiation, is recommended.

Further research showed that the scientific idea of “attenuation of heat flow” represents a breakthrough innovative technology not only in the field of fire safety, but also in wider areas ensuring safety of human activities. The implementation of research based on this scientific idea will open wide opportunities for creating hundreds of devices implementing this technology.

Keywords: thermal-protection shields; attenuation of heat flows; oil and gas gushers; tank battery; loading and unloading rack; pumping station; prospects.

REFERENCES

1. Roytman M. Ya. *Osnovy protivopozharnogo normirovaniya v stroitelstve* [Basis of fire-prevention rationing in construction]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1969. 478 p. (in Russian).
2. Roytman M. Ya. *Protivopozharnoye normirovaniye v stroitelstve* [Fire-prevention rationing in construction]. 2nd ed. Moscow, Stroyizdat Publ., 1985. 590 p. (in Russian).
3. Brushlinskiy N. N., Sokolov S. V., Usmanov M. Kh., Glukhovenko Yu. M., Tychkin A. A. Managing the safety of complex systems: methodology, technologies, experience. *Problemy bezopasnosti i chrezvychaynykh situatsiy / Safety and Emergencies Problems*, 2002, issue 6, pp. 22–46 (in Russian).
4. Brushlinskiy N. N., Usmanov M. Kh., Shakirov F., Semenov V. P., Kuldashev A. Kh., Islamov A. I. Perspectives of application of new fire protection devices on the objects of oil industry. *Pozharovzryvo-bezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2004, vol. 13, no. 3, pp. 53–60 (in Russian).
5. Usmanov M. Kh. *Vliyaniye termicheskogo vozdeystviya na ograzhdayushchiye konstruksii: novyye metody ekspertizy mest pozharov i teplozashchity. Monografiya* [Thermal influence to protect constructions: new methods of examination of fire origin and warmprotect. Monograph]. Tashkent, Higher Technical School of Fire Safety Publ., 2008. 291 p. (in Russian).
6. 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).
7. 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 5 April 2018).
8. 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).
9. 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.
10. 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.
11. 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.

12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. 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.
17. 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.
18. Cheung W. Y. Radiation blockage of water curtain. *International Journal on Engineering Performance-Based Fire Codes*, 2009, no. 1, pp. 7–13.
19. 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).
20. Usmanov M. Kh., Brushlinskiy N. N., Ablyazis R. A., Kasymov Yu. U., Kopylov N. P., Lobanov N. B., Sadykov Sh., Serebrennikov E. A., Sabirov M., Khudoyev A. D. *Method for attenuating energy flows in the form of light, heat, and convective gas streams and the device to be applied with fire-fighting monitor to create a protective shield securing against the influence of energy flow in the form of light, heat, and convective gas streams*. Patent RU, no. 2182024, publ. date 10.05.2002, Bull. 13 (in Russian).
21. Karpov V. L., Shimko V. Yu., Usmanov M. Kh. *Method of dispersion of gas cloud formed during leakage from ground container and device for its implementation*. Patent RU, no. 2506103, publ. date 10.02.2014, Bull. 4 (in Russian).
22. Korolchenko A. D. Issledovaniye predelnykh sostoyaniy vodoplenochnoy protivopozharnoy pregrady [Study of the limiting states of a water-film fire barrier]. In: *Stroitelstvo — formirovaniye sredy zhiznedeystel'nosti. Sbornik trudov XX Mezhdunarodnoy mezhvuzovskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, magistrantov, aspirantov i molodykh uchenykh* [Construction — the formation of the environment of life. Proceedings of XX International Interuniversity Scientific and Practical Conference of Students, Undergraduates, Graduate Students and Young Scientists]. Moscow, MGSU Publ., 2017, pp. 463–466 (in Russian).

For citation: Usmanov M. Kh., Kuldashev A. Kh., Muzafarov U. T., Ekubov U. A., Kuldashev I. Kh. Experience in application of SOGDA thermal-protection shields at fire and explosion hazardous facilities in Uzbekistan. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 5, pp. 50–60 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.05.50-60.

В. Д. ЗАХМАТОВ, д-р техн. наук, профессор, профессор научно-организационного отдела, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: zet.pulse@gmail.com)

С. А. ТУРСЕНЕВ, канд. техн. наук, начальник научно-организационного отдела, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: stursenev@ya.ru)

М. В. ЧЕРНЫШОВ, д-р техн. наук, профессор кафедры "Плазмогазо-динамика и теплотехника", Балтийский государственный технический университет "ВоенМех" им. Д. Ф. Устинова (Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, 1-я Красноармейская ул., 1; e-mail: mvcher@mail.ru)

А. А. АДАЕВ, ООО "ПрогрессПожСервис" (Россия, 446100, Самарская обл., г. Чапаевск, ул. Чапаева, 10; e-mail: aladaev2006@yandex.ru)

А. В. БЕКАСОВ, ООО "ПрогрессПожСервис" (Россия, 446100, Самарская обл., г. Чапаевск, ул. Чапаева, 10; e-mail: albekasov@yandex.ru)

УДК 654.924.5

НОВЫЕ СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭВАКУАЦИИ В ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЯХ С МАССОВЫМ ПРЕБЫВАНИЕМ ЛЮДЕЙ

Показано, что новый мини-огнетушитель превосходит существующие огнетушители как в качественном отношении (обеспечивая возможность эвакуации и безопасного тушения горящей одежды на человеке), так и по своим характеристикам (эффективности, дальности, масштабу воздействия, степени безопасности). Обосновывается необходимость широкого внедрения уникальных компактных устройств осаждения дыма в практику обеспечения эвакуации из общественных зданий, в частности из торговых центров. Рассматривается распылитель новой конструкции, не имеющий ограничений для применения в общественных зданиях с массовым пребыванием людей. Даются описание и анализ экспериментов. Разработаны рекомендации по применению распылителя, обсуждается дальнейшее развитие его конструкции.

Ключевые слова: торгово-развлекательный комплекс; пожар; токсичный дым; эвакуация; импульсный огнетушитель; осаждение дыма; сбивание пламени; обеспечение путей эвакуации.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.05.61-69

Введение

Актуальность рассматриваемой проблемы объясняется многочисленными фактами массовой гибели людей от токсичного дыма при пожарах на дискотеках, в торгово-развлекательных центрах (ТРЦ) и других общественных зданиях. В статье обосновывается необходимость широкого внедрения уникальных компактных устройств осаждения дыма в практику обеспечения эвакуации из общественных зданий, в частности из торговых центров. Необходимость разработки и производства таких устройств обусловлена отсутствием недорогих, компактных, долговечных технических средств, способных эффективно осаживать дым и сбивать пламя хотя бы на участке 5–10 м для обеспечения возможности эвакуации людей в безопасное место.

Анализируя уровень пожарного риска в ТРЦ, состояние техники, обеспечивающей их противопожарную защиту и эвакуацию из них, многие авторы

[1, 2] отмечают, что ее нынешнее состояние не соответствует уровню пожарной опасности ТРЦ. В России и во многих промышленно развитых странах многократно и с многочисленными жертвами возникали пожары в домах инвалидов, помещениях дискотек, больницах, ТРЦ и других аналогичных зданиях [2, 3]. Так, например, последний разрушительный пожар возник в самом большом торгово-развлекательном комплексе Германии "Европа-Паркинг" (май 2018 г.).

Основной особенностью развития пожара в ТРЦ является его обнаружение, когда пламя и дым уже быстро распространяются по помещениям в результате ненормативного применения легковоспламеняемых и сильногорючих отделочных, облицовочных материалов, выделяющих при пожаре густые клубы сильно ядовитого дыма [3, 4]. Дети и даже взрослые нередко не успевают покинуть помещения из-за быстро распространяющихся клубов дыма, что хо-

рошо видно на записях видеокамер наблюдения. По этой же причине и спасение их затруднено: пожарные, охранники, добровольцы, спасающие людей, сами могут внезапно потерять сознание.

В ТРЦ функционируют кинотеатры, фудкорты, супермакеты электроники, продовольственные магазины, боулинг, детский центр с аттракционами, отделения банков. При всем обилии современной техники, служащей интересам бизнеса, в ТРЦ часто не работают системы оповещения, которые отключают во избежание ложных срабатываний [2, 4]. Владельцы ТРЦ экономят на более совершенных датчиках, их дублировании и аналитических модулях, практически исключая ложную тревогу. Кроме того, часто не работают спринклерные и дренчерные системы орошения, закрываются эвакуационные выходы, что относится к грубым нарушениям правил техники безопасности со стороны администрации и охраны ТРЦ.

Типовые проекты дешево и быстро возводимых зданий торговых центров отличаются высокой пожароопасностью. Особенности их конструкций, материалы отделки, поролоновые маты в игровых зонах и другие аналогичные факторы способствуют быстрому распространению пламени и токсичного дыма, отрезающих пути эвакуации, что повышает вероятность гибели людей. Еще результаты расследования катастрофического пожара в торгово-развлекательном центре “Адмирал” (г. Казань, 2015 г.) красноречиво подтвердили выводы специалистов ООО “Colliers International”, строящего быстровозводимые здания: “Нельзя переделывать старые бетонные здания в новые с помощью быстровозводимых конструкций, тем более в масштабные ТРЦ — это нужно строго запретить. Однако таких зданий ТРЦ много, закрыть их нереально — какие же другие пути можно предложить?” [2].

В ТРЦ и других пожароопасных общественных местах со сложными протяженными путями эвакуации детям нельзя находиться без родителей. Как показала, например, трагедия в кемеровской “Зимней вишне”, на детских сеансах в кинотеатрах, представлениях в театрах и на дискотеках несовершеннолетние должны находиться под наблюдением квалифицированного персонала, в том числе охранников, обученных организации эвакуации и регулярно тренирующихся. Мы предлагаем оснастить охранные структуры эффективными компактными распылителями для осаждения и нейтрализации токсичного дыма, сбивания пламени в целях обеспечения безопасного пути эвакуации. Распылители удобны для ношения (например, на поясе) и могут храниться в шкафчиках (до нескольких десятков) под контролем охранников в игровых и зрительных залах, детских комнатах, а также на путях эвакуации в коридорах. Это необходимо даже в тех случа-

ях, когда инструкции по обеспечению безопасности безукоризненно соблюдаются: открыты все эвакуационные выходы, работают современные датчики, системы оповещения дублированы и оснащены аналитическими модулями против ложных срабатываний.

Таким образом, надежность и эффективность традиционных спринклерных систем в условиях помещений большой площади и объема, насыщенных быстрогорящими материалами с высокой интенсивностью дымообразования, со сложными и протяженными путями эвакуации, весьма низки. Пневматические, пневмоимпульсные и гидравлические стандартные средства тушения часто неработоспособны и практически бесполезны в руках необученных охранников, и тем более посетителей, не имеющих навыков работы с ними в условиях пожара. Для вывода людей из зоны пожара охранники должны иметь эффективные компактные средства осаждения дыма и сбивания пламени на путях эвакуации.

Цель настоящей статьи — обоснование необходимости широкого внедрения уникальных, компактных устройств осаждения дыма в практику обеспечения эвакуации из общественных зданий, в частности из торговых центров. В настоящей статье решаются следующие задачи: обоснование конструкции распылителя, не имеющего ограничений для применения в общественных зданиях с массовым пребыванием людей; выбор прототипа массового применения; описание и анализ проведенных экспериментов; разработка рекомендаций по применению распылителя и обоснование дальнейшего развития его конструкции.

Обоснование нового метода и техники спасения

Для реализации нового метода и соответствующей технологии спасения в условиях густой токсичной задымленности предлагается создать новое компактное импульсно-распылительное устройство. Оно должно быть предельно простым в обращении (на уровне новогодних хлопушек) и в то же время эффективным при сбивании пламени, осаждении оптически плотного дыма и нейтрализации токсичных продуктов горения. Распылители нового типа планируется сделать дешевыми и надежными (безотказными), способными распылять на дальние расстояния в виде локальных вихрей экологически чистые, нетоксичные огнетушащие агенты (например, гели, воду и растворы). Благодаря этому данные устройства, как и средства импульсного пожаротушения в целом, будут обладать широчайшим спектром практического применения [4–7].

Принцип действия таких устройств является качественно новым. Он состоит в создании газоба-

пельного шквала со следующими основными особенностями: несущей газовой фазой; многовихревой структурой, устойчивой к разрушающему аэродинамическому воздействию; широким слабым ударным фронтом. Шквал с ударно-волновым фронтом [7–11], играющим роль фильтра частиц дыма микронных размеров, в зависимости от характерных размеров капель и расстояния между ними может быстро осадить дым по всей длине коридора и на краткий период времени создать проход для безопасной эвакуации. Нередко такой шквал способен потушить источник дыма в пористых, тканевых, твердых искусственных материалах или сбить пламя на пути эвакуации [12–17].

Обоснование выбора конструкции распылителя и его прототипа из готовых изделий сигнально-спасательного назначения

Результаты анализа широкого диапазона различных изделий показывают, что наилучшим прототипом компактного дымоосадителя — мини-огнетушителя являются сигнальные ракеты вследствие целого ряда причин:

1) простота устройства и приведения в действие. Пожаротушащее устройство приводится в действие минимальным количеством простых движений: достать, снять защитный колпачок, навести прицел на очаг пожара, дернуть за шнур пускового устройства. Эти движения единственно возможны при обращении с данным устройством, не требуют длительных навыков и тренировок для правильного прицеливания и инициирования распылительного выстрела [18–20]. Кроме того, алгоритм движений знаком практически всем с детства по обращению с новогодними хлопушками;

2) отсутствие необходимости сервисного обслуживания или его минимизация;

3) возможность долговременного хранения (до 10–15 лет) в широком диапазоне температур (от минус 50 до +60 °С) и других природных условий;

4) стабильность действия в данном диапазоне температур и природных условий;

5) современная криминальная обстановка в Европе, которая диктует необходимость использования для защиты компактного, постоянно носимого устройства самозащиты. Это особенно актуально для молодых женщин, девушек, подростков, подвергающихся нападениям криминальных элементов.

Существует множество типов ракет, предназначенных для аварийной сигнализации, передачи информации, освещения и других целей. Туристы, альпинисты и другие путешественники чаще всего используют ракеты в качестве аварийного сигнального средства.

При выборе базовой модели для создания надежных импульсных распылителей, осаждающих дым, следует предпочесть пиротехнические изделия, выполненные на заводах оборонного профиля со строгим контролем качества. К их числу относятся военные и штатные аварийные сигнальные ракеты и фальшфейеры промышленного изготовления. Такие “фейерверки” качественно более надежны и безопасны в обращении, чем собранные в полкустарных мастерских. Корпуса ракет предпочтительны не “бумажные”, а изготовленные, как минимум, из толстого прессованного картона или пластмассы с металлическими усилительными кольцами. Корпуса должны обладать максимальной твердостью и герметичностью. Все парашютные ракеты и другие пиротехнические сигнальные средства конструк-



Рис. 1. Мини-огнетушители вместимостью 0,4 л образца 2018 г. на стенде Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (а) и крупным планом (б), разработанные проф. В. Д. Захматовым (в)

Fig. 1. Mini-extinguisher 0.4 liter at “Little Boy”, made in 2018 year at the stand of the University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Measures of Russia (a) and mini-extinguisher 0.4 liter close-up (b), designed by prof. Vladimir Zakhmatov (v)

тивно подготовлены к выстрелу, поэтому обращаться с ними следует с соблюдением особой осторожности.

Опыт производства прототипов портативных пожаротушающих устройств показывает, что сборка распылителя выстрелом занимает существенно (в 2–3 раза) меньше времени по сравнению со сборкой сигнальной ракеты калибра 26 или 40 мм ввиду сокращения количества операций и сборочных элементов с 35 до 14. Многие детали сигнальной ракеты, не нужные для решения задачи борьбы с огнем и дымом, сложны конструктивно и дороги в производстве, поэтому себестоимость производства импульсного распылителя выстрелом снижается в 1,8–2 раза по сравнению с сигнальной ракетой. Опытно-промышленные образцы новых мини-распылителей — мини-огнетушителей показаны на рис. 1.

Методика испытаний

Испытания новых устройств импульсного пожаротушения и осаждения продуктов горения проводились на открытой местности, а также в крупно-размерном ангаре для исключения влияния ветра. Процесс и результаты испытаний фиксировались видеосъемкой и визуально. Для имитации дыма применялись стандартные дымовые шашки, дающие густые клубы дыма. Для оценки дальности и эффективности тушения использовались стандартные модельные очаги А (сосновые плашки 40×40×400 мм, штабель плашек 400×400×400 мм) и нестандартные, созданные разлитием бензина на цементном или асфальтовом полу ангара.

Для приведения разработанного распылителя в действие необходимо совершить четыре простых последовательных действия: 1) выбрать позицию тушения на расстоянии не менее 1–2 м от очага пожара; 2) снять предохранительную крышку со среза ствола; 3) направить распылитель на очаг пожара таким образом, чтобы вихрь распыленного огнетушащего состава накрыл своим фронтом сразу всю площадь возгорания или ее часть (до 1 м² горячей поверхности без учета неровностей — выемок и впадин); 4) резко выдернуть вытяжной шнур, прикрепленный к проволочной терке.

Результаты испытаний

Функциональное воздействие вихря (тушение, осаждение дыма, сбивание пламени) наиболее эффективно на участке полета его сплошного фронта. При распылении 350–400 г огнетушащих порошковых составов (ОПС) ПСБ-3 и “Пирант” этот участок на траектории полета фронта газопорошкового вихря простирается на расстояние до 18–22 м от устройства. Площадь фронта на этом участке увели-

чивается от 0,1 до 2 м². При распылении 350–400 г водных растворов ОПС участок стабильного полета — “жизни” сплошного фронта газоводяного шквала составляет 10–15 м от среза ствола. Площадь фронта на этом участке увеличивается от 0,1 до 2,5 м². Исходя из этих экспериментально полученных закономерностей работы мини-распылителя, и надо осуществлять его эксплуатацию. Дальность распыления, длина наиболее эффективного участка траектории и площадь фронта на этом участке зависят от вида, массы, агрегатного состояния и плотности состава, а также от динамических параметров фронта, исходя из требуемого вида его функционального воздействия. Эти параметры с трудом поддаются расчету методами вычислительной гидрогазодинамики ввиду нестационарности и сложности процессов межфазного взаимодействия и тепломассообмена. Поэтому реален только эмпирический путь определения взаимосвязи параметров распыления — длины траектории, изменения площади фронта вихря и функциональной эффективности мини-распылителя.

Экспериментально определены следующие параметры функционального воздействия шквала при тонкодисперсном распылении воды разработанным устройством:

- быстрое сбивание пламени и осаждение густого дыма на расстоянии 10–15 м;
- тушение горящей одежды на человеке на расстоянии до 6–8 м;
- отсутствие раздражающего действия;
- реабилитация человека, находящегося в бессознательном или паническом состоянии.

По своим габаритам импульсные мини-огнетушители могут быть карманными, обеспечивающими функциональное воздействие в радиусе до 3–8 м; набедренного и поясного ношения, эффективно действующими на расстоянии до 10–15 м. Эффективность воздействия означает, что на указанных расстояниях разработанные мини-огнетушители:

- тушат различные возгорания, в том числе от специальных зажигательных составов (например, напалма), применяемых в диверсионных устройствах и зажигательном оружии;
- тушат горящую одежду на человеке, например на полицейском при попадании в него бутылки с “коктейлем Молотова” (рис. 2);
- справляются с локальными пожарами классов А (твердые горящие материалы), В (горящие жидкости), С (горящие газы), D (электрооборудование под напряжением);
- обеспечивают остановку и нейтрализацию атакующего злоумышленника одним распылом с дистанции до 20 м.



Рис. 2. Пример тушения горящего манекена в шлеме и форме полицейского опытным мини-огнетушителем

Fig. 2. An example of extinguishing out a burning policeman in a helmet and uniform by an experienced mini fire extinguisher

Мини-распылители создают газопылевые вихри и газоводяные шквалы, содержащие в виде тонкодисперсной фазы:

- огнетушащие гели и жидкости, включая составы, создающие при взаимодействии с воздухом клейкие, герметичные пленки;
- огнетушащие составы, допущенные для применения в помещениях с людьми. К ним может относиться, например, порошок, создающий сильное раздражающее воздействие на органы зрения, дыхания, обоняния, которое не имеет вредных последствий;
- природные материалы, экологически чистые, нетоксичные (песок, вода), слабоактивные (пищевая сода), и инертные пыли, останавливающие и раздражающие организм при определенных динамических режимах подачи, но не наносящие травм, химических ожогов и увечий. Человеческий организм сам справляется с последствиями их воздействия без помощи врача;
- красящие составы для применения полицией при контроле массовых беспорядков.

Мини-огнетушители разработанной конструкции имеют следующие преимущества по сравнению с газовым баллончиком при индивидуальном применении в целях обеспечения безопасности:

- воздействие только на цель (отсутствие обратного воздействия на того, кто его применяет);
- высокая вероятность попадания широким фронтом шквала (площадь фронта мини-вихря в диапазоне от 0,1 до 1,5 м² быстро возрастает вдоль дистанции распыления);
- значительная дальность действия (до 10–20 м — для мини-огнетушителя, 0,5–1,0 м — для баллончика);
- гарантия безотказного срабатывания на 5–10 лет (для портативного газового баллона — на 2–3 мес. при одинаковой стоимости изделия);
- нетоксичность действия (в отличие от газа баллончика, который может выжечь глаза, носоглотку, рот);
- возможность применения порошков с перцовой добавкой, наиболее эффективных из числа нетоксичных.

Опыт применения прототипов распылителя, выпущенных с участием автора идеи

Мини-огнетушители вместимостью 0,15; 0,25 и 0,33 л (см. таблицу) выпускались в советское время и в 1990-е годы промышленными партиями. В частности, в 1979 г. ПО “Сигнал” (г. Челябинск) выпустило 12 тыс. мини-огнетушителей “Олимпиада” 0,15 л на базе корпусов и воспламенителей сигнальных ракет калибра 40 мм по заказу органов правопорядка, обеспечивающих безопасность на Московской Олимпиаде (1980 г.), в качестве карманных распылителей для правоохранителей в штатском. В период проведения Олимпиады они были использованы для тушения 3 чел. в горящей одежде, подавления более 250 возгораний и прекращения до 150 мелких драк без нанесения травм и причинения отравлений.

Характеристики мини-огнетушителей / Parameters of mini-extinguishers

Параметр Parameter	Мини-огнетушитель / Mini-extinguisher		
	Олимпиада-80/ Малыш Olimpiada-80/Kid	Импульс-0,33/ Импульс-04 Impulse-0,33/ Impulse-0,4	Многоразовый + 5 контейнеров Multi-usage + 5 containers
Масса общая, г / Total weight, gr	450/750	900/700	3500 (1000 + 500×5)
Масса распыляемого состава, кг / Spray mass, kg	125/250	250/400	1980 (330 + 330×5)
Радиус тушения, м / Extinguish range, m	1,5/2,5	4/4–12	3,5
Площадь тушения, м ² / Area of extinguish, m ²	0,25/0,5	0,5/1	4,5–6
Длина ствола, мм / Barrel's long, mm	165/260	170/220	550
Диаметр ствола, мм / Barrel's caliber, mm	40	50	50

В 1994–1996 гг. в Киеве выпускался мини-огнетушитель “ОПЭ-1” вместимостью 0,33 л в количестве 10 тыс. шт. Все изделия были реализованы по цене в 6–8 раз выше себестоимости их производства. В 1992–1994 гг. на заводе в Самарской обл. выпустили партию мини-огнетушителей “Малыш” вместимостью 0,25 л в количестве 900 тыс. шт. Причиной отсутствия дальнейшего развития этих проектов (см. таблицу) стали неправильные действия выпускающих фирм по сертификации продукции, налаживанию рынка сбыта и отсутствие современной рекламы.

Обсуждение результатов. Рекомендации по применению мини-распылителей

Эксперименты показали, что импульсные мини-распылители вместимостью 0,4 л с терочным инициатором тушат различные возгорания, включая поджоги посредством зажигательных составов; человека в горящей одежде (например, полицейского при попадании в него бутылки с “коктейлем Молотова”) [19, 20], локальные пожары классов А–F.

Шквалы с толщиной фронта 0,5–1,0 м, создаваемые распылителями, могут осадить густой дым в коридоре на участке длиной 10–15 м в течение 1 с и на краткий период времени (2–5 с) очистить пути эвакуации для людей от дыма. Фронт шквала способен также эффективно и быстро потушить источник дыма в пористых, тканевых, твердых искусственных материалах или сбить пламя на пути эвакуации. Поэтому такие распылители (20–30 шт.) должны быть на постах охранников в ТРЦ, у охранников в игровых комнатах, а также размещаться с интервалом 10–20 м на путях эвакуации в специальных настенных держателях.

Разработанные распылители дешевы, просты и надежны в эксплуатации. Они могут потушить горящую одежду на людях в течение 1–2 с, что с высокой вероятностью спасет их от тяжелых болезненных ожогов. Поэтому такие распылители должны быть в наличии у сотрудников противопожарной службы, которые должны носить их в специальных набедренных карманах во время работы по тушению пожара.

Ударный фронт шквала или вихря, создаваемый этими распылителями, способен остановить и нейтрализовать бандита одним распылением без обрат-

ного эффекта на обороняющегося быстрее, лучше и надежнее, чем газовые баллончики и пистолеты. Поэтому несколько таких огнетушителей должны находиться в багажниках полицейских автомобилей, мотоциклов, на постах объектовой полиции, дежурных, охранников и другого персонала различных объектов массового пользования (торговых центров, кинотеатров, театров, стадионов). Другая причина вооружения полицейских такими огнетушителями состоит в том, что, как правило, полиция значительно раньше пожарных прибывает на место автомобильных аварий и не может спасти людей из горящих автомобилей.

Данный распылитель можно эффективно применять для самозащиты путем распыления штатных раздражающих составов, инертной пыли или слабораздражающих огнетушащих порошков. Скоростной плотный фронт газопорошкового вихря многократно усиливает раздражение по сравнению с малоподвижным воздушно-порошковым облаком. Точное определение оптимальных параметров воздействия и скоростных диапазонов требует проведения дальнейших экспериментов.

Выводы

Новый мини-огнетушитель превосходит существующие как в качественном отношении, обеспечивая возможность эвакуации и безопасного тушения горящей одежды на человеке, так и по своим характеристикам (эффективности, дальности, масштабу воздействия и степени безопасности).

Можно рекомендовать новый вид огнетушителя для сертификации и дальнейшей организации серийного производства в целях широкого применения в общественных зданиях для защиты людей и обеспечения их эвакуации.

Рынок сбыта миниатюрного огнетушителя представляется очевидным: торговые комплексы; офисы; места массового скопления людей — кинозалы, театры, музеи, здания, где проводятся дискотеки, выставки, конференции; автомобили; квартиры, коридоры и лестничные клетки в многоэтажных домах, особенно в небоскребах; промышленные объекты — заводы, склады, подземные сооружения (в первую очередь нефтегазовые), химические производства, энергетические объекты, включая атомные электростанции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калач А. В., Петров Е. Ю., Федянин В. И. Применение новых систем пожарной безопасности по предупреждению возникновения пожара в торгово-развлекательном комплексе “Московский проспект” // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. — 2012. — № 1(3). — С. 334–337.

2. Мальцев А. Н. Внедрение автоматических систем пожаротушения в торговых комплексах // NovaInfo.Ru. — 2016. — Т. 2, № 53. — С. 66–70.
3. Харченко И. А., Климак П. В., Скоробагатько Т. Н., Якименко Е. Ф. Токсичность продуктов горения — основная причина гибели людей вследствие пожаров // Актуальные проблемы транспортной медицины. — 2006. — № 4(6). — С. 41–45.
4. Хоанг Тхо Дык, Корольченко А. Я. Выбор системы оповещения и управления эвакуацией при пожаре // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2013. — Т. 22, № 1. — С. 69–75.
5. Recht R. F. High velocity impact dynamics: analytical modeling and plate penetration dynamics // High velocity impact dynamics / Zucas J. A. (ed.). — New York : John Wiley & Sons, 1990. — P. 443–513.
6. Han J., Tryggvason G. Secondary breakup of axisymmetric liquid drops. II. Impulsive acceleration // Physics of Fluids. — 2001. — Vol. 13, No. 6. — P. 1554–1565. DOI: 10.1063/1.1370389.
7. Thomas G. O. On the conditions required for explosion mitigation by water sprays // Process Safety and Environmental Protection. — 2000. — Vol. 78, Issue 5. — P. 339–354. DOI: 10.1205/095758200530862.
8. Duan R.-Q., Koshizuka S., Oka Y. Numerical and theoretical investigation of effect of density ratio on the critical Weber number of droplet breakup // Journal of Nuclear Science and Technology. — 2003. — Vol. 40, No. 7. — P. 501–508. DOI: 10.1080/18811248.2003.9715384.
9. Segal S., Chandy A., Mikolaitis D. Breakup of droplets under shock impact // Advances in confined detonations / Roy G. D., Frolov S. M., Santoro R. J., Tsyganov S. A. (eds.). — Moscow : Torus Press, 2002. — P. 127–132.
10. Zakhmatov V. D., Silnikov M. V., Chernyshov M. V. Devices to beat out the flames of rocket propulsive jets at spaceship starting // European Journal of Natural History. — 2016. — No. 4. — P. 72–79.
11. Yanson L., Phariss M., Hermanson J. Effects of liquid superheat on droplet disruption in a supersonic stream // 43rd AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit (10–13 January 2005, Reno, Nevada). — Paper AIAA 2005-351. DOI: 10.2514/6.2005-351.
12. Luxford G., Hammond D. W., Ivey P. Role of droplet distortion and break-up in large droplet aircraft icing // 42nd AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit (5–8 January 2004, Reno, Nevada). — Paper AIAA 2004-411. DOI: 10.2514/6.2004-411.
13. Park S. W., Kim S., Lee C. S. Breakup and atomization characteristics of mono-dispersed diesel droplets in a cross-flow air stream // International Journal of Multiphase Flow. — 2006. — Vol. 32, No. 7. — P. 807–822. DOI: 10.1016/j.ijmultiphaseflow.2006.02.019.
14. Duan R.-Q., Koshizuka S., Oka Y. Two-dimensional simulation of drop deformation and breakup at around the critical Weber number // Nuclear Engineering and Design. — 2003. — Vol. 225, No. 1. — P. 37–48. DOI: 10.1016/s0029-5493(03)00137-7.
15. Nomura K., Koshizuka S., Oka Y., Obata H. Numerical analysis of droplet breakup behavior using particle method // Journal of Nuclear Science and Technology. — 2001. — Vol. 38, No. 12. — P. 1057–1064. DOI: 10.3327/jnst.38.1057.
16. Чернышов М. В., Данилов Н. А. Исследование и оптимизация ударно-волновых систем и структур в задачах аэрогазодинамики и взрывозащиты // XI Всероссийский съезд по проблемам теоретической и прикладной механики : сб. докл. — Казань : Изд-во Казан. ун-та, 2015. — С. 4067–4070.
17. Бочкарева Е. М., Немцев В. А., Сорокин В. В., Терехов В. В., Терехов В. И. Снижение давления пара при конденсации на холодных каплях жидкости // Инженерно-физический журнал. — 2016. — Т. 89, № 3. — С. 542–547.
18. Zakhmatov V. D., Silnikov M. V., Chernyshov M. V. Overview of impulse fire-extinguishing system applications // Journal of Industrial Pollution Control. — 2016. — Vol. 32, No. 2. — P. 490–499.
19. Захматов В. Д., Пузыня О. В. Защита полицейских в условиях массовых беспорядков // Защита и безопасность. — 2014. — № 2(69). — С. 10–11.
20. Zakhmatov V. Torud, pommid ja labidad — plahvatuslik tuletojetehnoloogia // Inseneeria (Tallinn, Estonia). — 2014. — No. 2. — P. 14–20.

Материал поступил в редакцию 21 марта 2018 г.

Для цитирования: Захматов В. Д., Турсенев С. А., Чернышов М. В., Адаев А. А., Бекасов А. В. Новые средства обеспечения эвакуации в общественных зданиях с массовым пребыванием людей // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 5. — С. 61–69. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.05.61-69.

NEW MEANS OF PROVIDING EVACUATION IN PUBLIC BUILDINGS WITH MASS STAY OF PEOPLE

ZAKHMATOV V. D., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Scientific and Organizational Department, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail: zet.pulse@gmail.com)

TURSENEV S. A., Candidate of Technical Sciences, Head of Scientific and Organizational Department, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail: stursenev@ya.ru)

CHERNYSHOV M. V., Doctor of Technical Sciences, Professor of Plasmogazodynamics and Heat Engineering Department, Baltic State Technical University "VoenMeh" named after D. F. Ustinov (1-ya Krasnoarmeyskaya St., 1, Saint Petersburg, 190005, Russian Federation; e-mail: mvcher@mail.ru)

ADAEV A. A., OOO ProgressPozhServis (Chapaeva St., 10, Samara Region, Chapaevsk, 446100, Russian Federation; e-mail: aladaev2006@yandex.ru)

BEKASOV A. V., OOO ProgressPozhServis (Chapaeva St., 10, Samara Region, Chapaevsk, 446100, Russian Federation; e-mail: albekasov@yandex.ru)

ABSTRACT

Introduction. The purpose of the article is to substantiate the need for widespread implementation of unique compact smoke deposition devices in the practice of providing evacuation from public buildings, in particular shopping centers. The following problems are solved in the article: the rationale for the design of the nebulizer, which has no limitations for use in public buildings with a mass stay of people; choice of the prototype of mass application; description and analysis of the experiments; development of recommendations for the use of the nebulizer; the rationale for the further development of its design.

Methodology. It is shown that toxic smoke is a major damaging factor (more than 90 % of people affected by fires in public buildings, including shopping mall). For the deposition of smoke and provide escape routes, sprinkler systems are designed, but they are ineffective for smoke deposition and ineffective in neutralizing toxicity. A whole complex of measures was developed for the urgent alteration of shopping centers, increasing the executive discipline of personnel and building owners, eliminating numerous violations of the construction of prefabricated buildings, replacing flammable finishing materials and fillers of soft toys, intensively emitting smoke, regular training for evacuation from shopping centers, advanced training in protection.

Results and discussion. It is substantiated that the fastest and most effective measure can be the equipping of shopping centers with new manual smoke sedimenting extinguishers — mini fire extinguishers. In the polygon tests, the effectiveness of new devices for creating evacuation routes by the method of precipitation and neutralization of thick toxic smoke was demonstrated. It is shown that the use of these devices does not require special training: they can be effectively used by guards and visitors to shopping centers and other public buildings for self-rescue, putting out burning clothes on a person and creating short passes in smoke. A high range of spraying and quenching by mini fire extinguishers has been identified. Their advantages are proved in comparison with stationary sprinkler systems, according to the instructions intended.

Conclusions. It is expedient and necessary to create and certify the production of new impulse sprayers with compactness, durability, efficiency, and to conduct an advertising campaign based on the results presented, to create a regulatory framework and legislative support for the introduction of such sprayers in the interests of the safety of visitors to the SEC, discotheques and other public buildings

Keywords: shopping and entertainment center; conflagration; toxic spoke; evacuation; pulse fire extinguisher; smoke deposition; flame beating; evacuation way support.

REFERENCES

1. Kalach A. V., Petrov E. Yu., Fedyanin V. A I. Application of new fire safety systems for prevention of conflagration in shopping and entertainment center “Moskovsky Prospekt”. *Sovremennyye tekhnologii obespecheniya grazhdanskoy oborony i likvidatsii posledstviy chrezvychaynykh situatsiy / Modern Technologies of Civil Defense and Elimination of Emergencies*, 2012, no. 1(3), pp. 334–337 (in Russian).
2. Maltsev A. N. Introduction of automatic fire-extinguishing systems to shopping centers. *NovaInfo.Ru*, 2016, vol. 2, no. 53, pp. 66–70 (in Russian).
3. Kharchenko I. A., Klimas R. V., Skorobagatko T. N., Yakimenko E. F. Toxicity of combustion products is the main cause of loss of life as a result of fires. *Aktualnyye problemy transportnoy meditsiny / Actual Problems of Transport Medicine*, 2006, no. 4(6), pp. 41–45 (in Ukrainian).
4. Hoang Tho Duc, Korolchenko A. Ya. Selection system of warning and evacuation control during a fire. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 1, pp. 69–75 (in Russian).
5. Recht R. F. High velocity impact dynamics: analytical modeling and plate penetration dynamics. In: Zucas J. A. (ed.). *High velocity impact dynamics*. New York, John Wiley & Sons, 1990, pp. 443–513.
6. Han J., Tryggvason G. Secondary breakup of axisymmetric liquid drops. II. Impulsive acceleration. *Physics of Fluids*, 2001, vol. 13, no. 6, pp. 1554–1565. DOI: 10.1063/1.1370389.
7. Thomas G. O. On the conditions required for explosion mitigation by water sprays. *Process Safety and Environmental Protection*, 2000, vol. 78, issue 5, pp. 339–354. DOI: 10.1205/095758200530862.
8. Duan R.-Q., Koshizuka S., Oka Y. Numerical and theoretical investigation of effect of density ratio on the critical Weber number of droplet breakup. *Journal of Nuclear Science and Technology*, 2003, vol. 40, no. 7, pp. 501–508. DOI: 10.1080/18811248.2003.9715384.
9. Segal S., Chandy A., Mikolaitis D. Breakup of droplets under shock impact. In: Roy G. D., Frolov S. M., Santoro R. J., Tsyganov S. A. (eds.). *Advances in confined detonations*. Moscow, Torus Press, 2002, pp. 127–132.
10. Zakhmatov V. D., Silnikov M. V., Chernyshov M. V. Devices to beat out the flames of rocket propulsive jets at spaceship starting. *European Journal of Natural History*, 2016, no. 4, pp. 72–79.
11. Yanson L., Phariss M., Hermanson J. Effects of liquid superheat on droplet disruption in a supersonic stream. In: *43rd AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit* (10–13 January 2005, Reno, Nevada), paper AIAA 2005-351. DOI: 10.2514/6.2005-351.
12. Luxford G., Hammond D. W., Ivey P. Role of droplet distortion and break-up in large droplet aircraft icing. In: *42nd AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit* (5–8 January 2004, Reno, Nevada), paper AIAA 2004-411. DOI: 10.2514/6.2004-411.
13. Park S. W., Kim S., Lee C. S. Breakup and atomization characteristics of mono-dispersed diesel droplets in a cross-flow air stream. *International Journal of Multiphase Flow*, 2006, vol. 32, no. 7, pp. 807–822. DOI: 10.1016/j.ijmultiphaseflow.2006.02.019.
14. Duan R.-Q., Koshizuka S., Oka Y. Two-dimensional simulation of drop deformation and breakup at around the critical Weber number. *Nuclear Engineering and Design*, 2003, vol. 225, no. 1, pp. 37–48. DOI: 10.1016/s0029-5493(03)00137-7.
15. Nomura K., Koshizuka S., Oka Y., Obata H. Numerical analysis of droplet breakup behavior using particle method. *Journal of Nuclear Science and Technology*, 2001, vol. 38, no. 12, pp. 1057–1064. DOI: 10.3327/jnst.38.1057.
16. Chernyshov M. V., Danilov N. A. Study and optimization of shock-wave structures in problems of aerogasdynamics and blast protection. In: *XI Vserossiyskiy syezd po problemam teoreticheskoy i prikladnoy mekhaniki. Sbornik dokladov* [Proceedings of XI All-Russian Congress of Theoretical and Applied Mechanics]. Kazan, Kazan University Publ., 2015, pp. 4067–4070 (in Russian).
17. Bochkareva E. M., Terekhov V. V., Terekhov V. I., Nemtsev V. A., Sorokin V. V. Reduction in the vapor pressure in condensation on cold droplets of a liquid. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 2016, vol. 89, issue 3, pp. 553–558.
18. Zakhmatov V. D., Silnikov M. V., Chernyshov M. V. Overview of impulse fire-extinguishing system applications. *Journal of Industrial Pollution Control*, 2016, vol. 32, no. 2, pp. 490–499.
19. Zakhmatov V. D., Puzynya O. V. Protection of policemen in mass disturbances. *Zashchita i bezopasnost / Protection and Security*, 2014, no. 2(69), pp. 10–11 (in Russian).
20. Zakhmatov V. Torud, pommid ja labidad — plahvatuslik tuletojetehnoloogia. *Inseneeria* (Tallinn, Estonia), 2014, no. 2, pp. 14–20.

For citation: Zakhmatov V. D., Tursenev S. A., Chernyshov M. V., Adaev A. A., Bekasov A. V. New means of providing evacuation in public buildings with mass stay of people. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 5, pp. 61–69 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.05.61-69.

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: подрисуночной 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 статьи 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!

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)



29-30 мая 2018
Экспоцентр
Москва

Конференция
и выставка
по технологиям
и транспортировке
сыпучих материалов

РЕКЛАМА

www.solids-russia.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.
РМРС № 16.00385.120 от 28.12.2016 г.