

9-2018

ПОЖ Издательство
НАУКА

ПОЖАРОВЗРЫВО-

БЕЗОПАСНОСТЬ



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

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

КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

пожарная • промышленная • производственная • экологическая



АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ
И ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ
НОВОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
ПОЖАРОВЗРЫВОЗАЩИТЫ СУДОВ,
КОРАБЛЕЙ, НЕФТЕДОБЫВАЮЩИХ ПЛАТФОРМ



При поддержке Правительства Республики САХА (Якутия)



Информационные технологии.Связь Телекоммуникации. Безопасность.

**6-8 ноября 2018 г.
г. ЯКУТСК**

Организаторы:



**Выставочная компания
Сибэкспосервис
г. Новосибирск**

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



**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 массо-
вых 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:

121596, Россия, г. Москва,
ул. Горбунова, д. 2, стр. 3, пом. II, комн. 12

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 17.09.2018.

Выход в свет 27.09.2018.

Формат 60х84 1/8. Тираж 2000 экз.

Бумага мелованная матовая.

Печать офсетная.

Отпечатано в типографии ООО "Гран При"
(Россия, 152900, г. Рыбинск,
ул. Орджоникидзе, д. 57).

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

Корольченко А. Я., д. т. н., профессор, академик МАНЭБ (Национальный иссле-
довательский 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 исследовательский
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)

Роу Р. Л., профессор (Школа права Университета Джорджауна, Вашингтон, США)

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, академик
ВАНКБ, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации
(Национальный исследовательский Московский государственный строительный
университет, Москва, Россия)

Христов Б., д. т. н., профессор (Берлинский институт техники и экономики, Берлин,
Германия)

Челани А. (Миланский технический университет, Милан, Италия)

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)

Шоус Р. (Университет штата Пенсильвания, Юниверсити-Парк, Пенсильвания,
США)

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

СОДЕРЖАНИЕ

ПРОЦЕССЫ ГОРЕНИЯ, ДЕТОНАЦИИ И ВЗРЫВА

АНТОНОВ Д. В., ВОЙТКОВ И. С., ВОЛКОВ Р. С.,
ЖДАНОВА А. О., КУЗНЕЦОВ Г. В.,
ХАСАНОВ И. Р., ШЛЕГЕЛЬ Н. Е.

Влияние специализированных добавок
на эффективность локализации пламенного
горения и термического разложения лесных
горючих материалов

5

БЕЗОПАСНОСТЬ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

КОНСТАНТИНОВА Н. И., ЕРЕМИНА Т. Ю.,
НИКОЛАЕВА Е. А., АЛЬМЕНБАЕВ М. М.
Особенности выбора огнезащитных составов
для текстильных материалов

17

БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ, ОБЪЕКТОВ

ЕВСЕЕВ Д. Г., ФИЛИПPOB В. Н., ПЕТРОВ Г. И.,
ШЕБЕКО Ю. Н., БЕСПАЛКО С. В.
О необходимости формирования
единой технической политики для обеспечения
пожарной безопасности перевозки опасных грузов
по железным дорогам России

26

СРЕДСТВА И СПОСОБЫ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

АЛЕШКОВ М. В., ЦАРИЧЕНКО С. Г.,
ХОЛОСТОВ А. Л., ГУСЕВ И. А.
Обеспечение пожарной безопасности объектов
энергетики путем разработки и применения
мобильной робототехники пожаротушения

ЗАХМАТОВ В. Д., ТУРСЕНЕВ С. А., МИРОНЧЕВ А. В.,
ЧЕРНЫШОВ М. В., ОЗЕРОВ А. В., ДОРОЖКИН А. С.
Анализ существующих и обоснование
применения новой автоматической системы
пожаровзрывозащиты судов, кораблей,
нефтедобывающих платформ

35

50

ДИСКУССИИ

БАКИРОВ И. К.
О некоторых положениях статьи "Методика расчета
пожарного риска на производственных объектах
с жидкими моторными топливами с учетом
применения порошковых огнетушителей"

64

ВОПРОС – ОТВЕТ

ХАРЛАМЕНКОВ А. С.
Здания и помещения с массовым
пребыванием людей

66

CONTENTS

COMBUSTION, DETONATION AND EXPLOSION PROCESSES

ANTONOV D. V., VOYTKOV I. S., VOLKOV R. S.,
ZHDANOVA A. O., KUZNETSOV G. V.,
KHASANOV I. R., SHLEGEL N. E.

Influence of specialized additives
on the efficiency of localization of flame
burning and thermal decomposition
of forest fuel materials

SAFETY OF SUBSTANCES AND MATERIALS

KONSTANTINOVA N. I., EREMINA T. Yu.,
NIKOLAEVA E. A., ALMENBAEV M. M.
Special aspects of fire retardant composition selection
for textile materials

SAFETY OF BUILDINGS, STRUCTURES, OBJECTS

EVSEEV D. G., FILIPPOV V. N., PETROV G. I.,
SHEBEKO Yu. N., BESPALKO S. V.
On a necessity of a creation of a united technical
policy in the area of a fire safety ensuring
of a transportation of hazardous goods
on Russian railways

MEANS AND WAYS OF FIRE EXTINGUISHING

ALESHKOV M. V., TSARICHENKO S. G.,
KHOLOSTOV A. L., GUSEV I. A.
Assurance fire safety of power facilities
due to development and application of fire
extinguishing mobile robotics

ZAKHMATOV V. D., TURSENEV S. A., MIRONCHEV A. V.,
CHERNYSHOV M. V., OZEROV A. V., DOROZHKIN A. S.
Analysis of existing and justification
of applying new automatic system
for fire-and-explosion prevention at vessels,
ships, offshore oil platforms

DISCUSSION

BAKIROV I. K.
About some positions of article
"Method for calculating fire risk taking
into account the use of fire extinguishers
on production facilities with liquid motor fuel"

QUESTION – ANSWER

KHARLAMENKOV A. S.
Buildings and premises with the massive
stay of people



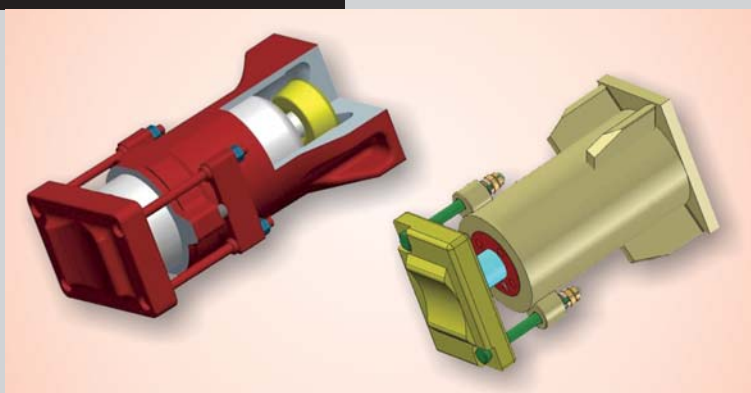
Локализация пламенного горения лесных горючих материалов

Стр. 5



Выбор огнезащитных составов для текстильных материалов

Стр. 17



Обеспечение пожарной безопасности перевозки опасных грузов

Стр. 26



Мобильная робототехника пожаротушения для объектов энергетики

Стр. 35

Стр. 50



Пожаровзрывозащита судов, кораблей, нефтедобывающих платформ

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:

Gorbunova St., 2, bldg. 3, office II, rm. 12,
Moscow, 121596, 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, mail@firepress;
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 17.09.2018.
Date of publication 27.09.2018.
Format is 60x84 1/8.
Printing is 2000 copies.
Chalk-overlay mat paper.
Offset printing.

Printed at “Gran Pri”, Ltd.
(Ordzhonikidze St., 57, Rybinsk,
152900, Russian Federation)

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, Volgograd,
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. Turgenev,
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)

Roe R. L., Professor (Georgetown University Law Center, Washington, United States)

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)

Hristov B., Dr. Ing., Professor (University of Applied Sciences, Berlin, Germany)

Celani A. (Polytechnic University of Milan, Milan, Italy)

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)

Shouse R. C., Ph. D. (Pennsylvania State University, University Park, Pennsylvania,
United States)

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

Д. В. АНТОНОВ, магистрант, Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Россия, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 30; e-mail: 1aadsdfn@gmail.com)

И. С. ВОЙТКОВ, аспирант, Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Россия, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 30; e-mail: zent91@mail.ru)

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

А. О. ЖДАНОВА, канд. физ.-мат. наук, старший преподаватель, Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Россия, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 30; e-mail: zhdanovaao@tpu.ru)

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

И. Р. ХАСАНОВ, д-р техн. наук, главный научный сотрудник, ВНИИПО МЧС России (Россия, 143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12; e-mail: irhas@rambler.ru)

Н. Е. ШЛЕГЕЛЬ, магистрант, Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Россия, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 30; e-mail: nik.shlegel.ask@gmail.com)

УДК 536.46

ВЛИЯНИЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ДОБАВОК НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЛОКАЛИЗАЦИИ ПЛАМЕННОГО ГОРЕНИЯ И ТЕРМИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ЛЕСНЫХ ГОРЮЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Дан сравнительный анализ механизмов, условий и характеристик локализации, подавления горения типичных лесных горючих материалов в условиях воздействия жидкостного аэрозоля при увлажнении заградительной полосы. Используются составы на основе воды без добавок, а также с примесью бентонита, бишофита и пенообразователей. Показаны возможные диапазоны изменения времен локализации и используемых объемов жидкости. Выявлены различия в необходимом удельном расходе жидкости в зоне заградительной полосы. Зарегистрировано минимальное время локализации горения для состава с добавкой бентонита. Установлены минимальные объемы жидкостного состава с добавкой бентонита по сравнению с бишофитом и пенообразователем.

Ключевые слова: лесной горючий материал; пламенное горение; термическое разложение; пиролиз; локализация; специализированные добавки к воде.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.09.5-16

Введение

Введение тех или иных добавок и примесей (например, бентонита, бишофита, пенообразователей и др.) [1–14] в воду для тушения пожаров любой степени сложности [15–17] обусловлено стремлением специалистов интенсифицировать один или несколько известных механизмов локализации и подавления пламенного горения и термического разложения материала (которые подробно проанализированы в [18–20]). Традиционно такие добавки и примеси используют в процессе подавления горения лесных массивов на ограниченных площадях, так как в больших объемах их применение затруд-

нено [8–10]. Достаточно часто считается, что подавить горение лесных горючих материалов (ЛГМ) чрезвычайно сложно. Следовательно, наиболее рациональный подход к борьбе с этими стихийными бедствиями состоит в своевременной локализации очагов горения и пиролиза [19, 20].

К настоящему времени опубликовано мало экспериментальных данных по отличиям характеристик и условий локализации пламенного горения и термического разложения типичных лесных горючих материалов путем создания заградительных водных полос перед фронтом горения. В работе [20] предприняты попытки экспериментально определить

основные размеры (протяженность, ширину, глубину) заградительной полосы, необходимые для локализации пламенного горения и пиролиза хвои, листвы, смеси материалов при применении трех схем распыления — по кромке, перед кромкой и комбинированной (основанной на первых двух). Показано [20], что для эффективной локализации процессов пиролиза и пламенного горения всех исследованных ЛГМ нет необходимости применять чрезвычайно широкие и протяженные увлажненные слои (заградительные полосы) и большие объемы воды. Для локализации горения ЛГМ с различными объемами навесок достаточно, если данные параметры будут иметь ограниченные значения.

На основании результатов опытов с бентонитом, бишофитом и пенообразователями [8–10] можно выдвинуть гипотезу о том, что в случае применения этих добавок и примесей возможна оптимизация процесса расходования воды в области заградительной полосы или уменьшение времени подавления горения. В связи с этим интерес представляет изучение влияния указанных добавок и примесей на условия и характеристики локализации типичных модельных пожаров с использованием наиболее распространенных материалов.

Цель настоящей работы — экспериментальное исследование влияния специализированных добавок на эффективность локализации пламенного горения и термического разложения типичных лесных горючих материалов путем применения заградительной полосы в виде увлажненного материала перед основным фронтом горения.

Методика экспериментальных исследований

Добавки к воде делятся на три категории — смачивающие, огнезадерживающие и тушащие. Каждая из выделенных категорий существенно изменяет физико-химические свойства тушащего состава. Например, смачивающие вещества, снижая поверхностное натяжение воды, способствуют интенсивному проникновению тушащего состава в глубинные слои термически разлагающегося материала. Огнезадерживающие и тушащие составы придают обработанным материалам негорючие свойства и практически не обладают смачивающим эффектом. Выбор добавки к воде определяет один из основных механизмов подавления пламенного горения и термического разложения материалов: снижение температуры в зоне горения; блокирование доступа кислорода; вытеснение продуктов горения водяными парами.

Результаты многолетних исследований, стендовых, полевых и натурных испытаний позволили специалистам пожарных служб [4–6] выделить из

всего многообразия добавок к воде наиболее эффективные, экологичные и менее трудозатратные в плане приготовления растворов. Для тушения лесных пожаров хорошо зарекомендовали себя смачивающие составы пенообразователей, огнезадерживающий состав с добавкой бентонита и огнетушащий — с бишофитом [4–6]. Специалисты пожарных служб по результатам натурных испытаний установили влияние выделенных составов на процессы, протекающие при подавлении лесных пожаров крупными агломератами (характерны авиационным методом) и распыленными потоками (типичны для наземных способов) тушащего состава. Установлены значимые преимущества бентонита перед бишофитом и смачивателем [4–6]. Для исследования влияния специализированных добавок на эффективность локализации пламенного горения и термического разложения типичных лесных горючих материалов путем применения заградительной полосы создан лабораторный стенд (рис. 1).

Для создания заградительной полосы применялась дистиллированная вода (компонентный состав соответствовал ГОСТ 6709–72), а также смеси на основе воды с добавками бишофита (концентрация 8 % масс.), бентонита (5 % масс.), пенообразователя (0,3 % об.). Основные свойства добавок описаны в работах [4–6]. Наиболее типичные кадры видеogramм представлены на рис. 2–4. Показано, что в случае применения бентонита и бишофита во всех экспериментах регистрировался эффект локального скопления жидкостного состава на поверхности ЛГМ. В опытах с пенообразователями таких эффектов не наблюдалось. Это обусловлено тем, что пенообразователь вследствие измельчения капель способствует проникновению огнетушащего жидкостного состава в глубинные слои материала.

Анализ видеок кадров на рис. 2–4, выполненных в ходе опытов, позволяет сделать заключение, что

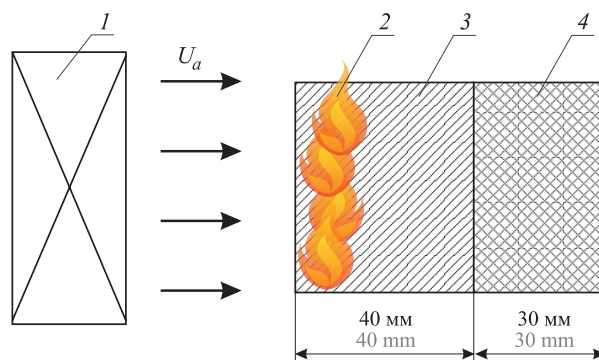


Рис. 1. Схема экспериментального стенда (вид сверху): 1 — нагнетатель воздуха; 2 — пламя; 3 — лоток с сухим ЛГМ; 4 — лоток с влажным ЛГМ; U_a — скорость потоков воздуха
Fig. 1. Diagram of the experimental stand (top view): 1 — air blower; 2 — flame; 3 — tray with dry FFM; 4 — tray with wet FFM; U_a — air flow speed

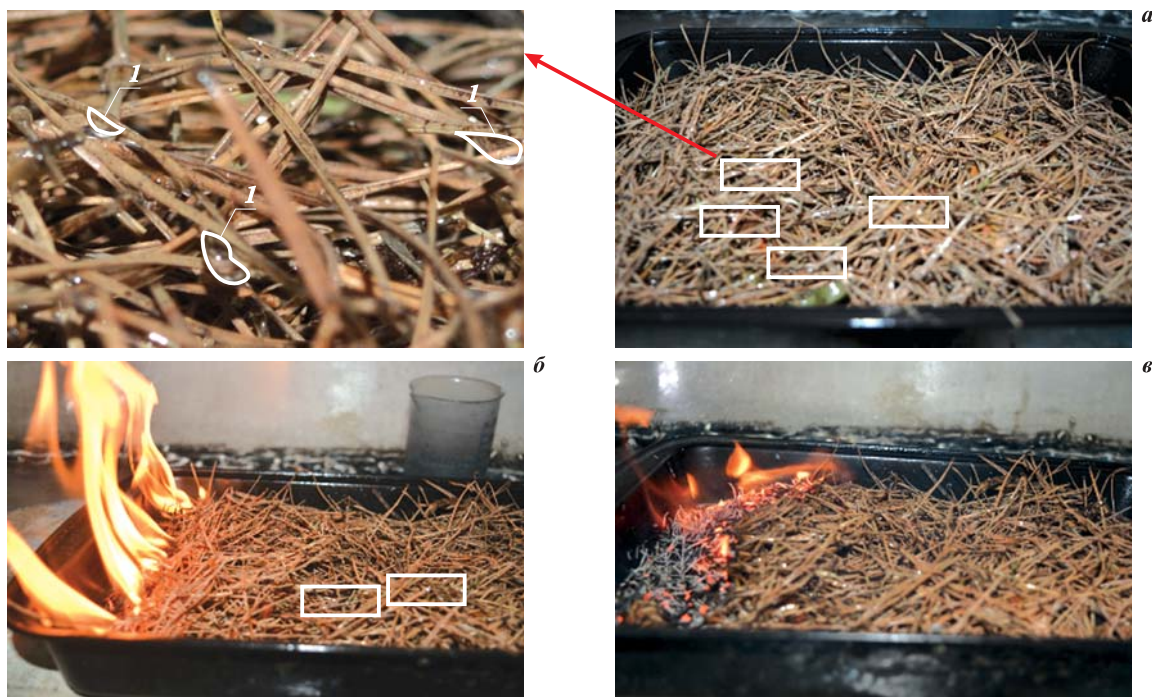


Рис. 2. Типичные видеок cadры эксперимента (при скорости потока воздуха 2 м/с) с заградительной полосой при использовании добавки бишофита (концентрация 8 % масс.): *а* — генерация жидкостного аэрозоля (создание заградительной полосы); *б* — продвижение фронта пламени; *в* — торможение фронта горения; *1* — области локальной концентрации (скопления) тушащей жидкости

Fig. 2. Typical experimental video frames (with an airflow velocity of 2 m/s) with a barrier strip using a bischofite additive (concentration 8 % by mass): *a* — generation of a liquid aerosol (creation of a barrier); *b* — advancement of the flame front; *v* — braking of the combustion front; *1* — regions of local concentration (concentrations) of quenching liquids

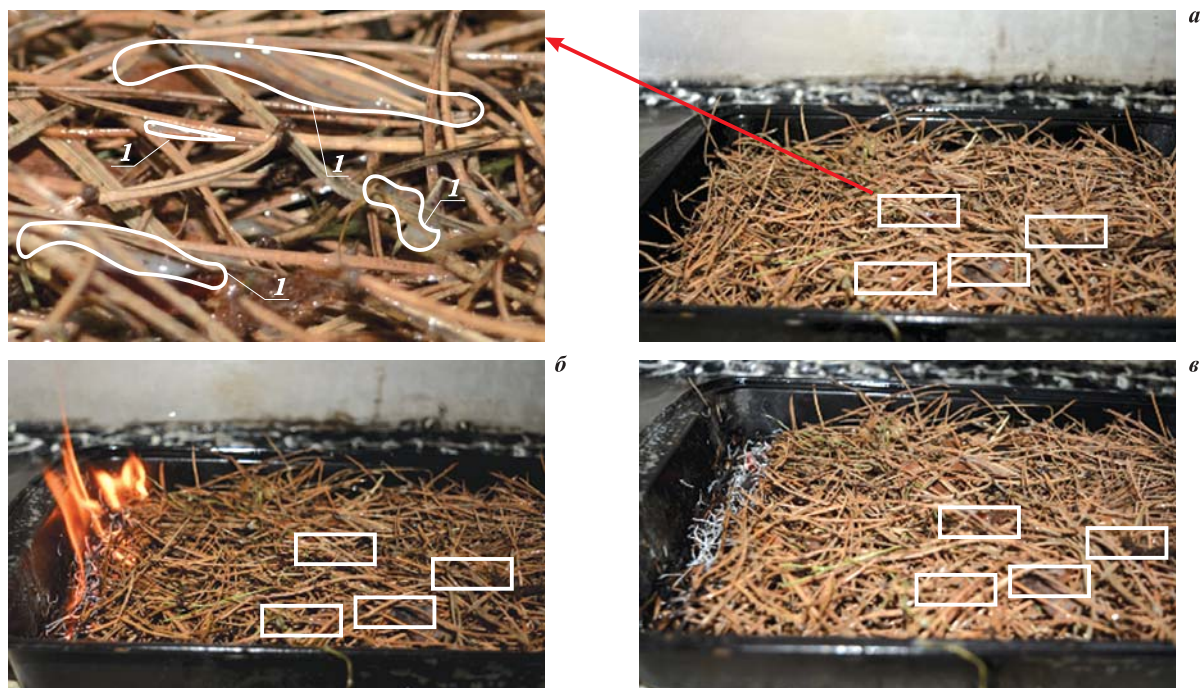


Рис. 3. Типичные видеок cadры эксперимента (при скорости потока воздуха 2 м/с) с заградительной полосой при использовании добавки бентонита (концентрация 5 % масс.): *а* — генерация жидкостного аэрозоля (создание заградительной полосы); *б* — продвижение фронта пламени; *в* — торможение фронта горения; *1* — области локальной концентрации (скопления) тушащей жидкости

Fig. 3. Typical video frames of the experiment (at an airflow velocity of 2 m/s) with a barrier strip using the bentonite additive (concentration of 5 % by mass): *a* — generation of a liquid aerosol (creation of a barrier); *b* — advancement of the flame front; *v* — braking of the combustion front; *1* — regions of local concentration (concentrations) of quenching liquids

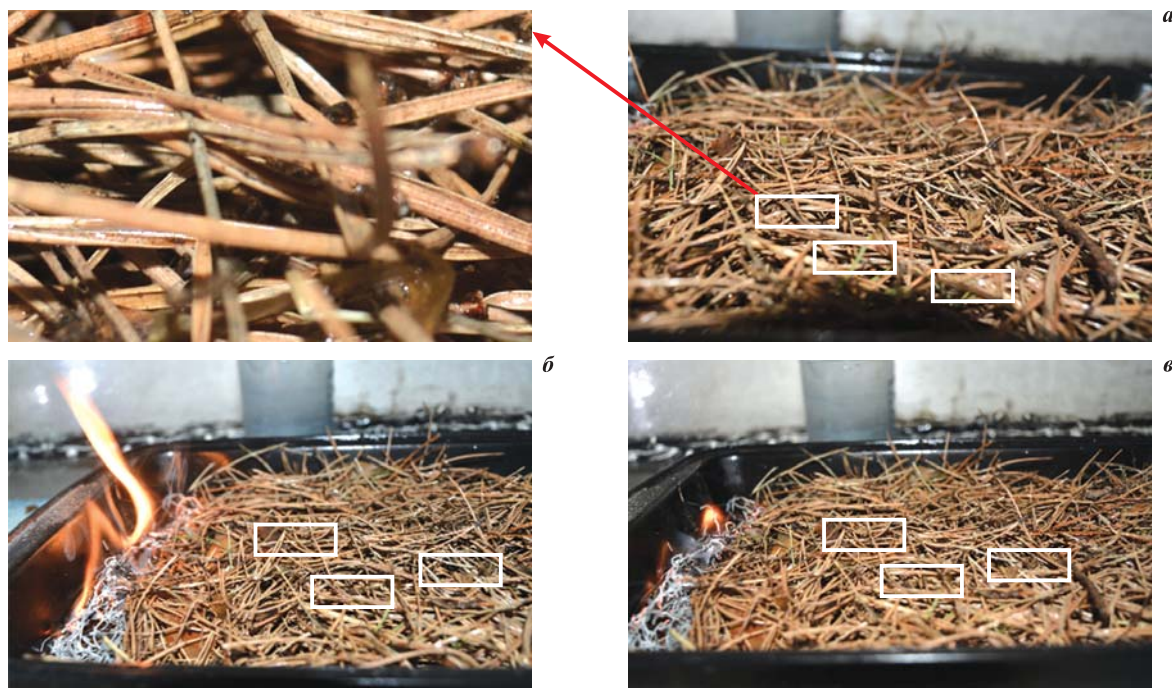


Рис. 4. Типичные видеокдры эксперимента (при скорости потока воздуха 2 м/с) с заградительной полосой при использовании добавки пенообразователя (концентрация 0,3 % об.): *a* — генерация жидкостного аэрозоля (создание заградительной полосы); *б* — продвижение фронта пламени; *в* — торможение фронта горения

Fig. 4. Typical video frames of the experiment (with an airflow velocity of 2 m/s) with a barrier strip with the addition of a blowing agent (concentration 0.3 % by vol.): *a* — generation of a liquid aerosol (creation of a barrier); *b* — advancement of the flame front; *v* — braking of the combustion front

при генерации воды с добавкой бишофита на поверхности навески ЛГМ наблюдается скопление в основном мелких капель. Добавление бентонита повышает поверхностное натяжение водного состава, и капли при оседании на поверхности ЛГМ образуют единую пленку, которая разрушается лишь из-за неравномерной структуры хвои. В опытах с листовой данная пленка сохраняется в каждом опыте от начала воздействия жидкостного состава до полного прекращения горения. При добавлении в воду пенообразователя поверхностное натяжение воды снижается [4–6]. Довольно часто регистрируются малые локальные, смоченные составом фрагменты хвои. Состав с пенообразователем проникает в глубинные слои навески наиболее интенсивно, и, как следствие, глубина промачивания навески в этом случае максимальная. Этот эффект способствует локализации горения хвои при минимальных требуемых объемах и идентичных размерах заградительных полос по сравнению с другими составами.

Приготовление используемых в экспериментах составов осуществлялось непосредственно в емкости. Она наполнялась дистиллированной водой, после чего в нее в необходимом количестве добавлялись исследуемые добавки. При приготовлении составов на основе воды последние в течение 300 с активно перемешивались в баллоне.

Методика эксперимента включала выполнение последовательных процедур:

- в металлический поддон (ширина 200 мм, длина 300 мм) укладывалась по всей ширине полоса ЛГМ (масса $m_f \approx 25$ г);
- при использовании распылительных форсунок, генерирующих капли размером $R_d = 0,1 \div 0,35$ мм, создавалась заградительная полоса таким образом, чтобы перед ней оставалась полоса ЛГМ объемом V_f . Варьировались следующие параметры: объем сухого ЛГМ, ширина заградительной полосы, плотность орошения;
- навеска ЛГМ зажигалась равномерно по ширине с одного конца с помощью пьезоэлектрической горелки;
- включался нагнетатель, создающий воздушный поток (с варьируемой скоростью $U_a = 0,5 \div 2$ м/с), и навеска ЛГМ начинала равномерно прогорать. Весь процесс регистрировался видеокамерой;
- эксперимент продолжался до полного тушения либо выгорания навески ЛГМ (прекращения тления). Момент прекращения тления устанавливался по показаниям трех термопар (расположенных в разных слоях навески ЛГМ), а также по видеogramмам. Аналогично экспериментам [18–20] в качестве критерия полного прекращения процесса пиролиза принималось снижение температуры ЛГМ менее 400 К (средняя темпе-

ратура начала пиролиза типичных лесных горючих материалов — хвой сосны и ели, листьев березы и других деревьев).

Результаты и их обсуждение

На рис. 5 приведены установленные в опытах времена полного прекращения горения типичных лесных горючих материалов при разных характерных размерах (ширине) заградительной полосы (увлажненного ЛГМ перед фронтом горения). Хорошо видно, что (как и можно было ожидать) времена прекращения горения в несколько раз уменьшаются при увеличении ширины полосы (аналогичные по виду зависимости установлены в опытах при распылении воды непосредственно в зону горения [19, 20]). Для опытов с хвоей были характерны существенно нелинейные зависимости в сравнении с листвой (см. рис. 5), что обусловлено различием условий и скоростей распространения фронтов пламенного горения и пиролиза хвои и листвы. В опытах с листвой регистрировалось довольно быстрое распространение фронта пламенного горения по поверхности навески и очень медленное продвижение фронта термического разложения в глубинные слои. Как следствие, довольно часто листья выгорали по всей ширине свободной поверхности навески до заградительной полосы, а затем медленно тлели. Для прекращения горения необходимо было обеспечить останов основного фронта пламенного горения или подавление горения в целом. Чем шире заградительная полоса, тем больше воды аккумулировано в ее приповерхностных слоях. В опытах с листвой именно из приповерхностного слоя навески материала интенсивно использовалась вода для прекращения горения и пиролиза, поэтому на рис. 5 для листвы характерны практически линейные зависимости. В экс-

периментах с хвоей движение фронта пламенного горения в целом соответствовало аналогичному процессу в опытах с листвой, но условия и скорости распространения фронтов пиролиза отличались в несколько раз. В частности, наблюдался интенсивный пиролиз хвои по всей толщине навески, поэтому увеличение ширины полосы при сохранении использованного объема воды не могло линейно повлиять на время прекращения горения. Вода в области заградительной полосы присутствовала в разных сечениях навески по толщине и интенсивно испарялась по всему слою материала. Чем шире полоса, тем равномернее распределялась вода в пористой структуре навески хвои. Вследствие этого время прекращения горения снижалось существенно нелинейно.

Если же сравнивать между собой времена подавления горения ЛГМ при использовании разных жидкостных составов, то можно отметить ожидаемые максимальные значения этой характеристики для опытов с водой без примесей (см. рис. 5). Bentonит обеспечивал минимальные значения времен подавления горения за счет образования на поверхности материала устойчивой пленки, которая не позволяла проходить фронту пламенного горения. Кроме того, в результате поникновения в приповерхностные слои состав на основе бентонита способствовал заполнению пор навесок. Особенно заметен был данный эффект в опытах с хвоей. В случае применения пенообразователя наблюдалось сокращение времен локализации по сравнению с водой вследствие существенного уменьшения (на 25–35 %) характерных радиусов капель. Благодаря этому последние проникали в глубинные слои навески в большем количестве и обеспечивали локализацию процессов пламенного горения и термического разложения за меньшее время и при малых объемах воды.

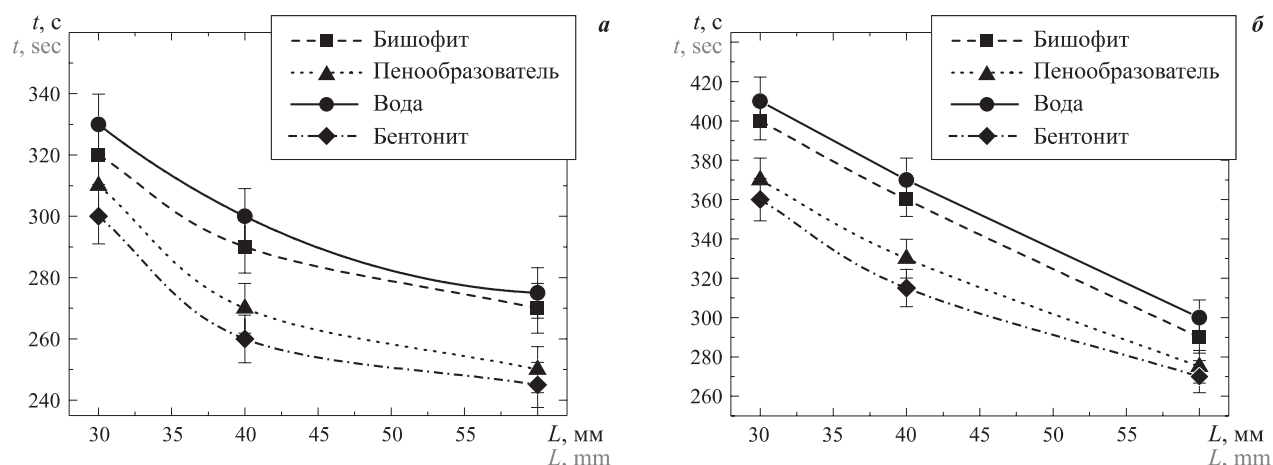


Рис. 5. Зависимость времени полного прекращения реакции термического разложения от ширины полосы ЛГМ L при скорости воздушного потока 1,3 м/с: а — хвоя; б — листва

Fig. 5. Dependence of the time for complete cessation of the thermal decomposition reaction on the width of the FFM strip L at an air speed of 1.3 m/s: а — needles; б — leaves

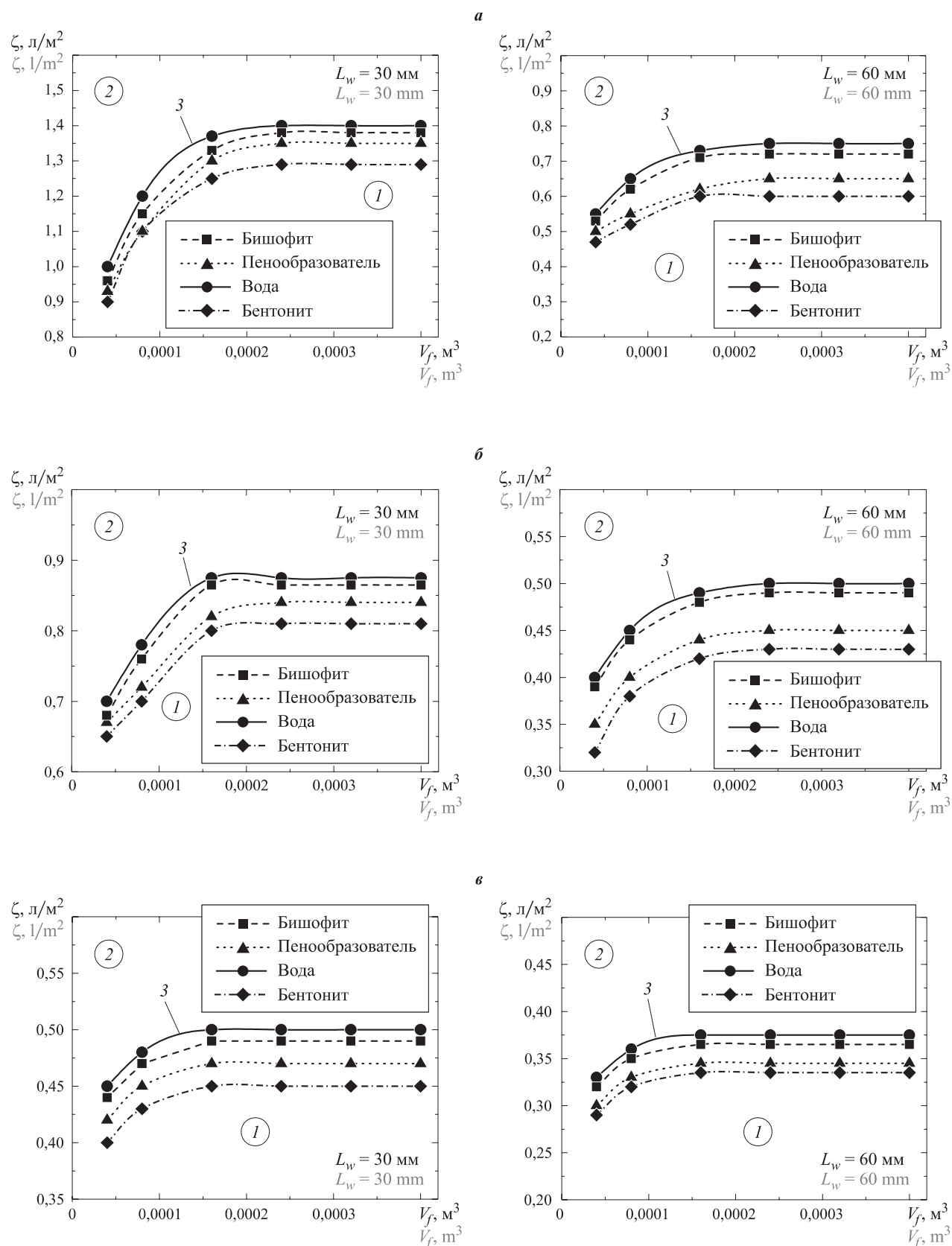


Рис. 6. Зависимость плотности орошения от объема ЛГМ (хвои) для различных типов добавок при скорости воздушного потока 0,5 м/с (а), 1,3 м/с (б) и 2 м/с (в): 1 — прогорание ЛГМ; 2 — останов фронта горения заградительной полосой (и последующее подавление горения в целом); 3 — пограничная (переходная область)

Fig. 6. Dependence of the density of irrigation on the volume of FFM (needles) for various types of additives at an air speed of 0.5 m/s (a), 1.3 m/s (b) and 2 m/s (v): 1 — burning FFM; 2 — stopping of the front of burning by the barrier strip (and the subsequent suppression of combustion as a whole); 3 — border (transition area)

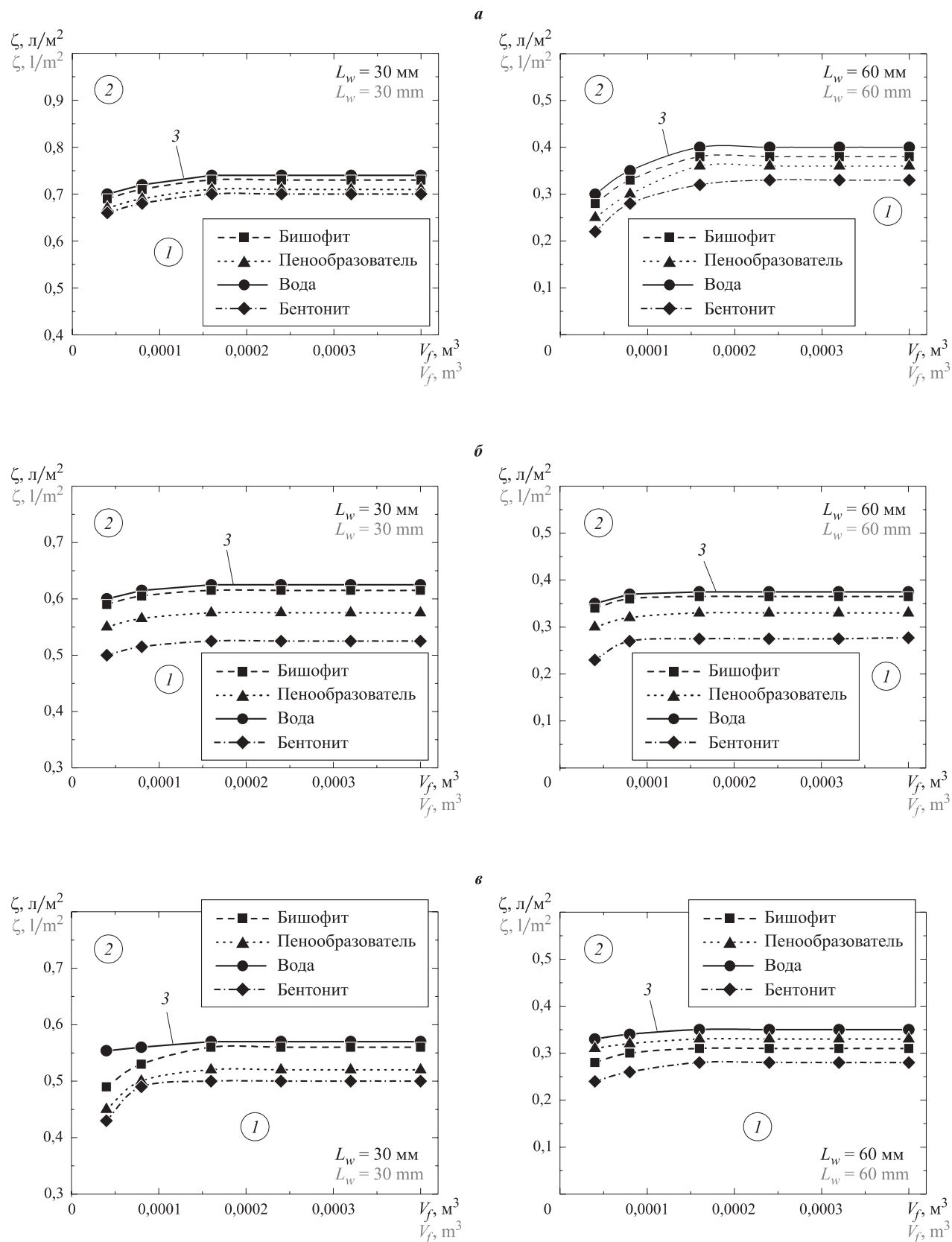


Рис. 7. Зависимость плотности орошения от объема ЛГМ (листья) для различных типов добавок при скорости воздушного потока 0,5 м/с (а), 1,3 м/с (б) и 2 м/с (в): 1 — прогорание ЛГМ; 2 — полный останов фронта горения заградительной полосой и подавление пиролиза; 3 — пограничная (переходная область)

Fig. 7. Dependence of the density of irrigation on the volume of FFM (leaves), for various types of additives at an air speed of 0.5 m/s (a), 1.3 m/s (b) and 2 m/s (v): 1 — burning FFM; 2 — full stop of the front of burning by a barrier strip and suppression of pyrolysis; 3 — border (transition area)

На рис. 6 приведены зависимости плотности орошения (удельного расхода воды) от объема сухого (не подверженного термическому разложению) ЛГМ перед заградительной полосой для хвои, а на рис. 7 — для листвы с выделением характерных областей.

Анализ рис. 6 и 7 позволяет сделать несколько наиболее важных выводов. *Во-первых*, во всех опытах для прекращения пиролиза хвои и листвы достаточно применения ограниченного объема жидкостного состава в области заградительной полосы, т. е. нет необходимости чрезмерно заливать полосу. Причем чем шире полоса реагирующего слоя перед заградительной, тем заметнее этот эффект. Таким образом, рис. 6 и 7 иллюстрируют, что локализация процесса горения и хвои, и листвы объемом выше некоторого предельного значения практически ничем не отличается (по времени и используемому объему воды). *Во-вторых*, снижение плотности орошения при увеличении скорости воздушного потока связано с тем, что горение идет по верхнему слою навески. Проникновение тушащего состава в глубинные слои лесного горючего материала не является определяющим при локализации горения (особенно листвы). Наиболее заметны эти особенности при высоких скоростях движения воздушного потока. *В-третьих*, составы с бентонитом и пенообразователем характеризуются минимальными значениями времен локализации горения и требуемых объемов воды. Как следствие, удельный расход (плотность орошения) для них также минимален для разных типов и объемов ЛГМ. *В-четвертых*, как и на рис. 5, при сравнении рис. 6 и 7 можно отметить существенно нелинейные связи между ключевыми параметрами по сравнению с аналогичными характеристиками в опытах с листвой. Причины этого явления были проанализированы выше. *В-пятых*, если обобщать характеристики на рис. 6 и 7 при использовании данных из работ [4–6, 19, 20], то можно отметить существенно меньшие значения плотности орошения, достаточные для локализации горения, по сравнению с подавлением горения за счет впрыска жидкости непосредственно в зону горения.

Наибольшую ценность представляют экспериментальные количественные результаты, иллюстрирующие отличия между временами, объемами жидкости и удельными расходами, необходимыми и достаточными для локализации горения разных типов материалов за счет применения заградительных полос. В частности, из рис. 6 и 7 видно, что удельные расходы (плотности орошения) можно варьировать в пределах 20–40 % при использовании жидкостных составов на основе воды с добавками. Даже небольшая по объемной или массовой концентрации добавка способствует значительной экономии состава (снижению требуемого удельного расхода). Особен-

но заметны данные эффекты для составов на основе бентонита и пенообразователя, поэтому их можно считать наиболее рациональными для широкого применения в практике локализации горения различных лесных массивов. Главная задача специалистов — оптимизация процессов приготовления данных составов для борьбы с лесными пожарами на больших площадях.

Следует также отметить, что добавление различных примесей к воде для локализации и подавления горения лесных массивов оправдано при работе с ограниченными по площади очагами горения. Сравнительный анализ рис. 5–7 показывает, что полное выгорание локализованного участка лесного массива даже при высоких скоростях воздушного потока происходит в течение нескольких минут. За это время фронты пламенного горения и пиролиза могут распространиться на чрезвычайно большие площади, поэтому полученные в опытах количественные результаты позволяют прогнозировать типичные времена для формирования заградительных полос перед фронтом горения.

Рис. 6 и 7 показывают, что параметры заградительной полосы (геометрические размеры и необходимый объем жидкости) следует выбирать исходя из размеров прилегающего слоя лесного горючего материала, т. е., иными словами, энергоемкости заградительной полосы (определяемой высокими теплостойкостью воды и теплотой парообразования последней) должно хватить для подавления пламенного горения и пиролиза всего прилегающего к полосе материала. Из рис. 6 и 7 видно, что объем такого материала ограничен и довольно мал. Однако следует заметить, что при больших объемах материала характеристики процесса не меняются (см. рис. 6 и 7). Это обусловлено тем, что к тому моменту времени, когда фронт пламенного горения доходит до заградительной полосы, материал уже полностью выгорает в области инициирования и представляет собой инертный ЛГМ. Именно поэтому его объем и не влияет на условия и характеристики горения. Как следствие, с использованием данных, приведенных на рис. 6 и 7, можно прогнозировать удельные расходы исследованных огнезадерживающих и огнетушащих составов для разных объемов потенциально опасных пиролизующихся материалов.

Заключение

Проведенные эксперименты позволили установить достаточно существенные отличия между основными характеристиками процессов локализации пламенного горения и пиролиза типичных ЛГМ при применении воды, а также составов на основе воды с типичными для практики пожаротушения добавками. Особенно заметны отличия по необходимому

удельному расходу жидкости (плотности орошения) при применении ее в заградительной полосе (при указанной ширине последней можно пересчитать как абсолютные, так и относительные значения необходимых объемов воды или других составов на ее основе). Минимальное время локализации горения установлено для состава с добавкой бентонита. Кроме того, зарегистрированы минимальные объемы жидкостного состава с добавкой бентонита по сравнению с бишофитом и пенообразователем.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 18-19-00056). Авторы выражают благодарность сотрудникам лаборатории моделирования процессов тепло-массопереноса Национального исследовательского Томского политехнического университета (<http://hmtslab.tpu.ru>) за помощь в проведении экспериментальных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Merino L., Caballero F., Martínez-de-Dios J. R., Maza I., Ollero A. An unmanned aircraft system for automatic forest fire monitoring and measurement // Journal of Intelligent and Robotic Systems. — 2012. — Vol. 65, Issue 1-4. — P. 533–548. DOI: 10.1007/s10846-011-9560-x.
2. Cary G. J., Davies I. D., Bradstock R. A., Keane R. E., Flannigan M. D. Importance of fuel treatment for limiting moderate-to-high intensity fire: findings from comparative fire modelling // Landscape Ecology. — 2017. — Vol. 32, Issue 7. — P. 1473–1483. DOI: 10.1007/s10980-016-0420-8.
3. Копылов Н. П., Москвиллин Е. А., Федоткин Д. В., Стрижак П. А. Влияние вязкости огнетушащего раствора на эффективность тушения лесных пожаров с помощью авиации // Лесотехнический журнал. — 2016. — Т. 6, № 4(24). — С. 62–67. DOI: 10.12737/23436.
4. Копылов Н. П., Хасанов И. Р., Кузнецов А. Е., Федоткин Д. В., Москвиллин Е. А., Стрижак П. А., Карпов В. Н. Повышение эффективности тушения лесных пожаров с использованием добавок к воде // Пожарная безопасность. — 2015. — № 4. — С. 46–50.
5. Копылов Н. П., Хасанов И. Р., Федоткин Д. В., Стрижак П. А., Карпов В. Н., Зверева-Степная А. В., Москвиллин Е. А. Стенд для исследования огнетушащих веществ, применяемых при тушении лесных пожаров авиационными средствами // Пожарная безопасность. — 2015. — № 4. — С. 51–57.
6. Копылов Н. П., Хасанов И. Р., Кузнецов А. Е., Федоткин Д. В., Москвиллин Е. А., Стрижак П. А., Карпов В. Н. Оптимизация выбора добавок к воде при тушении лесных пожаров с помощью авиации // Пожарная безопасность. — 2016. — № 4. — С. 48–50.
7. Гусев В. Г., Ерицов А. М., Куприн Г. Н., Куприн Д. С., Степанов В. Н. Результаты экспериментальных исследований параметров противопожарных заградительных полос при свободном сливе огнетушащей жидкости с вертолета // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. — 2016. — № 2. — С. 60–74.
8. Михайлова Н. В., Гуцев Н. Д. Результаты лабораторных исследований свойств новых огнетушащих составов для борьбы с лесными пожарами // Безопасность жизнедеятельности. — 2014. — № 4(160). — С. 33–39.
9. Dombrovsky L. A., Dembele S., Wen J. X. A simplified model for the shielding of fire thermal radiation by water mists // International Journal of Heat and Mass Transfer. — 2016. — Vol. 96. — P. 199–209. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2016.01.028.
10. Grishin A. M., Shipulina O. V. Mathematical model for spread of crown fires in homogeneous forests and along openings // Combustion, Explosion, and Shock Waves. — 2002. — Vol. 38, Issue 6. — P. 622–632. DOI: 10.1023/A:1021127924913.
11. Korobeinichev O. P., Shmakov A. G., Shvartsberg V. M., Chernov A. A., Yakimov S. A., Koutsenogii K. P., Makarov V. I. Fire suppression by low-volatile chemically active fire suppressants using aerosol technology // Fire Safety Journal. — 2012. — Vol. 51. — P. 102–109. DOI: 10.1016/j.firesaf.2012.04.003.
12. Rakowska J., Szczygieł R., Kwiatkowski M., Porycka B., Radwan K., Prochaska K. Application tests of new wetting compositions for wildland firefighting // Fire Technology. — 2017. — Vol. 53, Issue 3. — P. 1379–1398. DOI: 10.1007/s10694-016-0640-0.
13. Kawahara T., Hatae S., Kanyama T., Ishizaki Y., Uezu K. Development of eco-friendly soap-based firefighting foam for forest fire // Environmental Control in Biology. — 2016. — Vol. 54, Issue 1. — P. 75–78. DOI: 10.2525/ecb.54.75.

14. Korobeinichev O. P., Shmakov A. G., Chernov A. A., Bol'shova T. A., Shvartsberg V. M., Kutsenogii K. P., Makarov V. I. Fire suppression by aerosols of aqueous solutions of salts // *Combustion, Explosion, and Shock Waves*. — 2010. — Vol. 46, Issue 1. — P. 16–20. DOI: 10.1007/s10573-010-0003-y.
15. Bottero A., D'Amato A. W., Palik B. J., Kern C. C., Bradford J. B., Scherer S. S. Influence of repeated prescribed fire on tree growth and mortality in pinus resinosa forests, Northern Minnesota // *Forest Science*. — 2017. — Vol. 63, Issue 1. — P. 94–100. DOI: 10.5849/forsci.16-035.
16. Chromek I., Lukášová K., Berčák R., Vaněk J., Holuša J. Hollow tree fire is a useless forest fire category // *Central European Forestry Journal*. — 2018. — Vol. 64, Issue 1. — P. 67–78. DOI: 10.1515/forj-2017-0028.
17. Tremblay P.-O., Duchesne T., Cumming S. G. Survival analysis and classification methods for forest fire size // *PLoS ONE*. — 2018. — Vol. 13, Issue 1. — e0189860. DOI: 10.1371/journal.pone.0189860.
18. Zhdanova A. O., Volkov R. S., Voytkov I. S., Osipov K. Yu., Kuznetsov G. V. Suppression of forest fuel thermolysis by water mist // *International Journal of Heat Mass Transfer*. — 2018. — Vol. 126. — P. 703–714. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.05.085.
19. Volkov R. S., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Experimental study of the suppression of flaming combustion and thermal decomposition of model ground and crown forest fires // *Combustion, Explosion, and Shock Waves*. — 2017. — Vol. 53, No. 6. — P. 678–688. DOI: 10.1134/s0010508217060089.
20. Войтков И. С., Волков Р. С., Жданова А. О., Кузнецов Г. В., Накоряков В. Е. Физико-химические процессы при взаимодействии аэрозоля с фронтом горения лесных горючих материалов // *Прикладная механика и техническая физика*. — 2018. — Т. 59, № 5. — С. 1–13.

Материал поступил в редакцию 5 августа 2018 г.

Для цитирования: Антонов Д. В., Войтков И. С., Волков Р. С., Жданова А. О., Кузнецов Г. В., Хасанов И. Р., Шлегель Н. Е. Влияние специализированных добавок на эффективность локализации пламенного горения и термического разложения лесных горючих материалов // *Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety*. — 2018. — Т. 27, № 9. — С. 5–16. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.09.5-16.

English

INFLUENCE OF SPECIALIZED ADDITIVES ON THE EFFICIENCY OF LOCALIZATION OF FLAME BURNING AND THERMAL DECOMPOSITION OF FOREST FUEL MATERIALS

ANTONOV D. V., Undergraduate, National Research Tomsk Polytechnic University (Lenina Avenue, 30, Tomsk, 634050, Russian Federation; e-mail: 1aadsdfn@gmail.com)

VOYTKOV I. S., Postgraduate Student, National Research Tomsk Polytechnic University (Lenina Avenue, 30, Tomsk, 634050, Russian Federation; e-mail: zent91@mail.ru)

VOLKOV R. S., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, National Research Tomsk Polytechnic University (Lenina Avenue, 30, Tomsk, 634050, Russian Federation; e-mail: romanvolkov@tpu.ru)

ZHDANOVA A. O., Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Lecturer, National Research Tomsk Polytechnic University (Lenina Avenue, 30, Tomsk, 634050, Russian Federation; e-mail: zhdanovaao@tpu.ru)

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

KHASANOV I. R., Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia (VNIIPo, 12, Moscow Region, Balashikha, 143903, Russian Federation; e-mail: irhas@rambler.ru)

SHLEGEL N. E., Undergraduate, National Research Tomsk Polytechnic University (Lenina Avenue, 30, Tomsk, 634050, Russian Federation; e-mail: nik.shlegel.ask@gmail.com)

ABSTRACT

Introduction. One of the widely used methods of localizing the distribution of grassroots foci of forest burning is to create specialized barrier strips in the form of a moistened layer of forest fuel material. Water spray systems are traditionally used for soaking up such strips. Often, experts formulate hypotheses about the possible increase in the effectiveness of the use of such bands through the use of specialized aqueous formulations. However, experimental results, which substantiate such hypotheses, are still insufficient.

Methods. Attempts were made to equalize the mechanisms, conditions, and characteristics of the localization of the suppression of combustion of typical forest combustible materials (needles, leaves, their mixture) through the use of water without additives, as well as formulations based on the common impurities in firefighting in the moistening of barrier strips in this work. Wetting, flame retardant and extinguishing additives were used.

Results. Experimental quantitative results illustrating the differences between the times, liquid volumes and specific costs necessary and sufficient to localize the burning of different types of materials due to the application of barrier strips have been obtained.

Discussion. Sufficiently significant differences in the main characteristics of the process of localization of flaming combustion and pyrolysis of typical FFM with the use of water and aqueous formulations with typical additives for firefighting practice have been established. The minimum time of localization of combustion is established for the composition with the addition of bentonite. Minimal volumes of liquid composition with the addition of bentonite in comparison with bischofite and foaming agent are also registered.

Conclusions. The results of the experiments can be used to select the parameters and schemes for the formation of barrier strips to provide the required conditions for the localization of combustion in real practice for different volumes of pyrolysing material.

Keywords: forest combustible material; flaming burning; thermal decomposition; pyrolysis; localization; specialized additives to water.

REFERENCES

1. Merino L., Caballero F., Martínez-de-Dios J. R., Maza I., Ollero A. An unmanned aircraft system for automatic forest fire monitoring and measurement. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*. 2012, vol. 65, issue 1-4, pp. 533–548. DOI: 10.1007/s10846-011-9560-x.
2. Cary G. J., Davies I. D., Bradstock R. A., Keane R. E., Flannigan M. D. Importance of fuel treatment for limiting moderate-to-high intensity fire: findings from comparative fire modelling. *Landscape Ecology*, 2017, vol. 32, issue 7, pp. 1473–1483. DOI: 10.1007/s10980-016-0420-8.
3. Kopylov N. P., Moskvilin E. A., Fedotkin D. V., Strizhak P. A. Influence of viscosity of fire-extinguishing solution on forest fires extinguish using aviation. *Lesotekhnicheskiiy zhurnal / Forestry Engineering Journal*, 2016, vol. 6, no. 4(24), pp. 62–67 (in Russian). DOI: 10.12737/23436.
4. Kopylov N. P., Khasanov I. R., Kuznetsov A. E., Fedotkin D. V., Moskvilin E. A., Strizhak P. A., Karpov V. N. Effectiveness increase of forest fire suppression by use of additives to water. *Pozharnaya bezopasnost / Fire Safety*, 2015, no. 4, pp. 46–50 (in Russian).
5. Kopylov N. P., Khasanov I. R., Fedotkin D. V., Strizhak P. A., Karpov V. N., Zvereva-Stepnaya A. V., Moskvilin E. A. Test bench for fire extinguishing agents applied at forest fire suppression by aviation. *Pozharnaya bezopasnost / Fire Safety*, 2015, no. 4, pp. 51–57 (in Russian).
6. Kopylov N. P., Khasanov I. R., Kuznetsov A. E., Fedotkin D. V., Moskvilin E. A., Strizhak P. A., Karpov V. N. Optimization of the choice of additives to water at forest fires suppression by means of aircraft. *Pozharnaya bezopasnost / Fire Safety*, 2016, no. 4, pp. 48–50 (in Russian).
7. Gusev V. G., Ericov A. M., Kuprin G. N., Kuprin D. S., Stepanov V. N. The results of experimental investigations of parameters of the fire-barrier strips with the free discharge of fire extinguishing liquid from a helicopter. *Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyaystva / Proceedings of the Saint Petersburg Forestry Research Institute*, 2016, no. 2, pp. 60–74 (in Russian).
8. Mihailova N. V., Gutsev N. D. Results of laboratory researches of properties of new fire extinguishing compositions. *Bezopasnost' zhiznedeatel'nosti / Life Safety*, 2014, no. 4(160), pp. 33–39 (in Russian).

9. Dombrovsky L. A., Dembele S., Wen J. X. A simplified model for the shielding of fire thermal radiation by water mists. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2016, vol. 96, pp. 199–209. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2016.01.028.
10. Grishin A. M., Shipulina O. V. Mathematical model for spread of crown fires in homogeneous forests and along openings. *Combustion, Explosion, and Shock Waves*, 2002, vol. 38, issue 6, pp. 622–632. DOI: 10.1023/A:1021127924913.
11. Korobeinichev O. P., Shmakov A. G., Shvartsberg V. M., Chernov A. A., Yakimov S. A., Koutsenogii K. P., Makarov V. I. Fire suppression by low-volatile chemically active fire suppressants using aerosol technology. *Fire Safety Journal*, 2012, vol. 51, pp. 102–109. DOI: 10.1016/j.firesaf.2012.04.003.
12. Rakowska J., Szczygieł R., Kwiatkowski M., Porycka B., Radwan K., Prochaska K. Application tests of new wetting compositions for wildland firefighting. *Fire Technology*, 2017, vol. 53, issue 3, pp. 1379–1398. DOI: 10.1007/s10694-016-0640-0.
13. Kawahara T., Hatae S., Kanyama T., Ishizaki Y., Uezu K. Development of eco-friendly soap-based fire-fighting foam for forest fire. *Environmental Control in Biology*, 2016, vol. 54, issue 1, pp. 75–78. DOI: 10.2525/ecb.54.75.
14. Korobeinichev O. P., Shmakov A. G., Chernov A. A., Bol'shova T. A., Shvartsberg V. M., Kutsenogii K. P., Makarov V. I. Fire suppression by aerosols of aqueous solutions of salts. *Combustion, Explosion, and Shock Waves*, 2010, vol. 46, issue 1, pp. 16–20. DOI: 10.1007/s10573-010-0003-y.
15. Bottero A., D'Amato A. W., Palik B. J., Kern C. C., Bradford J. B., Scherer S. S. Influence of repeated prescribed fire on tree growth and mortality in pinus resinosa forests, Northern Minnesota. *Forest Science*, 2017, vol. 63, issue 1, pp. 94–100. DOI: 10.5849/forsci.16-035.
16. Chromek I., Lukášová K., Berčák R., Vaněk J., Holuša J. Hollow tree fire is a useless forest fire category. *Central European Forestry Journal*, 2018, vol. 64, issue 1, pp. 67–78. DOI: 10.1515/forj-2017-0028.
17. Tremblay P.-O., Duchesne T., Cumming S. G. Survival analysis and classification methods for forest fire size. *PLoS ONE*, 2018, vol. 13, issue 1, e0189860. DOI: 10.1371/journal.pone.0189860.
18. Zhdanova A. O., Volkov R. S., Voytkov I. S., Osipov K. Yu., Kuznetsov G. V. Suppression of forest fuel thermolysis by water mist. *International Journal of Heat Mass Transfer*, 2018, vol. 126, pp. 703–714. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.05.085.
19. Volkov R. S., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Experimental study of the suppression of flaming combustion and thermal decomposition of model ground and crown forest fires. *Combustion, Explosion, and Shock Waves*, 2017, vol. 53, no. 6, pp. 678–688. DOI: 10.1134/s0010508217060089.
20. Voytkov I. S., Volkov R. S., Zhdanova A. O., Kuznetsov G. V., Nakoryakov V. E. Physicochemical processes in the interaction of an aerosol with the combustion front of forest combustible materials. *Prikladnaya mekhanika i tekhnicheskaya fizika / Journal of Applied Mechanics and Technical Physics*, 2018, vol. 59, no. 5, pp. 1–13 (in Russian).

For citation: Antonov D. V., Voytkov I. S., Volkov R. S., Zhdanova A. O., Kuznetsov G. V., Khasanov I. R., Shlegel N. E. Influence of specialized additives on the efficiency of localization of flame burning and thermal decomposition of forest fuel materials. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 9, pp. 5–16 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.09.5-16.

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

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

Е. А. НИКОЛАЕВА, главный технолог, Международный научный инновационный центр строительства и пожарной безопасности (Россия, 199155, г. Санкт-Петербург, ул. Уральская, 13, лит. И; e-mail: gl-technolog@stopfire.ru)

М. М. АЛЬМЕНБАЕВ, начальник кафедры пожарной профилактики, Кокшетауский технический институт Комитета по чрезвычайным ситуациям МВД Республики Казахстан (Республика Казахстан, 020000, Акмолинская обл., г. Кокшетау, ул. Акана-Серы, 136; e-mail: make_kz1986@mail.ru)

УДК 661.174

ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА ОГНЕЗАЩИТНЫХ СОСТАВОВ ДЛЯ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Проанализированы способы огнезащитной обработки текстильных материалов (ТМ) и химическая основа огнезащитных составов. Освещены вопросы, касающиеся снижения горючести, дымообразования и токсичности продуктов горения, изучения процесса термоокисления волокнообразующих полимеров, а также разработки оптимальных огнезащитных составов и методов их модификации. Представлена информация о параметрах и методах определения пожарной опасности ТМ различного функционального назначения и об области их применения. Изучена возможность разработки огнезащитного состава для тканей, не оказывающего негативного влияния на кожу человека при контакте. Приведены результаты исследований по выбору стабилизирующих соединений на основе карбамида, входящих в состав средства для пропитки ТМ и обеспечивающих их огнезащиту; проведена оценка эффективности их действия.

Ключевые слова: пожарная безопасность; огнезащитные пропитки; текстильные материалы; пожарная опасность текстильных материалов; горючесть; дымообразование; воспламеняемость.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.09.17-25

Введение

Текстильные материалы (ТМ) легко воспламеняются, быстро горят, имея значительную площадь охвата пламенем, при горении выделяют токсичные продукты горения и в большинстве своем обладают высокой дымообразующей способностью. В связи с этим в настоящее время значительное количество научных исследований посвящено проблеме разработки огнезащитных составов и технологии их нанесения, позволяющих снизить горючесть, дымообразование и токсичность продуктов горения, а также изучению процесса термоокисления волокнообразующих полимеров [1–4].

Достаточно высокая пожарная опасность ТМ при использовании в промышленности, строительстве и на транспорте обусловила необходимость разработки технических регламентов, отраслевых и государственных стандартов, регламентирующих допустимый уровень горючести текстильных материалов различного назначения и функционального использования, а также методов оценки параметров, определяющих их пожарную опасность.

Анализ научно-технической литературы за последнее десятилетие показал, что для создания огнезащищенных ТМ используются различные способы. В их число входит применение высокотемпературных волокнообразующих органических полимеров и неорганических волокон, различных типов эффективных замедлителей горения (ЗГ), которые используются в качестве аддитивных добавок в прядильные растворы или расплавы полимеров при формировании волокон, а также для обработки волокон и тканей с образованием на поверхности труднорастворимых соединений или для химической модификации волокон с образованием химических связей между ЗГ и макромолекулой волокнообразующего полимера [5–7].

Одним из направлений создания декоративно-отделочных ТМ пониженной горючести является поверхностная обработка их огнезащитными составами. Этот доступный метод огнезащитной обработки тканей или готовых изделий позволяет получать ткани как с долговременным огнезащитным эффектом, что делает ткань устойчивой к многократным

водным обработкам (в частности, стиркам, химчисткам), так и с разовым огнезащитным эффектом.

При этом важным практическим вопросом является изучение возможности разработки огнезащитного пропиточного состава для ткани, не оказывающего негативного влияния на кожу человека при контакте. Достаточно часто обивка мебели, кресел, а также постельные принадлежности, защитная одежда от тепла и пламени подвергаются огнезащитной поверхностной обработке, поэтому вполне правомерен вопрос об изучении воздействия ткани на кожу человека при контакте с ней в процессе эксплуатации. Следует отметить, что данная информация в отношении присутствующих в настоящее время на рынке огнезащитных пропиточных составов отсутствует или не подтверждена научными исследованиями.

Таким образом, целью настоящей статьи являлся поиск путей решения вопроса, связанного с разработкой огнезащитного состава, обеспечивающего одновременно эффективную огнезащиту, сохранение внешнего вида и свойств ткани, а также отсутствие раздражающего действия на организм человека. Для ее достижения решались следующие задачи: анализ существующих способов огнезащиты тканей и нормативных требований пожарной безопасности, предъявляемых к ТМ в зависимости от назначения и области их применения; проведение исследований по изучению возможности разработки таких рецептур ЗГ, которые бы исключили негативное воздействие ткани на кожу человека при контакте с ней в процессе эксплуатации.

Проблематика вопроса

Состав и структура текстильного материала являются основными параметрами, влияющими на его пожароопасные свойства, поскольку процесс термической деструкции у разных типов волокнообразующих полимеров различается. Выбор эффективных составов ЗГ и их способов нанесения определяется характером взаимодействия системы *замедлитель горения – полимер*.

Огнезащищенные ТМ, устойчивые к многократным стиркам и химчисткам, получают в основном путем введения в расплав волокна реакционных антипиренов на стадии его формирования. Например, для полиэфирных и вискозных волокон в промышленном масштабе преимущественно используют класс фосфоразотсодержащих органических соединений, проявляющих свое огнезащитное действие в конденсированной и газовой фазах. К числу наиболее известных огнезащищенных тканей зарубежных производителей, поступающих на российский рынок, относятся, например, ткани, состоящие из 100 % полиэфирного волокна Trevira CS (Германия)

или 100 % вискозного волокна Lenzing AG (Австрия) [7].

Текстильные материалы из указанных волокон широко применяются в качестве декоративных изделий в интерьере помещений, для изготовления обивки мягкой мебели, постельных принадлежностей, штор, портьер, занавесей на объектах, на которых к ним предъявляются требования пожарной безопасности.

В последнее время для разработки эффективных способов огнезащитной модификации текстильных материалов применяются также методы пропитки и плюсования с использованием дополнительных специальных воздействий на поверхность и структуру волокон в целях образования активных центров (свободных радикалов или реакционноспособных функциональных групп), обеспечивающих химическое взаимодействие модификатора с полимером волокна. К их числу могут относиться способы с использованием энергетически мощных физических полей: электрофизическая обработка в коронном тлеющем разряде в воздушной или другой газовой среде, высокочастотная плазменная обработка, фотохимическая обработка с использованием УФ-излучения, радиационная обработка пучком быстрых электронов и др. [8–11].

С практической точки зрения одной из актуальных задач остается выбор ЗГ для огнезащиты текстильных материалов из синтетических (например, полиэфир) или смешанных волокон, так как материалы на основе целлюлозы (вискозы) и полиэфира, отличаясь друг от друга химической структурой и строением, характеризуются различной устойчивостью к воздействию высоких температур.

Для эффективной огнезащиты ТМ в настоящее время продолжается разработка реакционноспособных средств и специальных технологий их нанесения. В частности, для эффективной огнезащиты ТМ с доминирующей полиэфирной составляющей в основном используются составы на основе моно- и бифункциональных фосфоразотсодержащих соединений, которые не только принимают участие в модифицировании хлопковой составляющей, но и оказывают существенное влияние на пиролиз термопластичного полимера и ингибирование его терморазложения [12].

Для изготовления декоративных изделий все шире применяются ткани из смешанных волокон с различным их соотношением. Выбор оптимальных соотношений волокон (термостойких, огнезащищенных хлопчатобумажных и полиэфирных, шерстяных, вискозных) в композиции ТМ позволяет получать материалы не только пониженной пожарной опасности, но и с высокими эксплуатационными свойствами.

Наиболее широкое распространение получили методы огнезащитной пропитки (обработки) текстильных материалов, реализуемые как в промышленном масштабе, так и непосредственно на объектах для обработки текстильных изделий. В основном для этого на практике применяются составы на основе ортофосфорной кислоты и одного из азотсодержащих соединений — дициандиамида, карбамида, меламина, гуанидина и т. д. [12]. Используются они чаще всего для обработки целлюлозосодержащих тканей, в том числе предназначенных для защитной рабочей одежды, подверженной термическим рискам. Как правило, такой специальный вид огнезащитной обработки включает процессы сушки, термообработки и промывки материала. Указанные ЗГ образуют на поверхности текстильного материала труднорастворимые соединения, которые при термическом окислении в свою очередь образуют карбонизованный слой, в известной степени затрудняющий выход горючих газообразных продуктов горения.

Однако существенным недостатком огнезащищенных таким способом материалов нередко является постепенная миграция ЗГ на поверхность ТМ, что приводит к ухудшению не только внешнего вида ткани и ее свойств, но и с большой вероятностью может оказывать воздействие на кожные покровы человека, нередко вызывая покраснение, раздражение и жжение.

Кроме того, применяемые на российском рынке огнезащитные составы для поверхностной обработки ТМ, как правило (согласно информации, представленной в сертификатах соответствия требованиям пожарной безопасности), обеспечивают устойчивость тканей к воспламенению, но сведения о дымообразующей способности и токсичности продуктов термического разложения в сертификатах отсутствуют.

Между тем свойства пожарной опасности обработанных огнезащитными средствами ТМ не только являются составляющими опасных факторов пожара, но и могут оказывать негативное влияние на окружающую среду.

В связи с этим, несмотря на достаточно хорошо изученное направление по развитию представлений о горении ТМ, созданию ТМ пониженной пожарной опасности, продолжают проводиться научные исследования по разработке эффективных ЗГ, лишенных указанных недостатков.

Методологическая база оценки пожарной опасности ТМ

Объективность результатов оценки эффективности огнезащиты ТМ зависит от правильности выбора методов их испытаний и контроля, установ-

ленных требованиями нормативных документов в зависимости от их функционального назначения и области использования.

Таким образом, при определении номенклатуры показателей, необходимых для оценки пожарной опасности огнезащищенных декоративно-отделочных ТМ, следует обязательно учитывать реальные условия их эксплуатации и функциональное назначение, а также область использования.

В таблице приведена основная информация о параметрах и методах определения пожарной опасности ТМ различного функционального назначения и области их применения. Как следует из представленных данных, нормативные требования различаются между собой, поэтому при оценке эффективности огнезащиты ТМ и изделий из них это необходимо учитывать [13, 14].

В связи с этим возникает необходимость уже на стадии разработки огнезащитных составов для поверхностной обработки и выбора технологии их нанесения принимать во внимание состав и свойства защищаемого ТМ, его функциональное назначение, а также эксплуатационные требования к изделию.

Немаловажным аспектом в области разработки средств огнезащиты для ТМ методом поверхностной обработки являются также вопросы объективной оценки их эффективности на объектах.

Результаты и их обсуждение

Наряду с обеспечением требуемого уровня пожарной безопасности огнезащищенных текстильных материалов и изделий, необходимо учитывать их санитарно-гигиенические свойства. Существующая практика гигиенической оценки материалов согласно Санитарным правилам и нормам 2.1.2.729–99 (СанПиН) предусматривает в основном определение общего токсикологического эффекта воздействия на дыхательные пути человека выделяющихся летучих компонентов и не учитывает возможное раздражающее действие огнезащищенного ТМ на кожу человека при непосредственном соприкосновении с ней.

В качестве одного из путей решения задачи по разработке огнезащитного пропиточного средства для обработки ткани, контактирующей при эксплуатации с кожей человека, авторами было предложено использовать в огнезащитном составе, наряду с фосфорсодержащими соединениями, соединения на основе карбамидов. Однако известно, что существенным недостатком мочевины является ее нестабильность: со временем она разлагается с выделением аммиака, что приводит к раздражению кожных покровов. Поэтому были проведены исследования по изучению возможности предотвращения быстрого распада мочевины и нейтрализации образующе-

Основные нормативные требования пожаробезопасного использования декоративно-отделочных ТМ
Major regulatory requirements fire-safety use of decorative-finishing textile materials

№ п/п No.	Область применения Application area	Требования пожарной безопасности Fire safety requirements	Назначение Appointment	Методы испытаний Test methods	Показатели пожарной опасности Indicators of fire hazard
1	Строительство Building	ФЗ № 123, ст. 13 Federal Law No. 123, art. 13	Отделка потолков, стен, полов Finishing ceilings, walls, floors	ГОСТ 30402–96 GOST 30402–96	Воспламеняемость Inflammability
				ГОСТ 30244–94 GOST 30244–94	Горючесть Combustibility
				ГОСТ Р 51032–97 GOST R 51032–97	Распространение пламени Flame propagation
				ГОСТ 12.1.044–89, пп. 4.3, 4.18, 4.20 GOST 12.1.044–89, items 4.3, 4.18, 4.20	Коэффициент дымообразования и показатель токсичности продуктов горения Smoke generation coefficient and toxicity index of combustion products
		СП 4.13130, п. 5.3 Set of rules 4.13130, item 5.3	Сиденья кресел Seats of seats	ГОСТ Р 53294–09 GOST R 53294–09	Воспламеняемость Inflammability
				ГОСТ 12.1.044–89, п. 4.20 GOST 12.1.044–89, item 4.20	Показатель токсичности продуктов горения Toxicity index of combustion products
		Правила противопожарного режима в РФ Rules of the fire regime in Russia	Декорации, сценическое выставочное оформление, драпировки Decorations, scenic exhibition decoration, draperies	ГОСТ Р 50810–95 GOST R 50810–95	Воспламеняемость Inflammability
				ГОСТ 12.1.044–89, п. 4.20 GOST 12.1.044–89, item 4.20	Показатель токсичности продуктов горения Toxicity index of combustion products
2	Транспорт железных дорог и метрополитена Transport of railways and underground	ГОСТ Р 55183–12, НПБ 109–96 GOST R 55183–12, NPB 109–96	Внутренняя отделка вагонов Internal finishing of wagons	ГОСТ 12.1.044–89, пп. 4.3, 4.18, 4.19, 4.20 GOST 12.1.044–89, items 4.3, 4.18, 4.19, 4.20	Группа горючести твердых веществ и материалов, воспламеняемость, коэффициент дымообразования, индекс распространения пламени, показатель токсичности продуктов горения Group of combustibility of solids and materials, inflammability, smoke generation coefficient, flame propagation index, toxicity index of combustion products
3	Морские суда Marine vessels	Международный кодекс по применению процедур испытания на огнестойкость 2010 (Кодекс ПИО 2010) International Code for Application of Fire Test Procedures, 2010 (2010 FTP Code)	Вертикальные тканевые изделия. Мягкая мебель. Постельные принадлежности Vertical fabric products. Cushioned furniture. Beddress	Резолюция MSC.307(88), части 7, 8, 9 Resolution MSC.307(88), parts 7, 8, 9	Воспламеняемость Inflammability
4	Речные суда River vessels	Правила классификации и постройки судов внутреннего плавания, 2008 Rules for Classification and Construction of Inland Navigation Vessels, 2008	Шторы, занавеси, обивка мягкой мебели Curtains, curtains, upholstery upholstered furniture	ГОСТ Р 50810–95 GOST R 50810–95 ГОСТ 12.1.044–89, пп. 4.18, 4.19, 4.20 GOST 12.1.044–89, items 4.18, 4.19, 4.20	Воспламеняемость Inflammability Коэффициент дымообразования, показатель токсичности продуктов горения, индекс распространения пламени Smoke generation coefficient, toxicity index of combustion products, flame propagation index

гося аммиака подбором стабилизаторов и буферных растворов. Для этого был использован опыт применения при производстве косметических и лекарственных средств [15–20], содержащих кислоты, специальных веществ — лактонов, обладающих многими свойствами нециклических сложных эфиров или буферных растворов, стабилизирующих распад мочевины [21, 22].

В ходе экспериментов в 30 %-ные водные растворы карбамида добавляли различные концентрации лактонов, для того чтобы оценить изменение водородного показателя (рН) раствора. Образцы хранили при температуре 45 °С в течение 90 сут, с периодическими замерами рН и активности мочевины. Результаты исследований показали, что все растворы с добавлением лактонов сохраняли уровень рН раствора от 5,5 до 7,0, что является достаточным показателем для эффективного огнезащитного действия средства.

Были проведены также сравнительные опыты с растворами мочевины без содержания лактонов. При этом их водородный показатель рН с течением времени заметно увеличивался: через 9 сут с момента начала эксперимента рН раствора достигал уровня 8,5, через 18 сут — 8,8, а через 45 сут — более 9,5, что доказывает наличие процесса распада карбамида. Это обстоятельство подтверждалось ощутимым запахом аммиака у данных проб. Следует отметить, что у растворов, содержащих лактон, запах аммиака отсутствовал, что свидетельствует о стабильном состоянии карбамида.

Интересны результаты исследований водных растворов с 50 %-ным содержанием карбамида и добавлением лактонов и буферных растворов в зависимости от изменения температуры. Опыты показали, что скорость изменения рН растворов с увеличением температуры хранения возрастает. Например, значения рН образцов растворов, хранившихся при температуре 45 °С, достигали уровня рН образцов, хранившихся при температуре 37 °С, в 2–3 раза быстрее, а хранившихся при комнатной температуре, еще быстрее.

Таким образом, ткани, обработанные водным огнезащитным составом, включающим фосфорсодержащие соединения и карбамид при дополнительном содержании лактонов и буферного раствора, при определенных оптимальных соотношениях и технологии соединения компонентов могут не только удовлетворять требованиям пожарной безопасности, но и длительное время контактировать с кожей человека, не вызывая ее раздражения.

Изготовление экспериментальных партий огнезащитного состава предусматривало различную последовательность операций введения компонентов в водный раствор и установление их температурных

режимов, что позволило в результате проведения многочисленных опытов получить оптимальные характеристики средства и процесса его приготовления.

Согласно разработанной технологии получения огнезащитного состава сначала нагревают воду до 50–60 °С, вводят лактон и перемешивают раствор до его полного растворения. Затем постепенно вносят карбамид и фосфорсодержащий ЗГ, после чего добавляют заранее приготовленный буферный раствор (в данном случае на основе лимонной кислоты) и перемешанную смесь охлаждают до 20–22 °С. При такой технологии приготовления средства наблюдалось минимальное выделение аммиака и уровень рН раствора находился в пределах 6–8.

Приготовленный таким образом огнезащитный состав в готовом виде представляет собой прозрачную жидкость, с массовой долей нелетучих компонентов 15 %, которая наносится на ТМ различными способами — кистью, валиком, погружением или опрыскиванием. Процесс сушки обработанного материала может проходить при комнатной температуре, т. е. при естественных условиях, а расход средства для достижения эффекта огнезащиты зависит от типа и поверхностной плотности ткани и структуры материала и составляет от 100 до 500 г/м².

По результатам оценки устойчивости к воспламенению обработанные огнезащитным составом целлюлозосодержащие ткани по методике ГОСТ Р 50810 классифицируются как трудновоспламеняющиеся при незначительной степени повреждения по длине (менее 45 мм).

Выводы

В результате проведенных аналитических исследований показана необходимость учета требований пожарной безопасности, предъявляемых к огнезащитным ТМ в зависимости от назначения и области их применения.

Одним из эффективных ЗГ для целлюлозосодержащих полимерных волокнистых систем являются водные растворы фосфоразотсодержащих соединений, поэтому авторами были разработаны рецептуры на основе соединений карбамида и фосфорсодержащих соединений, позволяющие получать трудновоспламеняющиеся композиции ТМ с доминирующей хлопковой составляющей.

Установлена возможность применения в составе для пропитки ТМ стабилизаторов на основе карбамида — лактонов и буферных растворов лимонной кислоты, осуществлен выбор их оптимального количества для увеличения времени распада карбамида и тем самым в значительной степени снижен выход аммиака — одного из раздражающих кожные покровы человека компонентов огнезащитных составов.

На основании полученных экспериментальных данных следует, что дальнейшая работа по модификации огнезащитного состава на основе соединений карбамида и подбору стабилизаторов для обработки декоративно-отделочных ТМ с возможным

контактом с кожей человека является одним из возможных путей решения задачи по созданию эффективных средств огнезащиты, соответствующих требованиям нормативных документов в области пожарной безопасности и санитарной гигиены.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Перепелкин К. Е. Химические волокна: развитие производства, методы получения, свойства, перспективы. — СПб. : Изд-во СПГУТД, 2008. — 354 с.
2. Selcen Kilinc F. (ed.). Handbook of fire resistant textiles. Woodhead Publishing Ltd., 2013. — 704 p. DOI: 10.1016/c2013-0-16161-2.
3. Баратов А. Н., Константинова Н. И., Молчадский И. С. Пожарная опасность текстильных материалов. — М. : ВНИИПО, 2006. — 272 с.
4. Бесшапошникова В. И., Микрюкова О. Н., Шустов Ю. С. Исследование свойств огнезащищенных хлопколавсановых тканей для спецодежды // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. — 2017. — № 6(372). — С. 90–93.
5. Besshaposhnikova V. I., Zagoruiko M. V., Pulina K. I. Method for fire protection of wool-containing cloths for special clothing // Fibre Chemistry. — 2013. — Vol. 44, No. 6. — P. 368–371. DOI: 10.1007/s10692-013-9462-8.
6. Pulina K. I., Besshaposhnikova V. I. Fire-retardant features of wool-containing multi-component cloths for special clothing // Fibre Chemistry. — 2013. — Vol. 45, No. 1. — P. 25–30. DOI: 10.1007/s10692-013-9475-3.
7. Зубкова Н. С., Константинова Н. И. Огнезащита текстильных материалов. — М. : Институт информационных технологий, 2008. — 228 с.
8. Хвала А., Ангер В. Текстильные вспомогательные вещества : в 2 т. — М. : Легпромбытиздат, 1991. — Т. 2. — С. 147–171.
9. Константинова Н. И., Семibrатова И. С., Терешина Н. А., Шашков А. О. Текстильные материалы пониженной пожарной опасности для судостроения // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. — 2016. — № 44-45. — С. 69–74.
10. Бесшапошникова В. И. Особенности огнезащиты текстильных материалов под воздействием лазерного излучения // Химические волокна. — 2012. — № 2. — С. 18–22.
11. Бычкова Е. В., Панова Л. Г. Взаимодействие замедлителей горения с вискозным волокном // Химические волокна. — 2013. — № 6. — С. 27–32.
12. Зубкова Н. С. Полимерные материалы пониженной пожарной опасности. — М. : МГТУ им. А. Н. Косыгина, 2004. — 198 с.
13. Troitzsch J. Plastics flammability handbook. Principles, regulations, testing, and approval. — 3rd ed. — Munich : Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, 2004. — 774 p. DOI: 10.3139/9783446436695.
14. Смирнов Н. В., Константинова Н. И., Семibrатова И. С., Терешина Н. А., Поединцев Е. А. Комплексная оценка пожарной опасности текстильных и кожевенных материалов : рекомендации. — М. : ВНИИПО, 2014. — 28 с.
15. Weil E. D., Levchik S. V. Flame retardants in commercial use or development for textiles // Flame Retardants for Plastics and Textiles. — Munich : Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, 2015. — P. 265–302. DOI: 10.3139/9781569905791.011.
16. Гузев К. С., Желтовская О. Л., Ноздрин В. И. Мазь Уродерм, содержащая 30 % мочевины, отечественный лекарственный препарат, повышающий влажность сухой кожи // Дерматология в России. — 2017. — № S1. — С. 42.
17. Borelli C., Bielfeldt S., Borelli S., Schaller M., Korting H. C. Cream or foam in pedal skin care: towards the ideal vehicle for urea used against dry skin // International Journal of Cosmetic Science. — 2011. — Vol. 33, No. 1. — P. 37–43. DOI: 10.1111/j.1468-2494.2010.00576.x.
18. Grether-Beck S., Felsner I., Brenden H., Kohne Z., Majora M., Marini A., Jaenicke T., Rodriguez-Martin M., Trullas C., Hupe M., Elias P. M., Krutmann J. Urea uptake enhances barrier function and antimicrobial defense in humans by regulating epidermal gene expression // Journal of Investigative Dermatology. — 2012. — Vol. 132, No. 6. — P. 1561–1572. DOI: 10.1038/jid.2012.42.
19. Филимонкова Н. Н., Бахлыкова Е. А. Топический глюкокортикостероид и 2 % мочевины — новое средство наружной терапии хронических дерматозов // Клиническая дерматология и венерология. — 2015. — Т. 14, № 6. — С. 35–40.

20. Sun H., Jiang X., Shen Y., Chen C. The improvement of dyeability of flax fibre by urea treatment // *Pigment & Resin Technology*. — 2011. — Vol. 40, No. 1. — P. 36–41. DOI: 10.1108/03699421111095928.
21. Björklund S., Engblom J., Thuresson K., Sparr E. Glycerol and urea can be used to increase skin permeability in reduced hydration conditions // *European Journal of Pharmaceutical Sciences*. — 2013. — Vol. 50, No. 5. — P. 638–645. DOI: 10.1016/j.ejps.2013.04.022.
22. Li S. K., Higuchi W. I., Kochambilli R. P., Zhu H. Mechanistic studies of flux variability of neutral and ionic permeants during constant current DC iontophoresis with human epidermal membrane // *International Journal of Pharmaceutics*. — 2004. — Vol. 273, No. 1-2. — P. 9–22. DOI: 10.1016/j.ijpharm.2003.12.009.

Материал поступил в редакцию 6 июля 2018 г.

Для цитирования: Константинова Н. И., Еремина Т. Ю., Николаева Е. А., Альменбаев М. М. Особенности выбора огнезащитных составов для текстильных материалов // *Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety*. — 2018. — Т. 27, № 9. — С. 17–25. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.09.17-25.

English

SPECIAL ASPECTS OF FIRE RETARDANT COMPOSITION SELECTION FOR TEXTILE MATERIALS

KONSTANTINOVA N. 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: firelab_vniipo@mail.ru)

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

NIKOLAEVA E. A., Chief Technologist of International Scientific Innovation Center for Construction and Fire Safety (Uralskaya St., 13, lit. I, Saint Petersburg, 199155, Russian Federation; e-mail: gl-technolog@stopfire.ru)

ALMENBAEV M. M., Head of Fire Prevention Department, Kokshetau Technical Institute, Committee of Emergency Situations of the Ministry of Internal Affairs of the Republic of Kazakhstan (Akana-Sery St., 136, Kokshetau, 020000, Republic of Kazakhstan; e-mail: make_kz1986@mail.ru)

ABSTRACT

Introduction. In order to reduce the fire hazard of textile materials (TM), scientific research is being carried out for the development of various methods of their fire protection. One of the directions in the field of decorative finishing TM with reduced flammability is their surface treatment with fire retardant compositions. Along with the development of fire retardants for TM, it is quite legitimate to study the effects of tissue on human skin, when in contact.

Methods. At the stage of development of fire retardant compositions for surface treatment and the choice of the technology of their application, it is necessary to take into account the functional purpose of the TM, the scope of application and operational requirements.

Discussion. In developing a fire retardant composition for surface treatment of TM that are in contact with human skin, the authors proposed the use of a number of phosphorus-containing compounds, which are effective fire retardants. However, a significant disadvantage of such compounds is their instability, decomposition and dissociation over time, which leads to irritation of the skin in direct contact with the material. Therefore, research has been carried out and optimal chemical compositions of stabilizers, buffer solutions and their ratios in the fire retardant have been selected. Their use for surface treatment of TM on a cellulosic basis makes the TM resistant to ignition and does not adversely affect the skin of a person in direct contact.

Conclusions. Based on the experimental data obtained, it follows that one of the possible ways to solve the problem of developing effective fire protection means that meet the requirements of

normative documents in the field of fire safety and sanitary hygiene may be modification of compounds based on carbamide compounds with the selection of appropriate stabilizers and buffer solutions.

Keywords: fire safety; fire retardant impregnation; textile materials; fire danger of textile materials; combustibility; smoke generation; inflammability.

REFERENCES

1. Perepelkin K. E. *Khimicheskiye volokna: razvitiye proizvodstva, metody polucheniya, svoystva, perspektivy* [Chemical fibers. Development of production, methods of production, properties, prospects]. Saint Petersburg, Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design Publ., 2008. 354 p. (in Russian).
2. Selcen Kilinc F. (ed.). *Handbook of fire resistant textiles*. Woodhead Publishing Ltd., 2013. 704 p. DOI: 10.1016/c2013-0-16161-2.
3. Baratov A. N., Konstantinova N. I., Molchadskiy I. S. *Pozharnaya opasnost tekstilnykh materialov* [Fire hazard of textile materials]. Moscow, VNIPO Publ., 2006. 272 p. (in Russian).
4. Besshaposhnikova V. I., Mikryukova O. N., Shustov Yu. S. Research of the properties of cottodacron flameproof fabrics for workwear. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya tekstilnoy promyshlennosti / News of Higher Educational Institutions. Technology of Textile Industry*, 2017, no. 6(372), pp. 90–93 (in Russian).
5. Besshaposhnikova V. I., Zagoruiko M. V., Pulina K. I. Method for fire protection of wool-containing cloths for special clothing. *Fibre Chemistry*, 2013, vol. 44, no. 6, pp. 368–371. DOI: 10.1007/s10692-013-9462-8.
6. Pulina K. I., Besshaposhnikova V. I. Fire-retardant features of wool-containing multi-component cloths for special clothing. *Fibre Chemistry*, 2013, vol. 45, no. 1, pp. 25–30. DOI: 10.1007/s10692-013-9475-3.
7. Zubkova N. S., Konstantinova N. I. *Ognezashchita tekstilnykh materialov* [Fire protection of textile materials]. Moscow, Institute of Information Technologies Publ., 2008. 228 p. (in Russian).
8. Khvala A., Anger V. *Tekstilnyye vspomogatelnyye veshchestva* [Textile auxiliary substances]. Moscow, Legprombytizdat, 1991, vol. 2, pp. 147–171 (in Russian).
9. Konstantinova N. I., Semibratova I. S., Tereshina N. A., Shashkov A. O. Low fire hazard textile materials for shipbuilding. *Nauchno-tekhnicheskii sbornik Rossiyskogo morskogo registra sudokhodstva / Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping*, 2016, no. 44–45, pp. 69–74 (in Russian).
10. Besshaposhnikova V. I. Theoretical justification for the fire-protection modification of textiles through the action of laser radiation. *Fibre Chemistry*, 2012, vol. 44, no. 2, pp. 90–94. DOI: 10.1007/s10692-012-9405-9.
11. Bychkova E. V., Panova L. G. Reaction of fire retardants with viscose fiber. *Fibre Chemistry*, 2014, vol. 45, no. 6, pp. 356–362. DOI: 10.1007/s10692-014-9542-4.
12. Zubkova N. S. *Polimernyye materialy ponizhennoy pozharnoy opasnosti* [Polymeric materials of low fire danger]. Moscow, A. N. Kosygin Moscow State Textile University Publ., 2004. 198 p. (in Russian).
13. Troitzsch J. *Plastics flammability handbook. Principles, regulations, testing, and approval*. 3rd ed. Munich, Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, 2004. 774 p. DOI: 10.3139/9783446436695.
14. Smirnov N. V., Konstantinova N. I., Semibratova I. S., Tereshina N. A., Poyedintsev E. A. *Kompleksnaya otsenka pozharnoy opasnosti tekstilnykh i kozhevnykh materialov. Rekomendatsii* [Integrated assessment of the fire hazard of textile and leather materials. Recommendations]. Moscow, VNIPO Publ., 2014. 28 p. (in Russian).
15. Weil E. D., Levchik S. V. Flame retardants in commercial use or development for textiles. In: *Flame Retardants for Plastics and Textiles*. Munich, Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, 2015, pp. 265–302. DOI: 10.3139/9781569905791.011.
16. Guzev K. S., Zheltovskaya O. L., Nozdrin V. I. Ointment Uroderm containing 30 % of urea, a domestic medicinal product that increases the moisture of dry skin. *Dermatologiya v Rossii / Dermatology in Russia*, 2017, no. S1, p. 42 (in Russian).
17. Borelli C., Bielfeldt S., Borelli S., Schaller M., Korting H. C. Cream or foam in pedal skin care: towards the ideal vehicle for urea used against dry skin. *International Journal of Cosmetic Science*, 2011, vol. 33, no. 1, pp. 37–43. DOI: 10.1111/j.1468-2494.2010.00576.x.
18. Grether-Beck S., Felsner I., Brenden H., Kohne Z., Majora M., Marini A., Jaenicke T., Rodriguez-Martin M., Trullas C., Hupe M., Elias P. M., Krutmann J. Urea uptake enhances barrier function and antimicrobial defense in humans by regulating epidermal gene expression. *Journal of Investigative Dermatology*, 2012, vol. 132, no. 6, pp. 1561–1572. DOI: 10.1038/jid.2012.42.

19. Filimonkova N. N., Bahlykova E. A. Topical glucocorticosteroid and 2 % urea as a new topical therapeutic agent used to treat chronic dermatoses. *Klinicheskaya dermatologiya i venerologiya / The Russian Journal of Dermatology and Venereology*, 2015, vol. 14, no. 6, pp. 35–40 (in Russian).
20. Sun H., Jiang X., Shen Y., Chen C. The improvement of dyeability of flax fibre by urea treatment. *Pigment & Resin Technology*, 2011, vol. 40, no. 1, pp. 36–41. DOI: 10.1108/03699421111095928.
21. Björklund S., Engblom J., Thuresson K., Sparr E. Glycerol and urea can be used to increase skin permeability in reduced hydration conditions. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, 2013, vol. 50, no. 5, pp. 638–645. DOI: 10.1016/j.ejps.2013.04.022.
22. Li S. K., Higuchi W. I., Kochambilli R. P., Zhu H. Mechanistic studies of flux variability of neutral and ionic permeants during constant current DC iontophoresis with human epidermal membrane. *International Journal of Pharmaceutics*, 2004, vol. 273, no. 1-2, pp. 9–22. DOI: 10.1016/j.ijpharm.2003.12.009.

For citation: Konstantinova N. I., Eremina T. Yu, Nikolaeva E. A., Almenbaev M. M. Special aspects of fire retardant composition selection for textile materials. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 9, pp. 17–25 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.09.17-25.



Издательство «ПОЖНАУКА»

Г. И. Смелков, В. Н. Черкасов,
В. Н. Веревкин, 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 6; тел./факс: (495) 228-09-03; e-mail: info@fire-smi.ru

Д. Г. ЕВСЕЕВ, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры “Технология транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава”, Российский университет транспорта (МИИТ) (Россия, 127994, г. Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9)

В. Н. ФИЛИППОВ, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры “Вагоны и вагонное хозяйство”, Российский университет транспорта (МИИТ) (Россия, 127994, г. Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9)

Г. И. ПЕТРОВ, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой “Вагоны и вагонное хозяйство”, Российский университет транспорта (МИИТ) (Россия, 127994, г. Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9; e-mail: petrovgi@gmail.com)

Ю. Н. ШЕБЕКО, д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник отдела пожарной безопасности промышленных объектов, технологий и моделирования техногенных аварий, Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны (ВНИИПО МЧС России) (Россия, 143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12)

С. В. БЕСПАЛЬКО, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры “Вагоны и вагонное хозяйство”, Российский университет транспорта (МИИТ) (Россия, 127994, г. Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9; e-mail: besp-alco@yandex.ru)

УДК 614.841

О НЕОБХОДИМОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЕДИНОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРЕВОЗКИ ОПАСНЫХ ГРУЗОВ ПО ЖЕЛЕЗНЫМ ДОРОГАМ РОССИИ

Приведены результаты комплексных исследований по обеспечению пожаровзрывобезопасности цистерн для перевозки опасных грузов. В итоге разработаны: сценарии и расчетные режимы пожароопасных аварийных ситуаций с цистернами; методики и программные средства для моделирования поведения вагонов при пожароопасных авариях; конструктивные решения в виде эластомерных поглощающих аппаратов, защитных экранов днищ, предохранителей от саморасцепа автосцепок, дуг безопасности для защиты горловины, сливноналивной, предохранительной и контрольной арматуры, огнезащитных покрытий; ряд моделей цистерн для перевозки опасных грузов. Отмечено, что необходимо принять единую техническую политику при перевозке пожароопасных грузов по железным дорогам.

Ключевые слова: пожарная безопасность; техническая политика; опасные грузы; перевозка по железным дорогам; вагоны для опасных грузов; котел цистерны; средства защиты от пожароопасных аварий.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.09.26-34

Введение. Актуальность проблемы и нормативная база

В настоящее время по железным дорогам Российской Федерации в массовом порядке перевозятся опасные грузы, относящиеся ко 2-му и 3-му классам опасности (в частности, сжиженные газы и легко воспламеняющиеся жидкости). При этом руководствуются следующими нормативными документами: “Правила перевозок опасных грузов по железным дорогам” [1], “Правила безопасности и порядок ликвидации аварийных ситуаций с опасными грузами при перевозке их по железным дорогам” [2], “Правила пожарной безопасности на железнодорожном транспорте” [3] и др.

Однако и при выполнении всех мероприятий, регламентированных нормативными документами

[1–3], возникают различные аварийные ситуации, что приводит к нарушению требований пожарной безопасности перевозочного процесса, экологической безопасности и даже требований по сохранению здоровья и жизни людей.

Для решения вопросов, связанных с обеспечением пожарной безопасности при перевозке пожароопасных грузов, Министерство путей сообщения Российской Федерации в 1990-х годах поставило задачу разработать необходимые нормативные правовые документы.

В 2002 г. был принят Федеральный закон “О техническом регулировании” [4], которым определяются следующие направления обеспечения безопасности, актуальные при перевозке опасных грузов по железным дорогам:

- безопасность излучений;
- биологическая безопасность;
- взрывобезопасность;
- механическая безопасность;
- пожарная безопасность;
- безопасность технических устройств, применяемых на опасном производственном объекте;
- термическая безопасность;
- химическая безопасность;
- электрическая безопасность;
- радиационная безопасность.

Федеральный закон “О железнодорожном транспорте в Российской Федерации” (№ 17-ФЗ) [5] также содержит перечень требований для обеспечения безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта.

Вопросам обеспечения пожарной безопасности перевозки опасных грузов уделяется повышенное внимание и в работах зарубежных ученых и специалистов [6–14].

В рамках настоящей работы на основе статистических данных о пожароопасных инцидентах, связанных с перевозкой опасных грузов железнодорожным транспортом, МИИТ в течение последних 30 лет проводил масштабные теоретические и экспериментальные исследования.

Основные результаты исследований по проблеме пожаровзрывобезопасности цистерн

В результате исследований, проводившихся в МИИТе, были разработаны сценарии развития пожароопасных аварийных ситуаций с вагонами-цистернами и на их основе — расчетные аварийные режимы механического или теплового воздействия на них. Полученные в исследованиях данные легли в основу изменений и дополнений в “Нормы расчета и проектирования вагонов...” [15]. Кроме того, был разработан справочник [16], который используется также для обучения персонала, обеспечивающего перевозку опасных грузов.

В указанном направлении МИИТом совместно с ВНИИПО и другими организациями были созданы методики и программные средства моделирования поведения подвижного состава при аварийных режимах, разработаны и внедрены конструктивные решения для обеспечения динамической и пожарной безопасности [17–32].

Были также спроектированы и введены в эксплуатацию новые модели цистерн для перевозки грузов 2-го и 3-го классов опасности и некоторых других пожароопасных грузов. Созданные модели цистерн включали ряд новых технических средств обеспечения безопасности:



Рис. 1. Цистерна модели 15-9503 АВП

Fig. 1. Tank model 15-9503 WUA

- эластомерный поглощающий аппарат автосцепки с высокой энергоемкостью;
- защитные экраны для защиты днищ цистерн;
- предохранители от саморасцепа автосцепок;
- дуги безопасности для защиты горловин цистерн при авариях;
- приборы сливноналивной, предохранительной и контрольной арматуры для цистерн 2-го класса опасности в нескольких вариантах исполнения;
- сливной прибор с тремя запорными устройствами для цистерн, перевозящих легковоспламеняющиеся жидкости;
- несколько систем огнезащитных покрытий для обеспечения теплоизоляции котла железнодорожной цистерны при пожаре.

На рис. 1 представлена цистерна модели 15-9503 АВП, созданная на основе результатов описанных научных исследований и оснащенная основными техническими средствами обеспечения пожарной безопасности.

Разногласия в нормативной документации по вопросам пожаровзрывобезопасности вагонов

К сожалению, в то же время были разработаны нормативные документы, во многом сводящие на нет работу по обеспечению пожарной безопасности процесса перевозки грузов 2-го и 3-го классов опасности. В частности, в межгосударственном стандарте ГОСТ 33211–2014 “Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам”, разработанном ОАО “ВНИИЖТ”, отсутствует необходимая информация об аварийных расчетных режимах при проектировании вагонов для перевозки опасных грузов. Следует иметь в виду, что в соответствии с Конституцией Российской Федерации (ст. 15, п. 4) в системе права нашего государства международные договоры имеют приоритет перед другими законами в случае противоречия.

Кроме того, из редакции “Норм расчета и проектирования грузовых вагонов...” [33] были исключены дополнения, касающиеся сценариев пожаро-

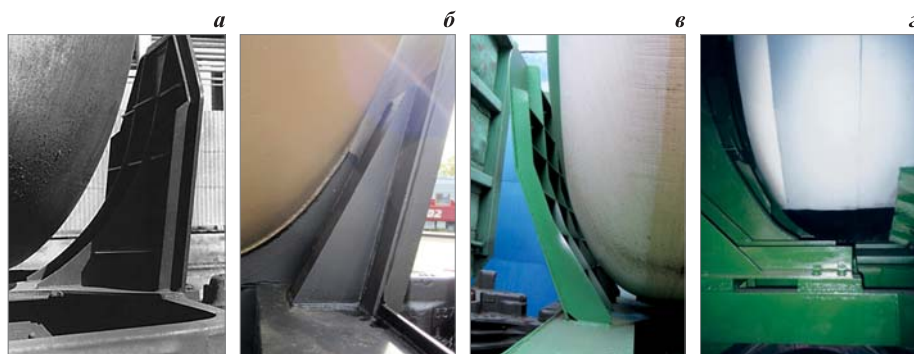


Рис. 2. Варианты конструкции защитного экрана днища: *а* — рациональное решение; *б–г* — необоснованные решения

Fig. 2. Variants of the bottom shield: *a* — rational decision; *b, v, g* — unreasonable decisions

опасных аварийных ситуаций. Наконец, в новой редакции “Правил технической эксплуатации железных дорог” не содержится данных по допустимым значениям осевой и погонной нагрузок, которые являются определяющими при проектировании вагонов.

Результатом отсутствия единой политики при проектировании вагонов для перевозки пожароопасных грузов стало появление множества новых моделей вагонов, не имеющих необходимой защиты от пожароопасных аварий или с ненадлежащими характеристиками защитных устройств.

Это хорошо видно из анализа следующих примеров.

Анализ эффективности различных технических решений по устройствам защиты от пожароопасных аварий

На рис. 2 приведены варианты защитного экрана днища, которые созданы в результате научных обоснований (см. рис. 2,*а*) и без таковых (см. рис. 2,*б–г*).

Из сравнения вариантов на рис. 2,*а* и 2,*б* виден принципиальный недостаток второго варианта. Он заключается в том, что экран приварен не только к раме, но и к днищу котла, в результате чего в котле возникают дополнительные локальные нагрузки, концентраторы напряжений и, кроме того, не обеспечивается зазор для деформации экрана. Вариант на рис. 2, *в* отличается недостаточной толщиной лобового листа и усилением ребер жесткости только в нижней части. В варианте на рис. 2, *г* защитный экран крепится к раме с помощью болтов, что также недопустимо из-за возможности их ослабления и потери жесткости крепления.

На рис. 3 приведены варианты дуг безопасности. Из сравнения представленных вариантов видно, что в варианте на рис. 3,*б* основания дуг приварены к оболочке котла, что вызывает локальные воздействия при его деформациях. Это исключено в рациональном варианте (см. рис. 3,*а*), в котором кронштейны имеют достаточно широкую поверхность опирания, а дуги крепятся к ним с помощью шарниров. Серьезной ошибкой варианта

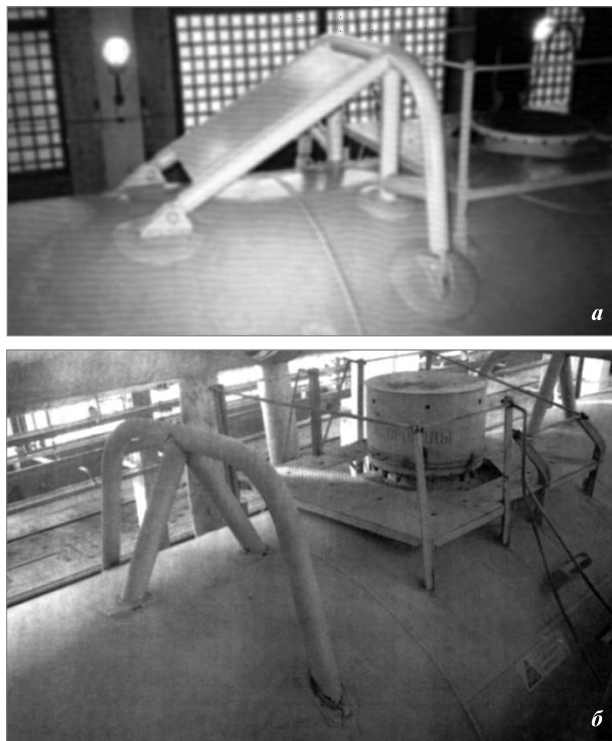


Рис. 3. Варианты дуг безопасности: *а* — рациональное решение; *б* — необоснованное решение

Fig. 3. Safety arc options: *a* — rational decision; *b* — unreasonable decision

на рис. 3,*б* следует считать недостаточную высоту дуг над крышкой люка. Как показали экспериментальные исследования, разность высот должна быть достаточной для того, чтобы при аварийном падении и перекачивании котла дуги безопасности препятствовали крышке люка и предохранительной арматуре взаимодействовать с поверхностью земли.

На рис. 4 приведено техническое решение по конструкции сливоналивной арматуры внутри котла. Данный вариант имеет существенные преимущества по сравнению с типовым решением. Это, во-первых, поворот сливных труб на 90° относительно оси котла, а во-вторых, обеспечение дополнительной жесткости арматуры с помощью раскосов, что препятствует ее деформированию в процессе аварий-

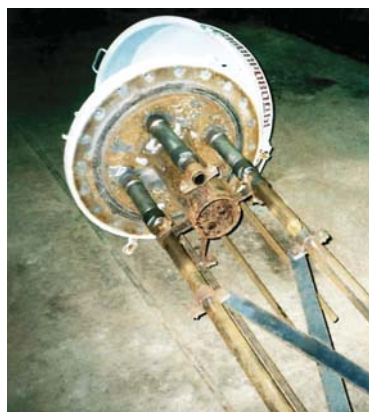


Рис. 4. Рациональное решение конструкции сливной арматуры

Fig. 4. Rational solution of the design of drain-filling valves



Рис. 6. Предохранитель от саморасцепки автосцепок

Fig. 6. Guard against unintentional disengagement of the automatic couplers

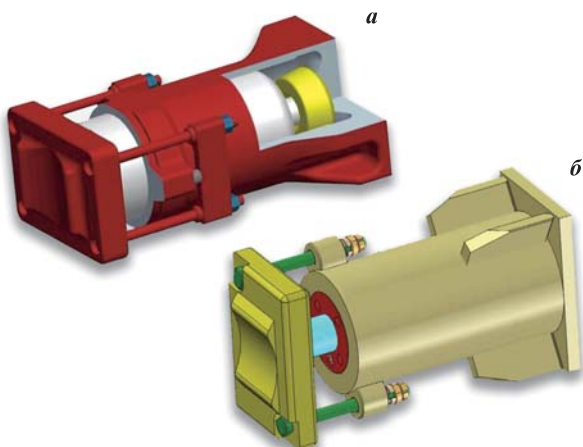


Рис. 5. Модели эластомерных поглощающих аппаратов: *a* — 73ZW; *б* — АПЭ-120-И

Fig. 5. Models of elastomeric absorbing devices: *a* — 73ZW; *b* — APE-120-I

ных соударений цистерны при повышенных скоростях и ускорениях.

На рис. 5 представлены варианты поглощающих аппаратов. Проведенные исследования доказали необходимость применения высокоэнергоемких эластомерных поглощающих аппаратов на вагонах для перевозки пожароопасных грузов. Однако не все эластомерные аппараты удовлетворяют требованиям безопасной эксплуатации и надежности. Аппараты моделей 73ZW и их модификации обладают работоспособностью при температурах до минус 60 °C и высокой пожаробезопасностью при попадании в очаг пожара. Аппараты же модели АПЭ-120-И и подобные им оказались практически неработоспособными из-за частого выхода из строя. Слабым узлом является сальниковое уплотнение, при повреждении которого эластомер вытекает из аппарата. Кроме того, направляющие болты аппарата подвержены изгибу из-за недостаточного центрирования упорной плиты.

На рис. 6 показан предохранитель от саморасцепки автосцепок при аварийных режимах, без которого вероятен выход автосцепок из зацепления и,

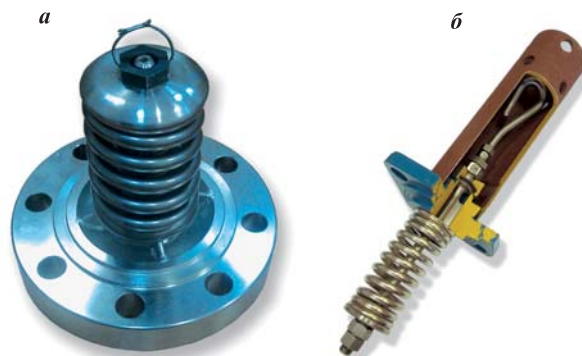


Рис. 7. Предохранительные клапаны: *a* — с увеличенным проходным сечением; *б* — стандартный, типа ДУ-32

Fig. 7. Safety valves: *a* — pressure relief valve with a larger orifice; *b* — standard safety valve type DU-32

как следствие, удар в днище котла цистерны с тяжелыми последствиями.

На рис. 7 приведены варианты конструкции предохранительного клапана на случай аварийных тепловых воздействий на котел: на рис. 7, *a* — клапан с увеличенным проходным сечением, обеспечивающий управляемый сброс продукта без взрыва цистерны в очаге пожара, на рис. 7, *б* — стандартный клапан типа ДУ-32, который не обеспечивает безопасного сброса продукта при воздействии на цистерну очага пожара.

Заключение

Подводя итог вышеизложенному, остановимся на необходимых мероприятиях для решения перечисленных проблем.

1. Следует принять единую техническую политику Российской Федерации по обеспечению безопасности перевозки пожароопасных грузов по железным дорогам.

2. С этой целью необходимо привести в соответствие нормативную документацию, касающуюся перевозок пожароопасных опасных грузов, чтобы снять противоречия в требованиях различных документов.

3. Передать вопросы согласования и утверждения конструкторской документации от ОАО “РЖД” в Министерство транспорта РФ.

4. Компетентные органы (Регистр сертификации на федеральном железнодорожном транспорте, Федеральное агентство железнодорожного транспорта), по нашему мнению, должны откорректировать свою нормативную базу по перевозкам пожароопасных грузов, а также возложить ответственность за выполнение ее требований на соответствующие структурные подразделения.

5. Создать независимую экспертную организацию, подчиненную Министерству транспорта, в ко-

торую должны входить квалифицированные специалисты в области подвижного состава железных дорог и безопасности перевозок пожароопасных грузов, возложив на нее, в частности, функцию проверки технической документации на соответствие подвижного состава требованиям Федерального закона “О техническом регулировании” [4].

Подобная экспертная организация может быть создана на базе Института транспортной техники и систем управления МИИТа, так как его ученые имеют многолетний опыт исследований в области проектирования, расчета и обеспечения безопасности вагонов для опасных грузов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила перевозок опасных грузов по железным дорогам (с изм. на 20.10.2017). — Введ. 01.01.1997. URL: docs.cntd.ru/document/902165571 (дата обращения 11.04.2018).
2. Правила безопасности и порядок ликвидации аварийных ситуаций с опасными грузами при перевозке их по железным дорогам : приказ МЧС РФ от 31.10.1996 № 9-733/3-2; МПС РФ от 25.11.1996 № ЦМ-407. URL: docs.cntd.ru/document/901948399 (дата обращения 11.04.2018).
3. Правила пожарной безопасности на железнодорожном транспорте (ППБО 109–92) (с изм. на 06.12.2001). — Утв. МПС РФ 11.11.1992 № ЦУО/112. URL: docs.cntd.ru/document/9008543 (дата обращения 11.04.2018).
4. О техническом регулировании : Федер. закон от 27.12.2002 № 184-ФЗ (ред. от 29.07.2017). URL: http://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294845/4294845855.htm (дата обращения: 10.04.2018).
5. О железнодорожном транспорте в Российской Федерации (ред. от 03.08.2018) : Федер. закон РФ № 17-ФЗ от 10.01.2003. URL: docs.cntd.ru/document/901838120 (дата обращения 11.04.2018).
6. Kazantzi V., Kazantzis N., Gerogiannis V. C. Risk informed optimization of a hazardous material multi-periodic transportation model // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. — 2011. — Vol. 24, Issue 6. — P. 767–773. DOI: 10.1016/j.jlp.2011.05.006.
7. Ming-shu Bi, Jing-jie Ren, Bo Zhao, Wei Che. Effect of fire engulfment on thermal response of LPG tanks // Journal of Hazardous Materials. — 2011. — Vol. 192, Issue 2. — P. 874–879. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2011.05.107.
8. Lui X., Schlake B. W. Probabilistic analysis of the release of liquefied natural gas (LNG) tenders due to freight-train derailments // Transportation Research. Part C: Emerging Technologies. — 2016. — Vol. 72. — P. 77–92. DOI: 10.1016/j.trc.2016.08.017.
9. Tiemessen G., van Zweeden J. P. Risk assessment of the transport of hazardous materials // Proceedings of the 9th International Symposium on Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries (May 4–7, 1998, Barcelona, Spain). — 1998. — P. 299–307.
10. Heymes F., Aprin L., Birk A. M., Slangen P., Jarry J. B., François H., Dusserre G. An experimental study of an LPG tank at low filling level heated by a remote wall fire // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. — 2013. — Vol. 26, Issue 6. — P. 1484–1491. DOI: 10.1016/j.jlp.2013.09.015.
11. Chakrabarti U. K., Parikh J. K. Route evaluation for hazmat transportation based on total risk — A case of Indian State Highways // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. — 2011. — Vol. 24, Issue 5. — P. 524–530. DOI: 10.1016/j.jlp.2011.03.002.
12. Gavelli F., Davis S. G., Hansen O. R. Evaluating the potential for overpressures from the ignition of an LNG vapor cloud during offloading // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. — 2011. — Vol. 24, Issue 6. — P. 908–915. DOI: 10.1016/j.jlp.2011.07.002.
13. Paltrinieri N., Landucci G., Molag M., Bonvicini S., Spadoni G., Cozzani V. Risk reduction in road and rail LPG transportation by passive fire protection // Journal of Hazardous Materials. — 2009. — Vol. 167, Issue 1–3. — P. 332–344. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2008.12.122.
14. Kim B. K., Ng D., Mentzer R. A., Mannan M. S. Key parametric analysis on designing an effective forced mitigation system for LNG spill emergency // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. — 2013. — Vol. 26, Issue 6. — P. 1670–1678. DOI: 10.1016/j.jlp.2013.01.007.
15. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). — М. : ГосНИИВ – ВНИИЖТ, 1996.

16. Специализированные цистерны для перевозки опасных грузов : справоч. пособие / Под ред. Котуранова В. Н., Филиппова В. Н. — М. : Изд-во стандартов, 1993. — 214 с.
17. Филиппов В. Н., Шебеко Ю. Н., Пономарев В. М., Навзенья В. Ю., Беспалько С. В., Плицына О. В. Моделирование поведения железнодорожной цистерны с СУГ в очаге пламени // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2017. — Т. 26, № 11. — С. 41–51. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.11.41-51.
18. Filippow W. N., Stanislaw K. Badania prototypowych urzadzzen, ochraniajacych armature i dennice wagonow-cystern w awaryjnych sytuacjach // Przegląd Kolesowy. — 1993. — No. 8. — P. 31–33 (in Polish).
19. Андриянов С. С. Нагруженность элементов специализированных вагонов, оборудованных амортизаторами повышенной энергоемкости : дис. ... канд. техн. наук. — М., 2006. — 106 с.
20. Головин В. В. Моделирование поведения котла цистерны в очаге пламени : дис. ... канд. техн. наук. — М., 2005. — 100 с.
21. Маслов И. Г. Состояние котла цистерны при воздействии очага пламени в аварийной ситуации : дис. ... канд. техн. наук. — М., 2016. — 132 с.
22. Подлесников Я. Д. Методы улучшения динамических качеств вагонов для перевозки опасных грузов : дис. ... канд. техн. наук. — М., 2016. — 179 с.
23. Андриянов С. С. Математическая модель эластомерного поглощающего аппарата // Мир транспорта. — 2015. — Т. 13, № 2(57). — С. 214–218.
24. Богачев В. И. Оценка колебаний жидкого груза в котле цистерны // Мир транспорта. — 2012. — Т. 10, № 1(39). — С. 32–36.
25. Маслов И. Г. О новой методике определения напряженно-деформированного состояния котла цистерны // Железнодорожный транспорт. — 2009. — № 7. — С. 51.
26. Леончук П. А. Обзор научных работ по пожарной опасности транспортировки опасных грузов автомобильным и железнодорожным транспортом в части оценки последствий аварий и пожарного риска // Пожарная безопасность. — 2017. — № 1. — С. 85–95.
27. Швырков С. А., Гордиенко Д. М., Шебеко А. Ю., Леончук П. А., Трунева В. А. Оценочное влияние пролива на расчетную величину пожарного риска при транспортировке легковоспламеняющихся жидкостей // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. — 2017. — Т. 1, № 8. — С. 163–165.
28. Шебеко А. Ю., Булага С. Н., Булгаков В. В., Смирнов Н. В., Дудеров Н. Г. Развитие методов экспериментальной оценки сохранности огнезащитных свойств покрытий // XXIX Международная научно-практическая конференция, посвященная 80-летию ФГБУ ВНИИПО МЧС России. — М. : ВНИИПО, 2017. — С. 114–118.
29. Shebeko Yu. N., Bolodian I. A., Filippov V. N., Navzenya V. Yu., Kostyuhin A. K., Tokarev P. M., Zamishovski E. D. Explosion prevention of LPG vessels using fire retardant coatings and safety valves // 5th Asia-Pacific International Symposium on Combustion and Energy Utilization (October 24–29, 1999, Shanghai). — International Academic Publishers, 1999. — P. 215–226.
30. Shebeko Yu. N., Bolodian I. A., Filippov V. N., Navzenya V. Yu., Kostyuhin A. K., Tokarev P. M., Zamishovski E. D. An investigation of some methods for fire protection of LPG vessels // Conference Proceedings of Interflame'99, 8th International Fire Science & Engineering Conference (29 June – 1 July, 1999, Edinburgh, UK). — London : Interscience Communications Ltd., 1999. — P. 1141–1146.
31. Nedorchuk B. L., Filippow V. N., Shebeko Yu. N. General technical requirements for safety of railway tanks for transportation of hazardous materials // Pojazdy szynowe na przełomie wiekow. — Krakow, Arlamow, 2000. — Vol. 1. — P. 197–203 (in Polish).
32. Shebeko Yu. N., Bolodian I. A., Filippov V. N. Investigations of methods for fire protection of railway tanks for transportation of liquefied petroleum gases // Pojazdy szynowe na przełomie wiekow. — Krakow, Arlamow, 2000. — Vol. 3. — P. 109–118 (in Polish).
33. Нормы расчета и проектирования грузовых вагонов железных дорог колеи 1520 мм Российской Федерации. — М. : ВНИИЖТ – ГосНИИВ, 2004. — 213 с.

Материал поступил в редакцию 1 июня 2018 г.

Для цитирования: Евсеев Д. Г., Филиппов В. Н., Петров Г. И., Шебеко Ю. Н., Беспалько С. В. О необходимости формирования единой технической политики для обеспечения пожарной безопасности перевозки опасных грузов по железным дорогам России // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 9. — С. 26–34. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.09.26-34.

ON A NESECITY OF A CREATION OF A UNITED TECHNICAL POLICY IN THE AREA OF A FIRE SAFETY ENSURING OF A TRANSPORTATION OF HAZARDOUS GOODS ON RUSSIAN RAILWAYS

EVSEEV D. G., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Technology of Transport Mechanical Engineering and Repair of Rolling Stock Department, Russian University of Transport (Obraztsova St., 9, Bldg. 9, Moscow, 127994, Russian Federation)

FILIPPOV V. N., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Cars and Carriage Economy Department, Russian University of Transport (Obraztsova St., 9, Bldg. 9, Moscow, 127994, Russian Federation)

PETROV G. I., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Cars and Carriage Economy Department, Russian University of Transport (Obraztsova St., 9, Bldg. 9, Moscow, 127994, Russian Federation)

SHEBEKO Yu. N., Doctor of Technical Sciences, Professor, Principle Researcher of Department of Fire Safety of Industrial Facilities, Technologies and Modeling of Technogenic Accidents, All-Russian Scientific Research Institute for Fire Protection (VNIIPPO, 12, Balashikha, Moscow Region, 143903, Russian Federation)

BESPALKO S. V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Cars and Carriage Economy Department, Russian University of Transport (Obraztsova St., 9, Bldg. 9, Moscow, 127994, Russian Federation)

ABSTRACT

Introduction. The work is devoted to the results of many years of research to ensure the fire and explosion safety of tanks for liquefied petroleum gases, conducted by the Moscow state University of Railways (MIIT), together with other organizations.

Methods. On the basis of statistical data, the main scenarios of emergency situations were determined.

Experimental and theoretical studies of the behavior of tanks under emergency conditions associated with dynamic and thermal effects were carried out. Numerous experiments were carried out both on full-scale samples and on models using the theory of similarity. The results of the experiments are used both for verification of theoretical models and for specification of parameters of the calculation schemes.

The mathematical models developed in the framework of theoretical research were implemented in the form of a package of computer programs and used later to select the parameters of the means of protection.

Results. In terms of protection against thermal effects, the following were proposed: safety valves, fire-retardant coatings, upgraded versions of control, drain and safety valves using design solutions adopted in nuclear engineering. In particular, the use of fire-resistant coatings SGK provides an increase of 2.5–3.5 times the time of the accident-free stay of the tank in the fire.

A new layout of the drain-filling pipes is recommended, which significantly reduces the probability of breakage of the elements of the drain-filling fittings. The design of safety arcs and nodes for connection of arc elements with the shell is proposed.

Conclusion. On the basis of the whole complex of the conducted researches the family of tanks for the transportation of liquefied hydrocarbon gases was developed, the production of which was carried out at the enterprises of Russia, Ukraine, Japan, Poland.

However, there is a problem of contradictions in the regulatory documentation on the issues of fire and explosion safety of tanks, which requires the formation of a unified technical policy in this area.

Keywords: fire safety; technical policy; hazardous goods; railway transportation; cars for dangerous goods; tank-car boiler; protection means against fire-dangerous accidents.

REFERENCES

1. *Rules for a transportation of hazardous goods by a railway transport* (ed. on 20.10.2017). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902165571> (Accessed 11 April 2018).

2. *Safety rules and measures for an elimination of accidents with hazardous goods at their transportation by a railway transport*. Order of Emercom of Russia on 31.10.1996 No. 9-733/3-2; Ministry of Railway Transport of Russia on 25.11.1996 No. TsM-407. Available at: docs.cntd.ru/document/901948399 (Accessed 11 April 2018).
3. *Fire safety rules on the railway transport (PPBO 109–92)* (ed. on 06.12.2001). Approved by Ministry of Railway Transport of Russia on 11.11.1992 No. TsUO/112. Available at: docs.cntd.ru/document/9008543 (Accessed 11 April 2018).
4. *On technical regulation*. Federal Law of Russian Federation on 27.12.2002 No. 184-FZ (ed. on 29.07.2017) (in Russian). Available at: <http://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294845/4294845855.htm> (Accessed 10 April 2018).
5. *On a railway transport in Russian Federation* (ed. on 03.08.2018). Federal Law of Russia on 10.01.2003 No. 17-FZ (in Russian). Available at: docs.cntd.ru/document/901838120 (Accessed 11 April 2018).
6. Kazantzi V., Kazantzis N., Gerogiannis V. C. Risk informed optimization of a hazardous material multi-periodic transportation model. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 2011, vol. 24, issue 6, pp. 767–773. DOI: 10.1016/j.jlp.2011.05.006.
7. Ming-shu Bi, Jing-jie Ren, Bo Zhao, Wei Che. Effect of fire engulfment on thermal response of LPG tanks. *Journal of Hazardous Materials*, 2011, vol. 192, issue 2, pp. 874–879. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2011.05.107.
8. Lui X., Schlake B. W. Probabilistic analysis of the release of liquefied natural gas (LNG) tenders due to freight-train derailments. *Transportation Research. Part C: Emerging Technologies*, 2016, vol. 72, pp. 77–92. DOI: 10.1016/j.trc.2016.08.017.
9. Tiemessen G., van Zweeden J. P. Risk assessment of the transport of hazardous materials. In: *Proceedings of the 9th International Symposium on Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries* (May 4–7, 1998, Barcelona, Spain), 1998, pp. 299–307.
10. Heymes F., Aprin L., Birk A. M., Slangen P., Jarry J. B., François H., Dusserre G. An experimental study of an LPG tank at low filling level heated by a remote wall fire. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 2013, vol. 26, issue 6, pp. 1484–1491. DOI: 10.1016/j.jlp.2013.09.015.
11. Chakrabarti U. K., Parikh J. K. Route evaluation for hazmat transportation based on total risk — A case of Indian State Highways. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 2011, vol. 24, issue 5, pp. 524–530. DOI: 10.1016/j.jlp.2011.03.002.
12. Gavelli F., Davis S. G., Hansen O. R. Evaluating the potential for overpressures from the ignition of an LNG vapor cloud during offloading. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 2011, vol. 24, issue 6, pp. 908–915. DOI: 10.1016/j.jlp.2011.07.002.
13. Paltrinieri N., Landucci G., Molag M., Bonvicini S., Spadoni G., Cozzani V. Risk reduction in road and rail LPG transportation by passive fire protection. *Journal of Hazardous Materials*, 2009, vol. 167, issue 1-3, pp. 332–344. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2008.12.122.
14. Kim B. K., Ng D., Mentzer R. A., Mannan M. S. Key parametric analysis on designing an effective forced mitigation system for LNG spill emergency. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 2013, vol. 26, issue 6, pp. 1670–1678. DOI: 10.1016/j.jlp.2013.01.007.
15. *Norms for calculations and project of railway carriages for tracks of the width 1520 mm*. Moscow, GosNIIV – VNIIZhT Publ., 1996 (in Russian).
16. Koturanov V. N., Filippov V. N. (eds.). *Spetsializirovannyye tsisterny dlya perevozki opasnykh gruzov* [Special railway tanks for transportation of hazardous goods]. Moscow, Izdatelstvo standartov, 1993. 214 p. (in Russian).
17. Filippov V. N., Shebeko Yu. N., Ponomarev V. M., Navtsenya V. Yu., Bespalco S. V., Plitsina O. V. Modeling of the behavior of the railway LPG tank in the hearth flame. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 11, pp. 41–51 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.11.41-51.
18. Filippow W. N., Stanislaw K. Badania prototypowych urzadzen, ochraniajacych armature i dennice wagonow-cystern w awaryjnych sytuacjach. *Przegląd Kolesowy*, 1993, no. 8, pp. 31–33 (in Polish).
19. Andriyanov S. S. *Loading of the items of specialized cars equipped with dampers of high intensity*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, 2006. 106 p. (in Russian).
20. Golovin V. V. *Modeling of the behavior of the tank boiler in the flame*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, 2005. 100 p. (in Russian).
21. Maslov I. G. *The condition of the tank boiler under the influence of the flame in an emergency*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, 2016. 132 p. (in Russian).

22. Podlesnikov Ya. D. *Methods to improve the dynamic qualities of wagons for the transport of dangerous goods*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, 2016. 179 p. (in Russian).
23. Andriyanov S. S. Mathematical model of an elastomeric draft gear. *Mir transporta / World of Transport and Transportation*, 2015, vol. 13, no. 2(57), pp. 214–218 (in Russian).
24. Bogachev V. I. Simulation of vibrations of liquid goods in a tank car. *Mir transporta / World of Transport and Transportation*, 2012, vol. 10, no. 1(39), pp. 32–36 (in Russian).
25. Maslov I. G. On a new method of determining the stress-strain state of the tank. *Zheleznodorozhnyy transport / The Railway Transport Magazine*, 2009, no. 7, p. 51 (in Russian).
26. Leonchuk P. A. Review of studies about fire hazard of dangerous cargo transportation by motor and railway transport in the part of assessment of accident consequences and fire risk. *Pozharnaya bezopasnost / Fire Safety*, 2017, no. 1, pp. 85–95 (in Russian).
27. Shvyrkov S. A., Gordienko D. M., Shebeko A. Yu., Leonchuk P. A., Truneva V. A. Estimated impact of the strait on the estimated value of fire risk during transportation of flammable liquids. *Pozharnaya bezopasnost: problemy i perspektivy / Fire Safety: Problems and Prospects*, 2017, vol. 1, no. 8, pp. 163–165 (in Russian).
28. Shebeko A. Yu., Bulaga S. N., Bulgakov V. V., Smirnov N. V., Duderov N. G. Development of methods for the experimental evaluation of the safety of the fire resistant properties of coatings. In: *XXIX Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, posvyashchennaya 80-letiyu FGBU VNIPO MChS Rossii* [XXIX International Scientific and Practical Conference, dedicated to the 80th anniversary of the VNIPO of Emercom of Russia]. Moscow, VNIPO Publ., 2017, pp. 114–118 (in Russian).
29. Shebeko Yu. N., Bolodian I. A., Filippov V. N., Navzenya V. Yu., Kostyuhin A. K., Tokarev P. M., Zamishevski E. D. Explosion prevention of LPG vessels using fire retardant coatings and safety valves. In: *5th Asia-Pacific International Symposium on Combustion and Energy Utilization* (October 24–29, 1999, Shanghai). International Academic Publishers, 1999, pp. 215–226.
30. Shebeko Yu. N., Bolodian I. A., Filippov V. N., Navzenya V. Yu., Kostyuhin A. K., Tokarev P. M., Zamishevski E. D. An investigation of some methods for fire protection of LPG vessels. In: *Conference Proceedings of Interflame '99, 8th International Fire Science & Engineering Conference* (29 June – 1 July, 1999, Edinburgh, UK). London, Interscience Communications Ltd., 1999, pp. 1141–1146.
31. Nedorchuk B. L., Filippov V. N., Shebeko Yu. N. General technical requirements for safety of railway tanks for transportation of hazardous materials. *Pojazdy szynowe na przelomie wikow*. Krakow, Arlamow, 2000, vol. 1, pp. 197–203 (in Polish).
32. Shebeko Yu. N., Bolodian I. A., Filippov V. N. Investigations of methods for fire protection of railway tanks for transportation of liquefied petroleum gases. *Pojazdy szynowe na przelomie wikow*. Krakow, Arlamow, 2000, vol. 3, pp. 109–118 (in Polish).
33. *Norms of calculations and project of railway carriages for goods transportation for tracks of the width 1520 mm of Russian Federation*. Moscow, VNIIZhT – GosNIIV Publ., 2004. 213 p. (in Russian).

For citation: Evseev D. G., Filippov V. N., Petrov G. I., Shebeko Yu. N., Bespalko S. V. On a necessity of a creation of a united technical policy in the area of a fire safety ensuring of a transportation of hazardous goods on Russian railways. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 9, pp. 26–34 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.09.26-34.

М. В. АЛЕШКОВ, д-р техн. наук, профессор, заместитель начальника по научной работе, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4)

С. Г. ЦАРИЧЕНКО, д-р техн. наук, начальник базового методического полигона испытаний робототехнических комплексов, НИИ "Геодезия" (Россия, 141292, Московская обл., г. Красноармейск, просп. Испытателей, 14)

А. Л. ХОЛОСТОВ, д-р техн. наук, доцент, начальник кафедры пожарной автоматики, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4)

И. А. ГУСЕВ, адъюнкт факультета подготовки научно-педагогических кадров, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: ivan.gusev.92@inbox.ru)

УДК 614.847.4:62/69

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ ПУТЕМ РАЗРАБОТКИ И ПРИМЕНЕНИЯ МОБИЛЬНОЙ РОБОТОТЕХНИКИ ПОЖАРОТУШЕНИЯ

В результате анализа статистических данных по пожарам и авариям, происходившим на объектах энергетики, выявлены особенности их тушения, одной из которых является воздействие на участников тушения пожаров опасных факторов и сопутствующих им событий, вследствие чего приходится прерывать процесс тушения, отводя силы и средства на безопасное расстояние. Для обеспечения пожаротушения в условиях возникающих угроз предложено применять мобильную робототехнику пожаротушения, способную работать в рассматриваемых условиях. Проведены оценка и обоснование технических характеристик мобильной робототехники, от которых во многом зависит эффективность ее применения. Сформулированы технические требования, на основании которых был разработан опытный образец мобильной роботизированной установки пожаротушения, предназначенной для объектов энергетики. Проведена оценка технических возможностей роботизированной установки при заданных условиях, которая показала положительный результат.

Ключевые слова: робототехника пожаротушения; объекты энергетики; функционал пожарного робота; огнетушащие вещества; дистанционно-управляемый лафетный ствол; дальность подачи огнетушащих веществ.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.09.35-49

Введение

Тушение различного рода пожаров представляет собой комплекс мероприятий, направленных на создание условий, при которых не происходит дальнейшего распространения пожара, отсутствует угроза здоровью и жизни людей и созданы все необходимые предпосылки для полной ликвидации пожара. Пожары, происходящие на различных объектах, по своему характеру, а следовательно, и по тактике тушения, во многом могут отличаться. Связано это в первую очередь со спецификой объекта и находящейся на нем пожарной нагрузки. Рассматривая пожары, происходящие на объектах энергетики, следует заметить, что, помимо воздействия на участников тушения опасных факторов пожара, могут возникать события, которые вызывают обрушение строительных конструкций, воздействие радио-

активного излучения (объекты атомной энергетики), взрывы емкостей под давлением, поражение электрическим током и др.

Известным примером рассматриваемых событий является происшедшая 26 апреля 1984 г. крупнейшая техногенная авария на Чернобыльской атомной электростанции (АЭС) (рис. 1). Тушение пожара, возникшего в результате взрыва, было осложнено воздействием мощнейшего ионизирующего излучения, а также тем, что образовалось более 30 очагов пожара на различных высотных отметках станции, горело электрооборудование, обрушилась кровля машинного зала, повредив маслопроводы с последующим их воспламенением, и пр. [1, 2].

Благодаря решительным действиям пожарных подразделений и персонала станции удалось ликвидировать пожар и не допустить еще более плачев-



Рис. 1. Последствия взрыва и пожара на Чернобыльской АЭС

ных последствий. Все участники тушения получили значительные дозы облучения, работы приходилось проводить в условиях плотного задымления, воздействия высокой температуры и открытого горения, в условиях опасности поражения электрическим током и обрушения строительных конструкций. Для многих из тех, кто в первые часы аварии выполнял работы по ее ликвидации, полученная доза радиации оказалась смертельной.

Анализируя сегодняшнее состояние объектов энергетики с точки зрения пожарной безопасности, необходимо заметить, что даже при современном уровне безопасности они все равно подвержены опасности возникновения пожаров, при ликвидации которых пожарным и персоналу объекта придется испытывать на себе воздействие опасных факторов, в том числе связанных с радиационным или химическим воздействием, что подтверждается и работами зарубежных коллег, в которых говорится о комплексном подходе в вопросах обеспечения безопасности [3–5].

После аварии на Чернобыльской АЭС была проведена огромная работа, направленная на выявление недостатков в области обеспечения безопасности на объектах энергетики, были сделаны соответствующие выводы в вопросах тактического и технического совершенствования мероприятий, направленных на повышение эффективности тушения пожаров и обеспечение безопасности участников тушения. Одним из таких технических решений было применение мобильной робототехники. Вообще Чернобыльская авария стала отправной точкой в вопросе создания и применения мобильной робото-

техники для выполнения специальных операций. Для ликвидации Чернобыльской катастрофы в рекордные сроки были разработаны многие образцы мобильной робототехники, основными задачами которой являлись дезактивация и дегазация местности, расчистка кровли АЭС от радиоактивных обломков, мониторинг обстановки и многое другое. Общая группировка мобильной робототехники различного исполнения, включая и зарубежные образцы, насчитывала около 40 ед. Применение ее в сложившихся условиях обеспечило замену человека на многих участках работ, что способствовало сохранению десятков жизней [6].

Вопросы применения мобильной робототехники для тушения пожаров также не остались без внимания. Так, в работе А. К. Микеева [7] вопросу разработки и применения пожарной робототехники посвящен целый раздел, в котором отражены основные перспективы ее создания, приведены данные по реализации этого направления в зарубежных странах, и это на период начала 90-х годов.

На сегодняшний день робототехника применима практически во всех отраслях деятельности. Для решения задач, поставленных перед подразделениями МЧС России, она играет особую роль, выполняя работы от мониторинга обстановки до разминирования и пожаротушения.

В настоящее время в целях обеспечения пожарной безопасности машинных залов электростанций находит достаточно широкое распространение, особенно на вновь строящихся энергоблоках, применение стационарных роботизированных установок пожаротушения, что позволяет в автоматическом режиме обнаруживать и ликвидировать очаги возгорания [8]. Однако на объектах энергетики имеется достаточно много потенциально пожароопасных мест, насыщенных горючими материалами и расположенных в труднодоступных и загроможденных зонах, где применение стационарных систем является неэффективным. В этом случае актуальным становится вопрос применения мобильных противопожарных роботизированных комплексов, способных маневрировать в пространстве и обеспечивать доступ в труднодоступные и загроможденные зоны.

Рассматривая вопрос применения мобильной пожарной робототехники на объектах энергетики, необходимо отметить, что в большинстве своем он не был до конца реализован. Созданию и применению мобильной робототехники пожаротушения уделялось также недостаточно внимания, хотя необходимость в ее разработке была налицо. В связи с этим основной целью настоящей статьи является обоснование требований к конструкции мобильного робототехнического средства (РТС) пожароту-

шения, разрабатываемого для объектов энергетики с учетом специфики тактики пожаротушения на них. Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- сформировать функционал робототехнического средства и подобрать технические устройства для его реализации;
- провести исследования тактических возможностей робототехнического средства пожаротушения;
- сформулировать технические требования к конструкции робототехнического средства, предназначенного для объектов энергетики, и создать его опытный образец.

Определение функционала робототехнического средства и подбор технических устройств для его реализации

Первоочередным действием, несомненно, является определение функционала робототехнического средства, а следовательно, и оснащение его конструкции необходимым набором исполнительных механизмов с учетом тактических задач, основанных на имеющемся опыте их использования при ликвидации различных типов пожаров.

Анализ происходивших в различное время на объектах энергетики пожаров и аварий свидетельствует о том, что специфика тактических приемов пожаротушения обусловлена, во-первых, наличием большого количества горючей нагрузки в виде твердых и жидких горючих веществ и материалов и, во-вторых, эксплуатацией электрического оборудования под высоким напряжением.

Ввиду большого количества горючей нагрузки возникающие пожары приобретают значительные размеры, поэтому для их ликвидации требуется подача большого количества огнетушащих веществ (ОТВ). Об этом свидетельствуют и справочные данные, согласно которым для тушения пожаров в машинных залах электростанций требуемая интенсивность подачи огнетушащих веществ составляет $0,2 \text{ л}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ [9].

Помимо горения твердых горючих веществ, происходило горение и горючих жидкостей, в том числе трансформаторного масла, находящегося в системах смазки турбин и иного оборудования. В связи с этим робототехническое средство должно обладать возможностью подачи значительного количества ОТВ в очаг пожара; при этом, помимо воды, оно должно осуществлять подачу и раствора пенообразователя на расстояние не менее 30 м, что позволит перекрыть значительную площадь, а также обеспечить охлаждение строительных конструкций. Для выполнения рассматриваемых мероприятий необходимо предусмотреть дистанционно-управля-

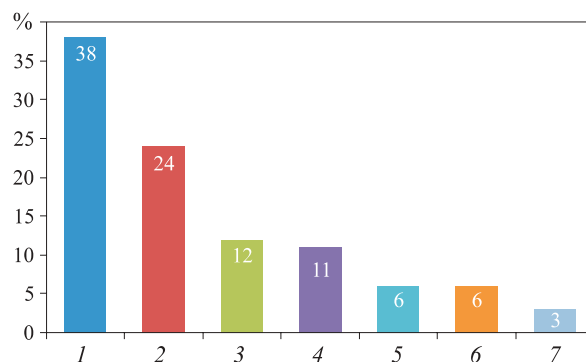


Рис. 2. Оборудование, наиболее подверженное опасности возникновения пожаров: 1 — кабельное оборудование; 2 — маслопроводы; 3 — маслораспределители; 4 — турбогенераторы; 5 — электронное оборудование; 6 — трансформаторы; 7 — вентсистемы

емый лафетный ствол с расходом огнетушащих веществ до 20 л/с.

Однако основной особенностью тушения пожаров на объектах энергетики является тушение горящего электрооборудования, находящегося под напряжением. Анализ статистических данных по пожарам на объектах энергетики позволил заключить, что в период с 2005 по 2016 гг. на них произошло 5066 пожаров, 38 % из которых возникли непосредственно на электрооборудовании (рис. 2) [10–13].

Задача тушения пожаров электрооборудования всегда являлась наиболее значимой и трудоемкой из-за угрозы поражения электрическим током. Рассматривая же объекты энергетики, необходимо учесть тот факт, что в силу специфики объекта часть оборудования даже в случае его горения нельзя обесточивать, ввиду того что оно отвечает за безопасную работу объекта.

Мобильная робототехника пожаротушения представляет собой систему, позволяющую адаптироваться к реальным условиям аварии и пожара, в том числе при наличии оборудования под напряжением, что позволяет рассматривать ее как эффективное средство для пожаротушения. Для робототехники, как и в случае с человеком, представляют угрозу токи утечки, которые проходят по струе ОТВ и воздействие которых на электронные системы РТС может вывести его из строя. Производить тушение горящего электрооборудования водой и водопенными составами, подаваемыми из штатных лафетных стволов, небезопасно в силу хорошей электропроводимости струи. В связи с этим необходимо подобрать дополнительное средство тушения, токи утечки по струе которого будут минимальными и которое наиболее применимо для совместной работы с мобильной робототехникой.

При оценке свойств огнетушащих составов, применимых для тушения пожаров электрооборудования под напряжением, было установлено, что хоро-

шими огнетушащими свойствами обладает тонко-распыленная вода со средним диаметром капель менее 200 мкм [14].

В качестве средства подачи была выбрана установка пожаротушения с гидроабразивной резкой, реализующая принцип как поверхностного, так и локально-объемного пожаротушения. Основным преимуществом установки является возможность подачи ОТВ в горящий объем через оградительные строительные конструкции путем их разрушения потоком смеси воды и абразивных частиц. Средний диаметр капель струи, формируемой установкой, составляет около 170 мкм [15–17].

Для определения возможности применения рассматриваемых систем при тушении пожаров электрооборудования под напряжением были проведены экспериментальные исследования, в результате которых были установлены рабочие параметры установок пожаротушения при их использовании личным составом пожарно-спасательных подразделений. Кроме того, было установлено, что при использовании установок совместно с мобильной робототехникой допустимо производить пожаротушение с расстояния не менее 0,5 м при условии, что размещаемый на РТС ствол установки будет соединен с ним диэлектрическими разъемами, а в самой конструкции РТС будут предусмотрены аппараты защиты от токов утечки силой 1 мА [18].

Исследования тактических возможностей робототехнического средства пожаротушения

Определение предельной дальности подачи огнетушащих веществ

Технические возможности робототехнического средства должны обеспечивать его применение не только на открытой местности, но и во многих помещениях электростанции. Это во многом достижимо за счет уменьшения габаритных размеров и полной массы робототехнического средства. Для выполнения этих условий конструкция РТС не должна иметь собственного запаса ОТВ, а должна иметь лишь средства пожаротушения и иное оборудование. Обеспечение же РТС огнетушащими веществами должно осуществляться через рукавные линии. Исходя из этого, необходимо установить условия, влияющие на тактические возможности робототехнического средства.

При этом следует учитывать то, что при тушении пожаров мобильными робототехническими комплексами предельная дальность подачи огнетушащих веществ по рукавным линиям с учетом гидравлических потерь не должна приводить к снижению интенсивности их подачи в очаг пожара.

Потери напора подразделяются на местные и линейные. Линейные потери возникают в результате трения транспортируемой жидкости о стенки трубопровода и капель между собой, местные — при деформации потока (задвижки, переходники, клапаны и др.) [19].

Основной формулой для расчета потерь напора по длине $h_{\text{л}}$ (м) в круглом трубопроводе является формула Дарси–Вейсбаха:

$$h_{\text{л}} = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}, \quad (1)$$

где λ — коэффициент гидравлического трения;

l — длина трубопровода, м;

d — диаметр живого сечения, м;

v — средняя скорость потока жидкости, м/с;

g — ускорение свободного падения, м/с².

Основным критерием, характеризующим потери напора при заданных параметрах работы насосно-рукавной системы, является коэффициент гидравлического трения λ , зависящий от скорости потока и внутренней шероховатости поверхности. Определение коэффициента гидравлического трения представляет собой довольно непростую задачу, поэтому, как показал анализ научно-исследовательских работ, его определение следует производить эмпирическим путем для конкретных условий работы.

Рассматривая же установки пожаротушения с гидроабразивной резкой, следует отметить, что они работают при давлении 30 МПа, а транспортируемые огнетушащие составы представляют собой не только воду, но и смесь воды и абразивных частиц, предназначенных для резки конструкций. В связи с этим при транспортировании смеси возникают дополнительные потери напора, связанные с переносом абразивных частиц. Формула для определения потерь напора при транспортировании смеси $i_{\text{см}}$ (м) имеет вид:

$$i_{\text{см}} = i_{\text{в}} + \Delta i, \quad (2)$$

где $i_{\text{в}}$ — удельные потери напора при движении воды, м;

Δi — дополнительные потери напора, м.

Удельные потери напора при движении воды могут быть определены по формуле Дарси–Вейсбаха, дополнительные потери — по формуле

$$\Delta i = \delta \sqrt[4]{j^3} \sqrt{C_0^2} \frac{V_{\text{кр}}}{V}, \quad (3)$$

где δ — коэффициент, учитывающий влияние относительной крупности частиц грунта d/D по отношению к диаметру трубы;

j — коэффициент, учитывающий разноразмерность твердых частиц;

C_0 — действительная весовая консистенция;

$V_{кр}$ — критическая скорость движения смеси, при которой частицы начинают двигаться вдоль потока, м/с;

V — скорость потока, м/с.

Проведенные с использованием формул (1) и (3) расчеты показали, что потери напора за счет присутствия гидроабразивных частиц не столь значительны по сравнению с гидравлическими потерями по воде. Однако, исходя из имеющих некоторую недетерминированность режимов работы установок пожаротушения, определение потерь напора как по воде, так и по гидроабразивной смеси, а следовательно, и коэффициента гидравлического трения для получения точных значений, необходимо осуществлять опытным путем. В результате экспериментальных исследований были установлены предельные дальности подачи огнетушащих веществ по рукавной линии для воды и гидроабразивной смеси, которые составили соответственно 317 и 290 м. Кроме того, был определен коэффициент гидравлического трения, характеризующий потери напора при транспортировании воды по рукавам установок пожаротушения с гидроабразивной резкой, значение которого составило 0,019 [20].

В случае совместной работы робототехнического комплекса пожаротушения с установкой пожаротушения с использованием тонкораспыленной воды высокого давления прокладка рукавной линии (шланга высокого давления) осуществляется с борта робота автоматически. При этом повышенных требований к тяговым возможностям робототехнического комплекса в части прокладки рукавной линии

не предъявляется. В случае использования в качестве средства подачи огнетушащего вещества штатного, дистанционно управляемого лафетного ствола прокладка рукавной линии производится методом протягивания линии. Это накладывает повышенные требования на тяговые характеристики робота, обеспечивающие его перемещение с рукавной линией при выходе на позицию подачи ОТВ и маневрировании с нею.

Определение тяговых усилий

Для определения тяговых усилий, которыми должно обладать робототехническое средство, были проведены экспериментальные исследования с пожарными напорными рукавами общего исполнения. Рукава перемещали по трем наиболее часто встречающимся поверхностям на объектах энергетики: плитке, наливному полу, асфальту, и измеряли силу трения. В результате исследований были определены коэффициенты трения, характеризующие трение рукавов о рассматриваемые поверхности; проведена оценка схем подачи огнетушащих веществ с помощью РТС; выбран наиболее рациональный вариант подачи. Установлено, что для реализации такого варианта необходимо, чтобы РТС обладало тяговыми усилиями не менее 1000 Н [21].

В качестве транспортной базы было выбрано унифицированное гусеничное шасси с электромеханическим приводом, которое обеспечит применение РТС в условиях небольших завалов и плотного задымления. Для подачи огнетушащих веществ на ней может быть установлен дистанционно-

Технические требования к конструкции РТС

№ п/п	Параметр	Значение параметра
1	Цели применения	1. Проведение разведки пожара, сбор данных и мониторинг обстановки. 2. Тушение пожаров, проведение аварийно-спасательных работ (АСР)
2	Среда применения	Наземные
3	Степень функциональности	Многофункциональные (универсальные)
4	Оснащение средствами тушения и проведения аварийно-спасательных работ	1. Лафетный дистанционно-управляемый ствол с расходом ОТВ от 15 до 20 л/с. 2. Ствол установки пожаротушения с гидроабразивной резкой. 3. Роботизированная рука-манипулятор
5	Применяемые огнетушащие составы	1. Вода, водный раствор пенообразователя. 2. Тонкораспыленная вода (170 мкм). 3. Смесь воды и абразива для резки
6	Тип привода	Электромеханический
7	Тип двигателя ходового модуля	Гусеничный
8	Тяговое усилие	Не менее 100 кг
9	Тип РТС	Легкий
10	Класс РТС	1
11	Масса РТС	Св. 100 до 300 кг (включ.). Подкласс от 101 до 150 кг включ.
12	Габаритные размеры	Не более 1500×900×1900 мм
13	Время непрерывной работы	Не менее 4 ч

управляемый лафетный ствол или ствол для подачи тонкораспыленной воды высокого давления и абразивной резки.

Технические требования к конструкции робототехнического средства, предназначенного для объектов энергетики

В результате исследований тактических особенностей применения мобильной робототехники при тушении пожаров на объектах энергетики были установлены технические требования к конструкции робототехнического средства (см. таблицу).

Для практической реализации сформулированных технических требований целесообразно использовать унифицированную дистанционно-управляемую транспортную платформу, оборудованную в зависимости от решаемой задачи специализированным пожарно-техническим вооружением.

Первый вариант РТС представляет собой дистанционно-управляемую платформу на гусеничном

шасси с электромеханическим приводом, на которой размещается дистанционно-управляемый лафетный ствол с расходом ОТВ от 15 до 20 л/с, системы технического зрения, освещения, тепловизор для поиска очагов горения и набор необходимого оборудования, обеспечивающего работоспособность РТС (рис. 3,а).

Второй вариант робототехнического средства представляет собой дистанционно-управляемую платформу на гусеничном шасси с электромеханическим приводом, на которой размещается роботизированная рука-манипулятор со схватом, имеющая пять степеней свободы, и ствол установки пожаротушения с гидроабразивной резкой. Роботизированный манипулятор позволит обеспечить выполнение тактических приемов тушения со стволом установки пожаротушения, а также проводить разборку и транспортировку конструкций и оборудования при проведении аварийно-спасательных работ (рис. 3,б).

В настоящее время разработан опытный образец первого варианта РТС, оснащенный дистанционно-

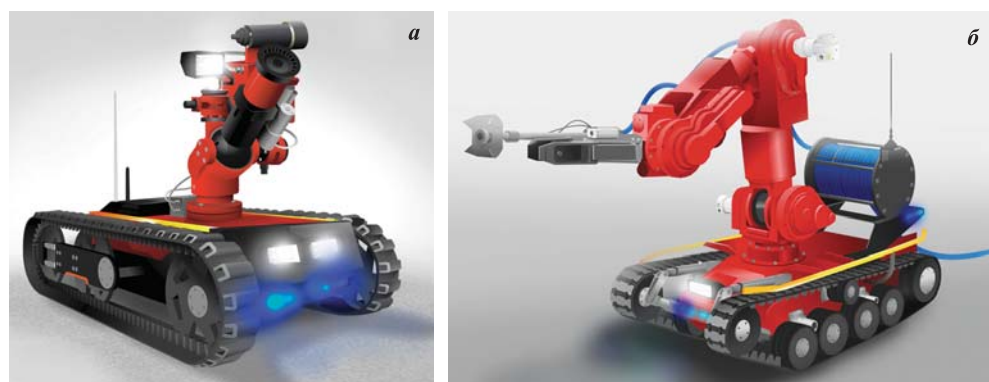


Рис. 3. Комплекс, состоящий из первого (а) и второго (б) вариантов модели робототехнического средства



Рис. 4. Мобильная роботизированная установка пожаротушения

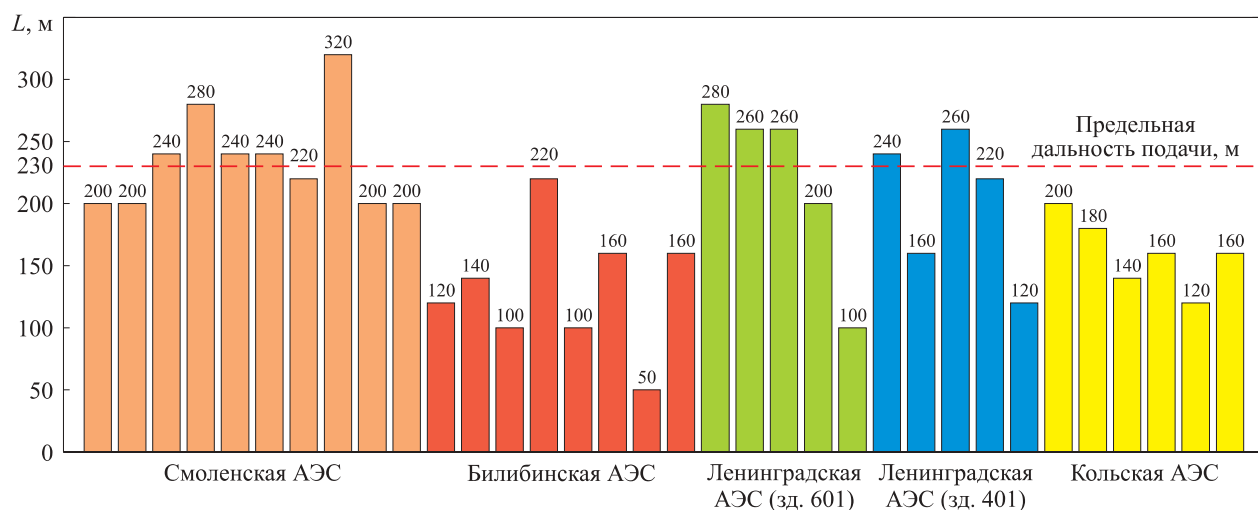


Рис. 5. Предельная дальность L подачи огнетушащих веществ с помощью МРУП, оснащенной лафетным стволом

управляемым лафетным стволом с расходом водопенного огнетушащего состава 20 л/с (рис. 4) и получивший название “мобильная роботизированная установка пожаротушения” (МРУП).

Особенностью МРУП является возможность работы в условиях гамма-излучения мощностью до 10 Зв/ч. Для проверки этого условия проводились экспериментальные исследования, в ходе которых МРУП подвергалась воздействию гамма-излучения указанной мощности в течение 4 ч. Результаты исследования подтвердили возможность использования МРУП при проведении работ в условиях гамма-излучения мощностью до 10 Зв/ч.

Для оценки тактических возможностей МРУП в качестве примера рассматривались помещения действующих атомных станций (рис. 5). В качестве критерия рассматривался радиус действия (глубина проникновения) робототехнического средства, определяемый дальностью подачи воды по рукаву при начальном давлении 10 атм от пожарной автоцистерны, установленной на водосточник. В результате удалось определить, что подача огнетушащих веществ до помещений, рассматриваемых в качестве объектов защиты, будет обеспечена в 75 % случаев.

Оценка тактических возможностей МРУП, подтверждающая ее эффективность, выполнялась для

рассматриваемых условий атомных станций. Для повышения эффективности и оперативности применения МРУП следует разрабатывать тактические приемы для каждого конкретного объекта в отдельности, учитывая размещение водосточников, планировку объекта, расположение наиболее пожароопасных помещений и оборудования.

Заключение

Применение мобильной робототехники при тушении пожаров на объектах энергетики является довольно трудоемким мероприятием. Не при каждом пожаре или аварии возникает необходимость в применении мобильной робототехники, но в некоторых случаях это единственный вариант, который может обеспечить проведение пожаротушения в условиях возникающих угроз, что позволяет заменить человека и тем самым сохранить ему жизнь и здоровье.

Разработанный образец мобильной роботизированной установки пожаротушения сочетает в себе особенности высокоманевренного средства, которое можно применять для разведки и пожаротушения. Его использование совместно с личным составом пожарно-спасательных подразделений позволит повысить эффективность тушения пожаров и обеспечить безопасность его участников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Микеев А. К. Пожары на радиационно-опасных объектах. Факты. Выводы. Рекомендации. — М. : ВНИИПО, 2000. — 346 с.
2. Дятлов А. С. Чернобыль. Как это было. — М. : Научтехлитиздат, 2003. — 191 с.
3. Becker O., Lorenz P. Four years after Fukushima: are nuclear power plants safer? / Critical review of the Updated National Action Plans (NACP) of the EU Stress Tests on nuclear power plants. — September 2015. — 49 p. URL: https://www.global2000.at/sites/global/files/20150914_Four%20years%20after%20Fukushima_September%202015.pdf (дата обращения: 25.07.2018).
4. Safety of nuclear power plants: design. Specific safety requirements : IAEA Safety Standards Series No. SSR-2/1No. — Vienna : International Atomic Energy Agency, 2012. — 68 p.

5. Ramana M. V. Nuclear power: economic, safety, health, and environmental issues of near-term technologies // Annual Review of Environment and Resources. — 2009. — Vol. 34, Issue 1. — P. 127–152. DOI: 10.1146/annurev.environ.033108.092057.
6. Юревич Е. И. Роботы ЦНИИ РТК на Чернобыльской АЭС и развитие экстремальной робототехники. — СПб. : Изд-во СПбГПУ, 2004. — 264 с.
7. Микеев А. К. Противопожарная защита АЭС. — М. : Энергоиздат, 1990. — 432 с.
8. Горбань Ю. И., Синельникова Е. А. Автоматические установки пожаротушения на базе роботизированных пожарных комплексов АУП РПК для защиты машинных залов АЭС, ТЭЦ и ГЭС // Пожарная безопасность. — 2012. — № 3. — С. 136–142.
9. Верзилин М. М., Повзик Я. С. Пожарная тактика. — М. : ЗАО “Спецтехника”, 2007. — 416 с.
10. Пожары и пожарная безопасность в 2013 году : стат. сб. / Под общ. ред. В. И. Климкина. — М. : ВНИИПО, 2014. — 137 с.
11. Пожары и пожарная безопасность в 2014 году : стат. сб. / Под общ. ред. А. В. Матюшина. — М. : ВНИИПО, 2015. — 124 с.
12. Пожары и пожарная безопасность в 2015 году : стат. сб. / Под общ. ред. А. В. Матюшина. — М. : ВНИИПО, 2016. — 124 с.
13. Пожары и пожарная безопасность в 2016 году : стат. сб. / Под общ. ред. Д. М. Гордиенко. — М. : ВНИИПО, 2017. — 124 с.
14. Карпышев А. В., Душкин А. Л., Глухов И. С., Сегаль М. Д. Использование тонкораспыленной воды для повышения противопожарной защиты атомных станций // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. — 2006. — № 5. — С. 34–44.
15. Gsell J. Assessment of fire suppression capabilities of water mist — Fighting compartment fires with the cutting extinguisher : PhD thesis. — Belfast, UK : University of Ulster, 2010. — 138 p.
16. Cutting extinguisher concept — practical and operational use / Sodra Alvsborg Fire & Rescue Services with SP Technical Research Institute of Sweden. — Borås, 2010.
17. Försth M., Ochoterena R. L., Lindström J. Spray characterization of the cutting extinguisher : SP Report 2012:14. — Borås : SP Technical Research Institute of Sweden, 2012.
18. Алешков М. В., Гусев И. А. Определение рабочих параметров установок пожаротушения с возможностями гидроабразивной резки, применяемых на объектах энергетики // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2017. — Т. 26, № 10. — С. 69–76. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.10.69-76.
19. Абросимов Ю. Г. Гидравлика : учебник. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2005. — 312 с.
20. Гусев И. А., Алешков М. В., Холостов А. Л. Определение тактических возможностей установок пожаротушения с гидроабразивной резкой при подаче огнетушащих веществ на объектах энергетики // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — 2018. — № 3. — С. 29–34.
21. Гусев И. А. Обоснование требований к мобильной робототехнике пожаротушения, применяемой на объектах энергетики // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — 2017. — № 3. — С. 21–27.

Материал поступил в редакцию 30 июля 2018 г.

Для цитирования: Алешков М. В., Цариченко С. Г., Холостов А. Л., Гусев И. А. Обеспечение пожарной безопасности объектов энергетики путем разработки и применения мобильной робототехники пожаротушения // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 9. — С. 35–49. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.09.35–49.

M. V. ALESHKOV, Doctor of Technical Sciences, Professor, Deputy Head of Scientific Work, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation)

S. G. TSARICHENKO, Doctor of Technical Sciences, Head of the Basic Methodical Ground of Tests of Robotic Complexes, Scientific Research Institute "Geodeziya" (Ispytateley Avenue, 14, Krasnoarmeysk, Moscow Region, 141292, Russian Federation)

A. L. KHOLOSTOV, Doctor of Technical Sciences, Docent, Head of Department of Fire Automatic Equipment, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation)

I. A. GUSEV, Postgraduate Student of Faculty of Training of Research and Educational Personnel, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: ivan.gusev.92@inbox.ru)

UDC 614.847.4:62/69

ASSURANCE FIRE SAFETY OF POWER FACILITIES DUE TO DEVELOPMENT AND APPLICATION OF FIRE EXTINGUISHING MOBILE ROBOTICS

As a result of statistical data analysis on fires and accidents that occurred on power facilities, specific features have been identified for suppressing such fires. One of them is exposure of persons participating in firefighting to hazardous factors and associated events. This results in interruption of fire suppression, as people and equipment have to be removed to a safe area. In order to ensure fire suppression in a hazardous environment, it is proposed to use mobile fire suppression robots that are capable of operating under the conditions considered. Technical specifications of mobile robots, that largely determine their operational efficiency, have been evaluated and substantiated. Technical requirements have been specified and used as the basis for developing a prototype of the mobile robotic fire suppression unit designed for application at power facilities. Robotic fire suppression unit tactical capabilities have been assessed under the given conditions, with a favorable result.

Keywords: fire suppression robots; power facilities; firefighting robot functionality; fire-extinguishing agents; remote controlled fire turntable monitor; fire-extinguishing agent supply range.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.09.35-49

Introduction

Suppression of various fire types is essentially a set of measures aimed at providing conditions that prevent the fire from spreading further, eliminate the hazard for human health and life, and create all the prerequisites required for complete elimination of the fire. Fires occurring at various facilities are different in terms of their nature and, therefore, will require different suppression tactics. This is mainly related to the facility specific features and the fire load located at the facility. As far as fires at power facilities are concerned, it should be noted that besides the fire hazards that affect the persons who participate in firefighting, events resulting in collapse of building structures, exposure to radioactive radiation (nuclear power facilities), explosions of pressure vessels, electric shock, etc. may occur.

A well-known example of such events is the major industrial disaster at Chernobyl nuclear power plant (NPP) that took place on April 26th, 1984 (Fig. 1). Suppression of fire that followed the explosion was complicated by exposure to extremely powerful ionizing radiation, as well as by over 30 fire areas emerging at different plant elevations. Electrical equipment was on

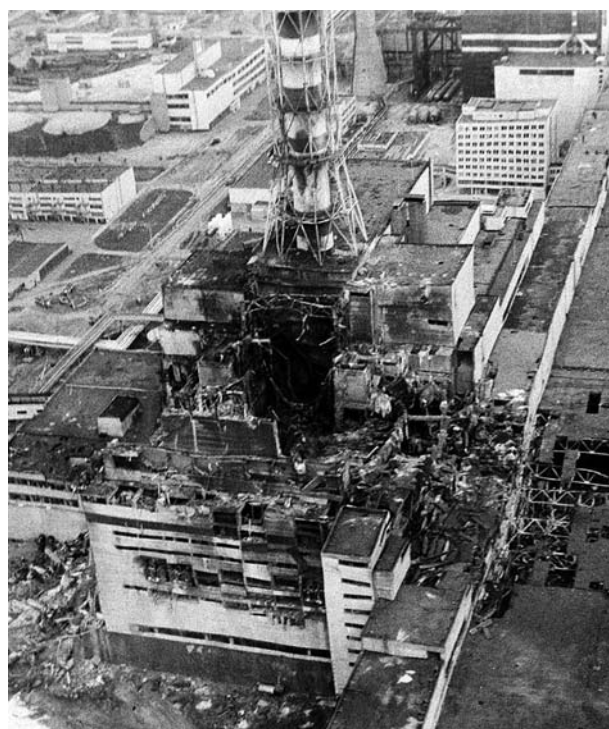


Fig. 1. Explosion and fire consequences at Chernobyl NPP

fire, the machine hall roofing collapsed and damaged oil pipelines that subsequently ignited, etc. [1, 2].

Fire departments and plant personnel acted with resolve, eliminating the fire and preventing even more disastrous consequences. Everyone who participated in fire suppression received high radiation doses. Operations had to be carried out under heavy smoke conditions, with exposure to high temperatures and open flames, and the hazards of electric shock and building structures collapse. For many of those who was fighting fire in the first hours of the accident, the radiation dose received proved to be lethal.

When evaluating the modern state of power facilities in terms of fire safety, it must be noted that even with the state-of-the-art safety level they are still exposed to risk of fires. When suppressing these fires, firefighters and facility personnel will have to face exposure to hazardous factors, including hazards related to radioactive or chemical exposure. This is also confirmed in the papers of our foreign colleagues who refer to a comprehensive approach as far as safety assurance is concerned [3–5].

After the accident at Chernobyl NPP, great efforts were made to determine the limitations in power facilities safety assurance. Appropriate conclusions were made regarding tactical and technical improvement of measures aimed at higher efficiency of fire suppression and better assurance of firefighters safety. Using mobile robots was one of the above-mentioned technical solutions. In general, the Chernobyl accident became a starting point for developing and applying mobile robots in special operations. To contain the accident, a lot of mobile robotic systems were designed within record-breaking schedules. These robots were mainly used for area decontamination, removing radioactive debris from the power plant roofing, situational monitoring and many other tasks. The total deployed number of various mobile robots, including from foreign countries, was around 40. Applying robots in the specific conditions helped avoid using humans in many operation areas, helping save dozens of lives [6].

Using mobile robotic systems for fire suppression has not been overlooked either. For example, A. K. Mikeev in [7] devoted as much as a whole section to the problem of fire robots development and application. The section focuses on main design prospects, and provides information about how this concept is being implemented in foreign countries. And this was already in the early 90s.

Today, robotic systems are applied almost in all branches of activity. They play a special part in tackling the objectives assigned to units of the Russian Emergency Ministry, employed for a range of operations from situational monitoring to bomb disposal and fire suppression.

At present, the use of fixed robotic fire suppression units to ensure fire safety of electric power plant machine halls has become quite common. These units are capable of automatically detecting and eliminating fire areas [8]. However, power facilities have a rather high number of areas with potential fire hazard, where flammable materials are concentrated. These areas are situated in hard-to-reach and cluttered locations where using fixed systems is inefficient. In such a case it is more feasible to apply mobile firefighting robotic systems that are capable of maneuvering in space and providing access to hard-to-reach and cluttered areas.

If we consider the issue of using mobile firefighting robots at power facilities, it should be pointed out that, in general, this concept has not been fully implemented. Not enough attention has been given to developing and using mobile firefighting robots, although the need to develop them was evident. Therefore, this paper is mainly aimed at justifying the design requirements for a mobile robotic fire suppression vehicle (RV) developed for power facilities taking into account the specific fire suppression tactics at those facilities. To achieve the above-mentioned aim, the following objectives had to be met:

- determine robotic vehicle functionality and select the technical equipment for its implementation;
- carry out a study of the robotic fire suppression vehicle tactical capabilities;
- specify technical requirements to robotic vehicle design intended for use at power facilities and manufacture its prototype.

Determination of robotic vehicle functionality and selection of technical equipment for its implementation

The first step certainly consists in determining the robotic vehicle functionality. This means that its design must include the necessary set of actuating mechanisms required for field tasks based on the accumulated experience of their application to contain various types of fires.

Analysis of fires and accidents occurring at power facilities over a range of time reveals that the specific tactical fire suppression techniques is related, firstly, to presence of large flammable load consisting of solid and liquid flammable substances and materials, and secondly, to electrical equipment running under high voltage.

Due to large quantities of flammable load, emerging fires spread across significant areas, therefore a large amount of fire extinguishing agents (FEA) must be supplied in order to contain them. This is confirmed by reference data, specifying the required rate of fire extinguishing agent supply for suppression of fires in electric power plant machine halls at $0,2 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{sec})$ [9].

Besides combustion of solid flammable substances, combustion of flammable liquids has occurred as well, including transformer oil contained in lubrication systems of turbines and other equipment. Hence, the robotic vehicle must be capable of supplying a significant quantity of FEA into the fire area. Besides water, it must also supply foam solution with a range of at least 30 m. This will ensure that a sizable area is covered and that building structures are cooled. In order to implement the above-mentioned measures, it is necessary to provide a remote controlled fire turntable monitor with the fire extinguishing agent flow rate of up to 20 l/sec.

However, the main feature of fire suppression at power facilities is extinguishing live electrical equipment on fire. Statistical information analysis for fires at power facilities has revealed that between 2005 and 2016 they suffered from 5066 fires. 38 % of those fires occurred directly on electrical equipment (Fig. 2) [10–13].

The task of suppressing electrical equipment fires has always been the most critical and demanding because of electric shock hazard. However, as far as power facilities are concerned, their specifics must be taken into account, i. e. that parts of equipment cannot be deenergized even if on fire, because it is critical for the safe operation of facility.

A mobile fire suppression robot is a system capable of adapting to the actual conditions of an accident or fire, including presence of live equipment. This capability makes it an efficient fire suppression appliance. Robotic systems, as well as humans, are threatened by leakage currents flowing through the FEA jet, that can cause the RV to fail if they affect its electronics. Extinguishing electrical equipment on fire using water and water/foam compounds supplied by standard monitors is not safe because of high jet conductivity. Therefore, an auxiliary fire suppression appliance must be selected, where leakage currents through the jet are minimum, and that is most suitable for using in combination with mobile robotic systems.

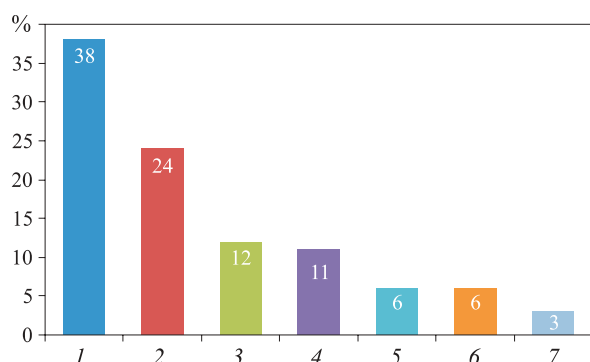


Fig. 2. Equipment with the highest risk of fire break-out: 1 — cable systems; 2 — oil pipelines; 3 — oil pumps; 4 — turbine generators; 5 — electronic equipment; 6 — transformers; 7 — ventilation systems

Assessment of fire-extinguishing compounds suitable for suppressing fires on live electrical equipment has demonstrated that finely dispersed water with an average droplet diameter below 200 μm has excellent fire extinguishing properties [14].

Water-cutting jet fire suppression unit was selected as the delivery appliance, implementing both the surface, and locally applied saturation fire extinguishing principle. The main advantage of the unit is that fire-extinguishing agents can be supplied into the volume on fire through the building structure envelope by destroying it with the mixture of water and abrasive particles. The average size of liquid droplets generated by the unit is around 170 μm [15–17].

To assess the possibility of using the systems in question for fire suppression on live electrical equipment, experimental studies were carried out. As a result, operational parameters of fire suppression units were determined when used by fire and rescue team personnel. Besides, it was found that when the units are used in combination with mobile robots, it is acceptable to suppress fires at a minimum distance of 0.5 m, if the unit monitor installed on the robot is connected to it using dielectric connectors, and if leakage current protection devices rated at 1 mA are integrated into the robot design [18].

Study on the robotic fire suppression vehicle tactical capabilities

Determination of the fire-extinguishing agent delivery maximum range

Technical capabilities of the robotic vehicle must ensure that it can be applied not only in open areas, but in many rooms of the electric power plant. To a large extent, this can be achieved by reducing the robot's overall dimensions and fully loaded weight. To meet these requirements, the RV design must have no on-board FEA reserve, but only fire suppression appliances and other equipment are to be included. Fire-extinguishing agents should be supplied to the RV via hose lines. Accordingly, conditions must be determined that define the robotic vehicle tactical capabilities.

Also, it should be taken into account that when mobile robotic systems are used for fire suppression, the maximum range of fire extinguishing agents delivery through hose lines, including hydraulic losses, must not result in reduced intensity of agents supply into the fire area.

Head losses are divided into local and line losses. Line losses occur as a result of transported liquid friction against pipeline walls and between the walls; local losses occur as a result of flow deformation (valves, transition pieces, etc.) [19].

In general, round pipeline head losses along the line h_l (m) are calculated using the Darcy–Weisbach equation:

$$h_l = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}, \quad (1)$$

where λ is the flow friction factor;

l is pipeline length, m;

d is the wetted cross-section diameter, m;

v is the average liquid flow velocity, m/sec;

g is the gravity acceleration, m/sec².

The main criterion describing head losses with any given parameters of pump/hose system operation is the flow friction factor λ that depends on flow velocity and internal surface roughness. Determination of the flow friction factor is a rather challenging task. Therefore, as demonstrated by research work analysis, it should be determined empirically for specific operating conditions.

When one considers water-cutting jet fire suppression units, it should be pointed out that they operate at a pressure of 30 MPa, and the fire-extinguishing agents being transported consist of not only water, but are essentially a mixture of water and abrasive particles intended for cutting structures. Therefore, additional head losses occur during mixture transportation due to movement of abrasive particles. Head losses during mixture transportation i_{mix} (m) are determined according to the following formula:

$$i_{mix} = i_w + \Delta i, \quad (2)$$

where i_w is specific head losses during water movement, m;

Δi is additional head losses, m.

Specific head losses during water movement can be determined using the Darcy–Weisbach equation, additional losses are calculated as follows

$$\Delta i = \delta \sqrt[4]{j^3} \sqrt{C_0^2} (V_{cr}/V), \quad (3)$$

where δ is the factor to account for the effect of relative ground particle size d/D with regard to pipe diameter;

j is the factor to account for unevenness of solid particle size;

C_0 is the actual weight consistency;

V_{cr} is the critical mixture movement velocity whereby particles begin to travel along the flow, m/sec;

V is the flow velocity, m/sec.

The calculations using formulas (1) and (3) have demonstrated that head losses due to presence of hydro-abrasive particles are less significant in comparison to hydraulic losses of water. However, bearing in mind that fire suppression units have a certain nondeterminism in terms of their performance, head losses of both water and cutting particles mixture and, therefore, the flow friction factor, must be determined by way of trial to en-

sure that accurate values are obtained. As a result of experimental studies, maximum ranges of fire-extinguishing agent delivery via hose lines were obtained for water and cutting particles mixture, which amounted to 317 and 290 m correspondingly. Besides, the flow friction factor was determined, characterizing head losses during water transportation through hoses of water-cutting jet fire suppression units, being equal to 0.019 [20].

When a fire suppression robotic system is operated in combination with a high pressure finely dispersed water fire suppression unit, the hose line (high pressure hose) is laid automatically from on-board the robot. In this case, no additional requirements are applied to the robotic system traction capabilities for laying the hose line. If the fire-extinguishing agent is supplied using the integrated, remote controlled monitor, the hose line is laid using the method of line pulling. This results in higher requirements applied to the robot's traction performance to ensure that it can travel with the hose line when approaching the FEA supply position and that it can maneuver with the hose line.

Traction force determination

To determine the traction force that the robotic vehicle must ensure, experimental studies were performed using general purpose firefighting pressure hoses. The hoses were moved on three types of surface most wide-spread at power facilities: tiles, cast-in-place floor, and asphalt. The resulting friction force was measured. The studies helped obtain the friction factors that characterize hose friction against the surfaces examined, configurations for supplying fire-extinguishing agents using RVs were evaluated, and the most feasible option for supplying agents was selected. It was found that in order to implement this option, the RV must provide a traction force of at least 1000 N [21].

As the vehicle base, a unified electromechanically driven tracked chassis was chosen that will ensure RV application in minor debris and heavy smoke environments. To supply fire-extinguishing agents, it can be equipped with a remote controlled fire turntable monitor or a nozzle for supplying high pressure finely dispersed water or water-cutting jet.

Technical requirements to the robotic vehicle design for application at power facilities

As a result of studying the tactical specifics of mobile robot application for fire suppression at power facilities, the following technical requirements to robotic vehicle design were determined (see Table).

For practical implementation of the specified technical requirements, it is feasible to use a unified remote controlled vehicle platform that is equipped with specific firefighting tools depending on the objective to be tackled.

Technical requirements to RV design

No.	Parameter	Parameter value
1	Intended application	1. Fireground reconnaissance, data acquisition and situational monitoring. 2. Fire suppression, emergency rescue operations (ERO)
2	Application environment	Land
3	Functionality degree	Multifunctional (versatile)
4	Fire suppression and emergency rescue operations (ERO) equipment installed	1. Remote controlled fire turntable monitor with FEA flow rate 15 to 20 l/sec. 2. Fire suppression unit nozzle with water-cutting jet. 3. Robotic manipulator arm
5	Used fire-extinguishing compounds	1. Water, water/foam solution. 2. Finely dispersed water (170 μm). 3. Water/abrasive particle cutting mixture
6	Drive type	Electromechanical
7	Base vehicle propulsion type	Track
8	Traction force	No less than 100 kg
9	RV type	Light-weight
10	RV class	1
11	RV weight	Over 100 to 300 kg included. Subclass, 101 to 150 kg included
12	Overall dimensions	Not more than 1500×900×1900 mm
13	Continuous operation time	No less than 4 h

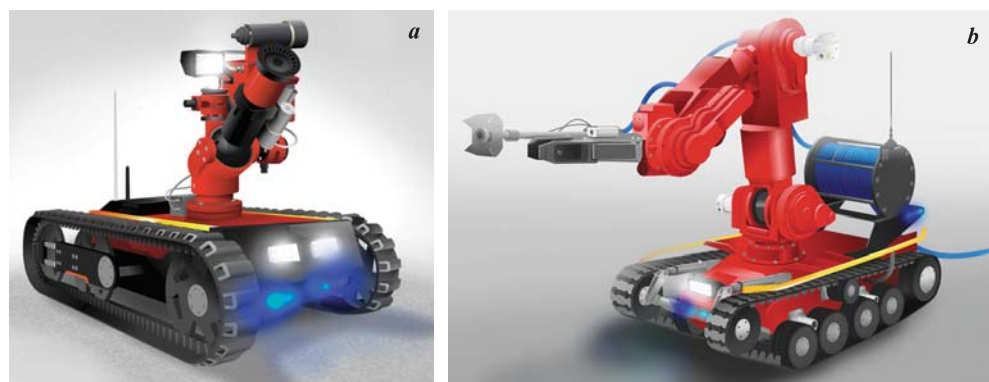


Fig. 3. A system consisting of first (a) and second (b) versions of robotic vehicle model



Fig. 4. Mobile robotic fire suppression unit

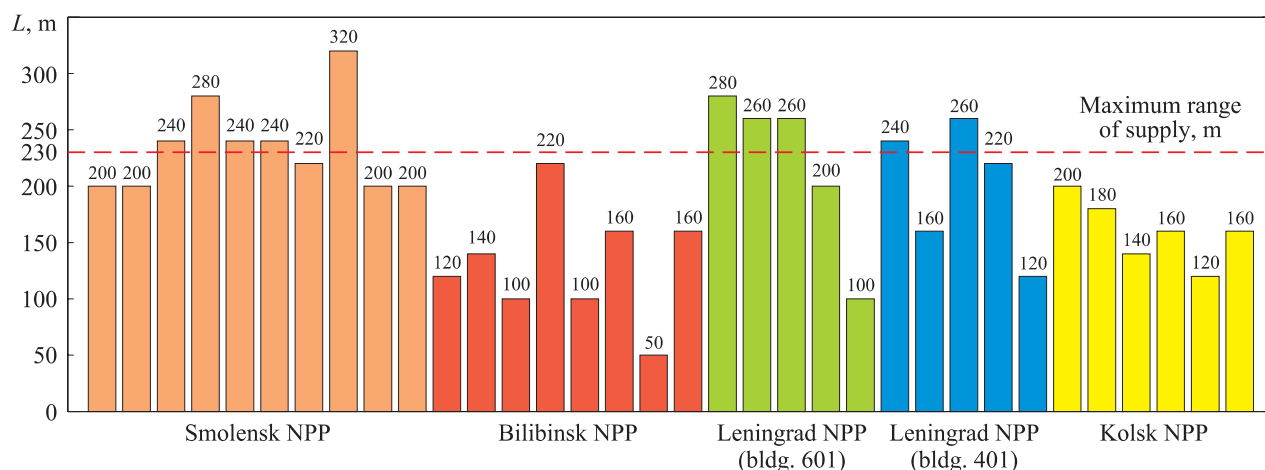


Fig. 5. Maximum range L of fire-extinguishing agent supply by means of MRFSU equipped with fire turntable monitor

The first RV version is a remote controlled track chassis platform with electromechanical drive, carrying a remote controlled fire turntable monitor with FEA flow rate of 15 to 20 l/sec, equipped with a robotic vision system, lights, infrared imager to locate fire areas, and a set of equipment required to ensure RV operation (Fig. 3,a).

The second version of robotic vehicle is a remote controlled track chassis platform with electromechanical drive, carrying a robotic manipulator arm with a gripper, having five degrees of freedom, and a fire suppression unit nozzle with water-cutting jet. The robotic manipulator will be used for tactical firefighting techniques with the fire suppression unit nozzle, as well as for dismantling and transporting structures and equipment during emergency rescue operations (Fig. 3,b).

At the moment, a prototype of RV version 1 has been developed. It carries a remote controlled fire turntable monitor with the water/foam fire-extinguishing agent flow rate of 20 l/sec (Fig. 4). The vehicle has been named as "mobile robotic fire suppression unit" (MRFSU).

A feature of MRFSU is that it can operate in gamma radiation environments with the strength of up to 10 Sv/h. To verify this condition, experimental studies have been carried out. These studies involved exposing the MRFSU to gamma radiation with the above-mentioned strength for the period of 4 h. The study results confirmed that MRFSU can be used for operations under gamma radiation of up to 10 Sv/h.

For evaluating MRFSU tactical capabilities, premises of operational nuclear power plants were considered as an example (Fig. 5). The benchmark applied

was the effective range (penetration depth) of the robotic vehicle that depends on the distance of water supply through the hose at initial pressure of 10 atm provided by the fire truck tank located at the water source. As a result, it was found that fire-extinguishing agents will be supplied to rooms that are considered as protected assets in 75 % of cases.

MRFSU tactical capabilities that confirm its efficiency were evaluated for the considered conditions of nuclear power plants. To increase efficiency and promptness of MRFSU application, tactical techniques are to be worked out for each specific facility individually, taking into account location of water sources, facility layout, and location of rooms and equipment with the highest fire hazard.

Conclusion

Using mobile robots for suppressing fires at power facilities is a challenging operation. The need to apply mobile robots is not present at every fire or accident, but in certain cases it is the only option to ensure that firefighting action continues with the hazards that emerge. This helps replace humans and, therefore, save people's lives and health.

The model of mobile robotic fire suppression unit that has been developed combines the features of a highly maneuverable vehicle, applicable for reconnaissance and fire suppression. When it is used along the fire and rescue department personnel, it can increase fire suppression efficiency and ensure safety of participating persons.

REFERENCES

1. Mikeev A. K. *Pozhary na radiatsionno-opasnykh ob'yektakh. Fakty. Vyvody. Rekomendatsii* [The fires on radiation-hazardous objects. Facts. Conclusions. Recommendations]. Moscow, VNIPO Publ., 2000. 346 p. (in Russian).
2. Dyatlov A. S. *Chernobyl. Kak eto bylo* [Chernobyl. As it was]. Moscow, Nauchtekhizdat, 2003. 191 p. (in Russian).

3. Becker O., Lorenz P. *Four years after Fukushima: are nuclear power plants safer? Critical review of the Updated National Action Plans (NacP) of the EU Stress Tests on nuclear power plants*. September 2015. 49 p. (in Russian). Available at: https://www.global2000.at/sites/global/files/20150914_Four%20years%20after%20Fukushima_September%202015.pdf (Accessed 25 July 2018).
4. *Safety of nuclear power plants: design. Specific safety requirements. IAEA Safety Standards Series No. SSR-2/1*. Vienna, International Atomic Energy Agency, 2012. 68 p.
5. Ramana M. V. Nuclear power: economic, safety, health, and environmental issues of near-term technologies. *Annual Review of Environment and Resources*, 2009, vol. 34, issue 1, pp. 127–152. DOI: 10.1146/annurev.environ.033108.092057.
6. Yurevich E. I. *Roboty TsNII RTK na Chernobylskoy AES i razvitiye ekstremalnoy robototekhniki* [Robots of Central Research Institute RTK on the Chernobyl NPP and development of extreme robotics]. Saint Petersburg, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University Publ., 2004. 264 p. (in Russian).
7. Mikeev A. K. *Protivopozharnaya zashchita AES* [Fire-prevention protection of the NPP]. Moscow, Energoizdat, 1990. 432 p. (in Russian).
8. Gorban Yu. I., Sinelnikova E. A. Computer-aided firefighting systems based on firefighting robotic complexes (CFS FRC) for protection of the machine halls in nuclear power, heat power and hydropower plants. *Pozharnaya bezopasnost / Fire Safety*, 2012, no. 3, pp. 136–142 (in Russian).
9. Verzilin M. M., Povzik Ya. S. *Pozharnaya taktika* [Fire tactics]. Moscow, Spetstekhnika Publ., 2007. 416 p. (in Russian).
10. Klimkin V. I. (ed.). *Pozhary i pozharnaya bezopasnost v 2013 godu. Statisticheskiy sbornik* [Fires and fire safety in 2013. Statistical yearbook]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2014. 137 p. (in Russian).
11. Matyushin A. V. (ed.). *Pozhary i pozharnaya bezopasnost v 2014 godu. Statisticheskiy sbornik* [Fires and fire safety in 2014. Statistical yearbook]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2015. 124 p. (in Russian).
12. Matyushin A. V. (ed.). *Pozhary i pozharnaya bezopasnost v 2015 godu. Statisticheskiy sbornik* [Fires and fire safety in 2015. Statistical yearbook]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2016. 124 p. (in Russian).
13. Gordienko D. M. (ed.). *Pozhary i pozharnaya bezopasnost v 2016 godu. Statisticheskiy sbornik* [Fires and fire safety in 2016. Statistical yearbook]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2017. 124 p. (in Russian).
14. Karpyshev A. V., Dushkin A. L., Glukhov I. S., Segal M. D. Use of sprayed water for increase in fire-prevention protection of nuclear power plants. *Problemy bezopasnosti i chrezvychaynykh situatsiy / Safety and Emergencies Problems*, 2006, no. 5, pp. 34–44 (in Russian).
15. Gsell J. *Assessment of fire suppression capabilities of water mist — Fighting compartment fires with the cutting extinguisher*. PhD thesis. Belfast, UK, University of Ulster, 2010. 138 p.
16. *Cutting extinguisher concept — practical and operational use*. Sodra Alvsborg Fire & Rescue Services with SP Technical Research Institute of Sweden. Borås, 2010.
17. Försth M., Ochoterena R. L., Lindström J. *Spray characterization of the cutting extinguisher: SP Report 2012:14*. Borås, SP Technical Research Institute of Sweden, 2012.
18. Aleshkov M. V., Gusev I. A. Determination of working parameters of the installations of fire extinguishing with opportunities of hydroabrasive cutting applied on power objects. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 10, pp. 69–76 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.10.69-76.
19. Abrosimov Yu. G. *Gidravlika. Uchebnik* [Gidravlika. Textbook]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2005. 312 p. (in Russian).
20. Gusev I. A., Aleshkov M. V., Holostov A. L. Definition of tactical opportunities of installations of fire extinguishing with hydroabrasive cutting at supply of fire extinguishing substances on objects of power. *Pozhary i chrezvychaynyye situatsii: predotvrashcheniye, likvidatsiya / Fire and Emergencies: Prevention, Elimination*, 2018, no. 3, pp. 29–34 (in Russian).
21. Gusev I. A. Justification of requirements to fire extinguishment mobile robotics applied at power objects. *Pozhary i chrezvychaynyye situatsii: predotvrashcheniye, likvidatsiya / Fire and Emergencies: Prevention, Elimination*, 2017, no. 3, pp. 21–27 (in Russian).

Received 30 July 2018

For citation: Aleshkov M. V., Tsarichenko S. G., Kholostov A. L., Gusev I. A. Assurance fire safety of power facilities due to development and application of fire extinguishing mobile robotics. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 9, pp. 35–49. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.09.35–49.

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 отдела планирования, организации и координации научных исследований, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: stursenev@yandex.ru)

А. В. МИРОНЬЧЕВ, канд. техн. наук, доцент, начальник кафедры переподготовки и повышения квалификации специалистов, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: mironchev@list.ru)

М. В. ЧЕРНЫШОВ, д-р техн. наук, профессор кафедры "Плазменно-газодинамика 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. В. ОЗЕРОВ, директор фирмы "Зола", Бизнес-центр "Редуктор" (Россия, 198095, г. Санкт-Петербург, ул. Промышленная, 19, литер. Р, оф. 301)

А. С. ДОРОЖКИН, старший преподаватель кафедры пожарной безопасности зданий и автоматизированных систем пожаротушения, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: alex01spb@yandex.ru)

УДК 654.924.5

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ И ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ НОВОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПОЖАРОВЗРЫВОЗАЩИТЫ СУДОВ, КОРАБЛЕЙ, НЕФТЕДОБЫВАЮЩИХ ПЛАТФОРМ

На основе анализа состояния систем пожарной защиты кораблей, судов показан большой разрыв между скоростью распространения пожаров и перехода их во взрыв, масштабами пожаров на них и возможностями этих систем. Обосновывается необходимость широкого внедрения уникальных многоствольных модулей импульсного мультивихревого распыления различных огнетушащих составов для защиты кораблей, судов, морских нефтепромысловых платформ. Рассматриваются многоствольные модули уникальной конструкции, создающие путем импульсно-залпового распыления газодводяные шквалы, газопорошковые вихри, способные тушить все возгорания и сплошные пожары сразу по всему пространству отсека или даже участку палубы в течение нескольких секунд. Дается описание и анализ экспериментов, приводятся рекомендации по применению многоствольных модулей. Обсуждаются варианты их использования на различных плавательных средствах для тушения пожаров, обеспечения эвакуации, предотвращения взрывов паровоздушных смесей, осаждения токсичных облаков, локализации и ликвидации разливов нефти.

Ключевые слова: судно; танкер; корабль; многоствольный модуль; импульсное распыление; газодводяной шквал; газопорошковый вихрь; серия залпов; комбинированное тушение; сбивание пламени; осаждение дыма; проникающее напыление капель; обугленная зона; разрушение; охлаждение.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.09.50-63

Введение

Цель настоящей статьи — показать высокую актуальность и реальные возможности внедрения в практику новых систем пожаровзрывозащиты судов, кораблей, подводных лодок (ПЛ) и морских нефтедобывающих платформ. Для этого в статье решаются следующие задачи: 1) анализ состояния судовых

систем пожаротушения, реальных пожаров на море и их последствий; 2) описание многоствольных модулей (ММ), создающих путем импульсного распыления различных огнетушащих агентов и инертных материалов газожидкостные шквалы, газопорошковые вихри с высокими скоростью и эффективностью тушения по всему пространству отсека, палубы в те-

© Захматов В. Д., Турсенев С. А., Мироньчев А. В., Чернышов М. В., Озеров А. В., Дорожкин А. С., 2018

чение нескольких секунд; 3) описание и анализ экспериментов; 4) рекомендации по применению ММ на различных судах, кораблях, платформах, ПЛ для тушения пожаров, обеспечения эвакуации, предотвращения взрывов, осаждения токсичных облаков и ликвидации разливов нефти.

Для анализа состояния судовых систем пожаротушения рассмотрим некоторые пожары.

Пожар 20.04.2010 г. на морской нефтедобывающей платформе “Deepwater Horizon” (рис. 1) широко известной фирмы “British Petroleum”, ведущей в мире по морской добыче нефти, уже привел мир к глобальной, второй по масштабу после Чернобыля, экологической катастрофе в Мексиканском заливе на долгие десятилетия. В момент взрыва на установке “Deepwater Horizon” погибло 11 чел. и пострадало 17 чел. из 126, находившихся на борту [1]. В конце июня 2010 г. при ликвидации последствий этой катастрофы погибли двое пожарных [2]. Через повреждения труб скважины на глубине 1500 м в Мексиканский залив за 152 дня вылилось около 5 млн. баррелей нефти (833 000 т), нефтяное пятно достигло площади 75000 км² [3, 4], что составляет около 5 % площади Мексиканского залива. Основная причина — низкая эффективность тушения, локализации и ликвидации разливов нефти. Стационарные автоматические системы пожаротушения и лафетные гидромониторы на пожарных кораблях не смогли компенсировать технические неполадки, несовершенство конструкции платформы, хотя системы пожаротушения должны проектироваться также с расчетом компенсации технических ошибок на пожаровзрывоопасном объекте [5].

Защита от огня — важнейшая часть комплексной борьбы за живучесть корабля. Наибольший ущерб и гибель людей из-за пожаров на военных кораблях зафиксированы от взрыва топливных баков и корабельного арсенала боеприпасов, на пассажирских, грузопассажирских судах — от взрыва топливных баков и на танкерах — от взрыва паров нефти в емкостях (см. рис. 1).

Пожар на корабле, судне является наиболее опасной аварией и следствием поражения корабля ракетой, снарядом, торпедой, взрывной волной от близкого взрыва. Пожар на палубе, в отсеках, как правило, быстро развивается и разрушает намного больше, чем фугасное воздействие взрывной волны [6]. Нередко пожары на кораблях и судах возникают в результате нарушений техники безопасности и аварий. Так, в 1967 г. из-за неисправности электрооборудования произошел самопроизвольный пуск ракеты “Зуни” на подвеске крыла истребителя на палубе. Ракета не взорвалась, но сбила подвесной топливный бак с крыла другого самолета. Выплеснувшееся из разрушенного бака топливо JP-5 воспламенилось.



Рис. 1. Начальная стадия пожара на морской платформе “Deepwater Horizon” 20.04.2010 г. в Мексиканском заливе
Fig. 1. First stadium of fire development at offshore “Deepwater Horizon”, Mexican Gulf

От перегрева начали взрываться топливные баки других самолетов, и пламя стало распространяться по палубе. Через несколько минут начали взрываться бомбы на соседних самолетах [7].

Взрыв ракеты на палубе привел к возникновению наиболее крупного и убыточного пожара на авианосце “Форрестол”, сопровождающегося взрывами авиабомб, подвешенных на боевых самолетах, с пробитием, выгоранием и значительными повреждениями на верхней и нижних палубах. От взрывов и при тушении пожара погибли 134 моряка, ранен 161 моряк. Прямые убытки в ценах 2008 г. составили 512 млн. долл., стоимость сгоревших 20 истребителей F-4, убытки от ремонта авианосца и многомесячного выхода его из строя — 1,5 млрд. долл. [7, 8].

На американских авианосцах “Форрестол”, “Орискани”, “Констеллейшн”, атомном авианосце “Энтерпрайз” происходили катастрофические пожары на верхних палубах из-за взрыва боеприпасов и аварийной посадки самолетов. На атомном авианосце “Энтерпрайз” горящее горючее распространило пожар на пять палуб вниз. Тушение пожара потребовало 4–5 ч напряженной работы экипажа авианосца.

Потери оборудования, самолетов и стоимость ремонта от пожара и пролива сотен тонн воды для тушения пожара составили сотни миллионов долларов и на 11 мес. ослабили боевую мощь 7-го флота США [8, 9]. На Черноморском флоте известен случай возгорания промасленной ветоши, оставленной матросом вблизи нагретого трубопровода. Возник быстроразвивающийся пожар с реальной угрозой взрыва погреба боеприпасов. Корабль срочно вышел из Севастопольской бухты в море. Команде для предотвращения взрыва и тушения пожара потребовалось много часов напряженной работы.

Германский фрегат “Саксония” 21 июня 2018 г. едва не взорвался во время проведения боевых стрельб, пишет “Naval Today”. Инцидент произошел у берегов Норвегии в районе полигона Аннейя во время учений. Первая ракета Standard SM-2 успешно поразила цель, а вторая не вышла из пусковой установки и загорелась (рис. 2). Капитан судна Томас Хакен заявил: “Экипаж оказался перед стеной огня, который едва удалось потушить с помощью насосных установок, предотвратив взрыв корабля — ракетного погреба. В результате инцидента у двоих моряков диагностировали “острую стрессовую ситуацию”, стрельбы были немедленно прекращены, фрегат отправился в норвежский порт Харстад для ремонта” (<https://rg.ru/2018/06/27/video-zenitnaia-raketa-chut-ne-unichtozhila-nemeckij-fregat.html>).

Возгорания наиболее часты и опасны в двигательных отсеках и погребах хранения боеприпасов, чуть реже в других отсеках нижних палуб кораблей, подводных лодок, судов. Компактно расположенные электромоторы, переключатели, система электропитания, разветвленная электросеть, топливо и пневмотрубопроводы высокого давления, раскаленные поверхности узлов и агрегатов двигателя яв-

ляются источниками возгораний паров топлива, изоляции электропроводки и ветоши, пропитанной смазкой.

Анализ современных систем пожаротушения на судах и кораблях

Современная пожарная защита кораблей и судов осуществляется стационарными противопожарными системами, автоматическими и дистанционно управляемыми, подающими компактные и распыленные струи заборной воды, пара, углекислого газа, пены, хладонов, инертных газов [10, 11]. Системы должны подавлять развитие очага возгорания в начальной стадии, локализуя развитие пожара и предотвращая его переход во взрыв. Функционирование автоматики в режимах ожидания и работы мало зависит от членов экипажа, что максимально снижает влияние человеческого фактора и тем самым повышает безопасность экипажа [7].

Систему объемного пожаротушения (с использованием углекислого газа, хладонов, редко — газов от газогенераторов) монтируют преимущественно на пассажирских и грузовых судах речного флота в машинном отделении главных и вспомогательных жидкотопливных двигателей; в помещениях котлов и генераторов основных и аварийных источников электричества; в местах разветвления главных энергетических магистралей и распределительных щитков; у электродвигателей гребных, вспомогательных; в системах вентиляции оборудования. Лаборатория “Пламя” Военно-морского инженерного института разработала автоматическую систему объемного пожаротушения, включающую исполнительные автономные модули TOP-1500 и TOP-3000, состоящие из баллонов, заполненных огнетушащим газом (ОГ) и снабженных оптико-электронными детекторами фиксации возгорания, подключенными к единой сети внешнего управления и оповещения [6, 8].

Система водяного пожаротушения, кольцевая или линейная, монтируется при закладке судов и обеспечивает напор воды в самой дальней точке подключения: на грузовых судах — 350 кПа, на пассажирских — 520 кПа. Открытые участки трубопровода, которые могут замерзнуть, подвергаются обвязке с использованием спускового и отсежного клапана, для того чтобы при их исключении из общей системы она продолжала функционировать. Расстояние между пожарными кранами различное: внутри судна — до 20 м при комплектации 10–15-м пожарными рукавами, на палубе — до 40 м при комплектации каждого крана рукавом 15–20 м [12].

Жилые отсеки и пассажирские каюты комплектуются автоматическими системами пожаротушения со спринклерными распылителями, создающими наиболее (по сравнению с другими системами по-



Рис. 2. Начальная стадия пожара при аварийном пуске ракеты на германском фрегате “Саксония”

Fig. 2. Inflammation after emergency battle rocket's start at German ship “Saksonia”

дачи жидких огнетушащих составов (ОС)) равномерное и тонкодисперсное распыление воды. Система состоит из спринклеров, расположенных на трубопроводе, соединенном трубой с клапаном, и пневмогидравлической цистерны под давлением. Минимальная производительность спринклера по нормативам составляет 5 л/мин на 1 м² каюты [13], время работы — несколько минут. При этом, несмотря на сотни литров воды, заливающих каюту, тушение не гарантируется из-за недостаточной степени распыла воды, в результате чего часть капель не попадает на горящую поверхность. Тушение гарантируется только при полном затоплении каюты, трюма, отсека. При возникновении пожара в ПЛ отсек затопливается нередко с членами экипажа, если им не удастся потушить пожар до момента полного затопления отсека. Это необходимое правило выживания боевого корабля и ПЛ [9].

Дренчерными системами комплектуются в основном грузовые суда: газовозы, танкеры, сухогрузы и контейнеровозы, размещение груза на которых осуществляется горизонтально. Основное отличие этих систем заключается в том, что насос при сигнале тревоги начинает забор и подачу воды в дренчерный трубопровод. Дренчерная система формирует водяные завесы в тех местах палуб корабля, где невозможно установить противопожарные перегородки [14, 15].

Газовые системы пожаротушения состоят из батареи газовых баллонов высокого давления и трубопроводов с выпускными головками. На судах их применяют только в грузовых отсеках, помещениях генераторов и насосов, на камбузе, в двигательном отделении с расчетом направления струи по всей площади помещения и непосредственно на генераторы. Относительно высокая эффективность тушения достигается за счет наиболее быстрого заполнения газом всего помещения или объема генератора. Стоимость газовой системы и необходимость периодической замены ОС несоразмерно больше ее огнетушащих преимуществ, если сравнивать с другими системами. В XXI веке на кораблях СО₂ стали заменять на хладоны. Корабли и суда постоянно совершенствуются, и использование старых правил монтажа устройств пожаротушения зачастую неэффективно. Типовые расчеты для стационарных систем используются редко и только для серийных небольших судов [6, 7].

Аэрозольные автоматические системы пожаротушения двигательных отсеков производит компания «НПГ «Гранит-Саламандра». Система состоит из сети генераторов специального огнетушащего аэрозоля, который активируется с помощью блока управления, находящегося в кабине транспортного средства. Система имеет датчик и устройство авто-

матического запуска генераторов аэрозоля, срабатывающих при критическом повышении температур в защищаемом отсеке. Пороховой аккумулятор давления (ПАД) состоит из корпуса, поджигающего пиропатрона, шашки твердотопливной, фильтра, охладителя, ресивера для продуктов сгорания и сопла. ПАД генерирует огнетушащий аэрозоль. Срок эксплуатации системы в режиме ожидания не менее 10 лет в диапазоне температур от минус 50 до +90 °С. При обнаружении возгорания датчик замыкает электроцепь, подает импульс тока на электровоспламенитель, создающий форс огня, который поджигает шашку, интенсивно генерирующую газы. Газы в свою очередь повышают давление внутри корпуса до такого уровня, при котором разрушается мембрана. Отсек двигателя заполняется струей аэрозоля из генерируемых газов с начальной температурой 600–800 °С, а после прохождения через охладитель — до 300–400 °С. Генератор фиксируют, чтобы струя аэрозоля, отражаясь от сложной поверхности корпуса мотора, стенок отсека, равномерно заполняла двигательный отсек, вытесняя кислород и ингибируя реакцию горения частицами аэрозоля, осаждающимися на узлах, агрегатах, стенках, покрытых проливами горючего, препятствуя повторному возгоранию его паров [8, 12].

Газовые системы имеют следующие недостатки:

- эффективность газового и газодисперсного объемного тушения сильно зависит от степени вентилируемости двигательного или другого защищаемого отсека;
- узкие струи газов относительно долго заполняют объем отсека; газовая струя, отражаясь, быстро теряет свою энергию и не может обеспечить длительную турбулентность;
- газы не охлаждают основной источник повторного воспламенения высокотемпературной поверхности корпуса двигателя, а утечка топлива продолжается, в результате чего вероятность повторного воспламенения остается высокой.

Кроме того, системы тушения содержат мощный насос или компрессор, множество больших баллонов высокого давления, длинные трубопроводы высокого давления, множество распылительных головок. Вероятность своевременного и равномерного тушения по всему защищаемому объему отсека снижается пропорционально числу головок распыления и длине трубопроводов [7].

В каждом отсеке корабля и ПЛ имеется по несколько порошковых, пенных, водяных 2–10-литровых огнетушителей в зависимости от объема и степени пожароопасности отсека. За счет скорости движения корабля, ПЛ, вибрации корпуса и постоянно действующей вентиляции к очагу возгорания интенсивно поступает кислород, ускоряя развитие возгорания в пожар, быстро распространяющийся

по отсекам, в двигательном отсеке переходящий во взрывы паров горючего, в боеприпасном — во взрыв гильз с пороховыми зарядами и затем боеголовок с боеприпасами в считанные секунды. Членам экипажа, даже имеющим опыт тренировок и работы с огнетушителями, справиться со стремительно развивающимся пожаром с помощью огнетушителей практически невозможно из-за силы пламени и возгораний в труднодоступных местах. Чтобы сохранить корабль и ПЛ в мирное время, продлить их выживаемость и боеспособность в бою, горящий отсек с членами экипажа задраивается и весь заполняется водой.

Для тушения пожара в каютах и тем более в больших помещениях отсеков, палуб без их затопления, выводящего из строя помещение и все оборудование в нем, необходима новая технология и новое оборудование, позволяющие тушить быстро, эффективно, с минимальными расходами ОС, чтобы исключить одновременно быстрое распространение пожара, развитие его во взрыв, затопление отсеков, палуб, гибель матросов при затоплении [8, 12]. Электронная часть АСП достаточно хорошо развита и унифицирована в различных странах. Основную трудность в создании эффективной АСП представляют очень дорогие, сложные исполнительные подсистемы, состоящие из больших, тяжелых, металлоемких цистерн, длинных трубопроводов высокого давления, больших, мощных насосов [6, 9].

Обоснование новых методов и техники спасения

Оптимальный путь ликвидации вышеуказанных недостатков и достижения достаточного уровня эффективности тушения на морских объектах — быстрое внедрение новых, эффективных исполнительных многоствольных модулей или подсистем разнесенных стационарных стволов для защиты помещения. Принцип их действия напоминает газовое объемное тушение, но имеет большие преимущества перед ним: время выпуска всего ОГ менее 0,1 с, время заполнения помещения до 1–2 с мощным газодисперсным ударным фронтом, многократно отражающимся от поверхностей и, главное, обеспечивающим эффективное охлаждающее действие за счет микроразмеров капель и непрерывного движения их по защищаемому объему до полного испарения на одной из высокотемпературных поверхностей [7, 8]. Новый механизм за счет этих преимуществ обеспечивает новое качество, впервые соединяя преимущества объемного и поверхностного механизмов тушения, что позволяет отказаться от токсичных высокоактивных огнетушащих газов в пользу экологически чистых воды и растворов.

Операция по внедрению новых исполнительных модулей и подсистем отдельных стволов может быть выполнена в два этапа. На первом новыми исполнительными модулями и подсистемами стволов корабельные АСП комплектуются только дополнительно, а старые исполнительные системы сохраняются в рабочем состоянии. На втором этапе, особенно на новых кораблях, исполнительные модули и подсистемы стволов полностью заменяют громоздкие, дорогие, сложные в обслуживании трубопроводы, насосы, компрессоры, батареи газовых баллонов высокого давления, спринклеры, дренчеры и т. п. [9, 12], что позволяет высвободить целые помещения. Монтаж многоствольных модулей и подсистем стволов не требует много места, осуществляется быстро и просто, с невысокими затратами в силу компактности и небольшой массы новых систем и модулей, а также отсутствия питающих трубопроводов и мощных электролиний. Благодаря универсальности импульсного распыления стволы и модули могут по заданной программе обеспечить импульсное тонкодисперсное распыление различных жидкостей, гелей, порошков, пылей огнетушащих и защитных агентов [11, 15]. Это впервые позволяет обеспечить новые качества: комбинированное тушение (наиболее эффективное, а на реальных пожарах единственно эффективное), взрывопредотвращение, постановку светотеплозащитных завес; осаждение и нейтрализацию токсичных газов, паров; локализацию радиоактивных пылей и пр., вплоть до нанесения на открытые поверхности лица и тел всех людей в помещении противоожоговых гелей, растворов, что значительно облегчает и ускоряет последующее лечение, уменьшая боль от ожогов [13].

Выбор ММ и схемы тушения на плавающих и береговых объектах на основе анализа полигонных испытаний

Принцип выбора расстановки многоствольных модулей заключается в сочетании воздействия сразу (за 1 с) по всей защищаемой площади с минимальной необходимой интенсивностью на каждую единицу этой площади. Технически просто и недорого это достигается созданием системы из необходимого количества многоствольных модулей и их расстановкой, обеспечивающей эффективное воздействие и не мешающей работе основного оборудования на защищаемом объекте. Последовательные серии залпов из модулей обеспечивают не менее чем двухкратное воздействие по всей площади объекта и трехкратное и более воздействие на наиболее опасные участки пропорционально уровню их опасности. Например, для мгновенного тушения самолета, вертолета и разлива топлива вокруг них после аварийной посадки на верхней палубе авиа-

несущих кораблей можно предложить систему стационарных мощных и дальнобойных 9-ствольных модулей (рис. 3,а), которые могут располагаться вдоль взлетно-посадочной полосы с одной стороны (рис. 3,б) или в шахматном порядке. Данная схема была успешно опробована на верхней палубе авианесущего крейсера “Варяг” на стадии его достройки в Николаеве. На палубе были расположены регулярно малые модельные очаги горящего бензина. Испытывался 9-ствольный модуль, распыливший полным залпом из всех стволов 225 кг порошка марки ПСБ-3. Зафиксированная дальность эффективного тушения очагов — до 90 м, ширина — до 11 м, общая площадь тушения в форме вытянутой капли — 650 м².

Исследовано распыление из модуля наиболее приемлемого на корабле огнетушащего агента — воды. Дело в том, что распыление огнетушащего порошка (ОП), обладающего слабым токсичным действием, недопустимо на верхних и тем более нижних палубах корабля, так как он создаст там оптически плотные среды с интенсивным раздражающим воздействием, которые затрудняют эвакуацию, передвижение моряков — членов экипажа и увеличивают уровень их гибели и травматизма. При распылении 54 л воды на расстояние до 60–70 м ширина фронта

газоводяного шквала увеличивается от 1 м за срезом стволов до 8 м на расстоянии 25 м, высота — от 0,5 м за срезом стволов до 3,5 м на расстоянии 25 м. Соответственно, объем “коридора” эффективного тушения горящих поверхностей, сбивания пламени и осаждения дыма составляет 1500–1700 м³ за 1 с. Это наиболее эффективный и масштабный способ потушить пожар и осадить токсичные облака пыли, паров, газов.

Модуль способен распылять залпом из 9 стволов до 150 л воды (огнетушащего раствора) с созданием газочапельного шквала (ГКШ) с дульной скоростью $V = 60 \div 70$ м/с, с интенсивно расширяющимся фронтом в диапазоне от 1 до 10 м, движущимся на расстояние до 70 м, с площадью тушения до 350 м² за 1 с и интенсивным охлаждением, что предотвращает повторное воспламенение. При распыле 225 кг огнетушащего порошка создается газопорошковый вихрь (ГПВ) с дульной скоростью $V = 90 \div 100$ м/с, с интенсивно расширяющимся фронтом в диапазоне от 1 до 12 м, движущимся на расстояние до 100 м, с площадью тушения до 500 м² за 1 с без охлаждения, с высокой вероятностью повторного воспламенения. При распылении вверх под различными углами, в частности 45°, высота движения газопорошкового вихря составляет 50–65 % от дальности горизонтального движения вихря, а высота движения газоводяного шквала — 45–55 % от дальности горизонтального движения фронта шквала. Анализ результатов экспериментов показал, что ГПВ лучше и масштабнее сбивает пламя с горящего разлива жидкости и, благодаря мультивихревой структуре и высокой кинетической энергии, фронт потока проникает и тушит пламя внутри разрушенного самолета, устраняя возможность объемного взрыва паров легко и быстро испаряющегося авиационного горючего, а газочапельный шквал (ГКШ) надежно предотвращает повторное воспламенение внутри корпуса самолета (вертолета) и вокруг него. Поэтому при реальном тушении аварийного самолета с поврежденным корпусом, горящим изнутри, и горящего разлива топлива вокруг самолета целесообразно последовательно сочетать ГПВ и ГКШ с интервалом несколько секунд. Важно, что их можно тушить также только распылением воды, но при условии создания тонкодисперсной струи с размером капель 5–50 мкм.

Разработаны еще более мощные, не по дальности распыления, а по количеству залпов из 8–10 стволов, модули. Например, 25-ствольный ММ, распыляющий залпами из 8–9 стволов по 120–135 кг ОП на расстояние до 60–70 м, способен потушить до 350–400 м² за один залп, а суммарно — до 1200 м² при залпах с большими интервалами и до 2500 м² — с интервалами до 3–5 с.



Рис. 3. Система стационарных модулей импульсного распыла воды для практически мгновенного тушения за 1–2 с горящего самолета при аварийной посадке (а) и их расположение вдоль взлетной полосы (б)

Fig. 3. System of fixed moduls of pulse-spray water ensure really instant for 1–2 sec only and high-effective extinguishing burned airplane after emergency landing (a) and their location along the runway (b)

Аналогично могут быть потушены горящие газовые и нефтяные скважины на морской нефтедобывающей платформе, в том числе с кустовым расположением скважин. В мае 1989 г. по распоряжению руководства Миннефти СССР из аэропорта Борисполь близ Киева Ил-76 доставил 9-ствольный, 8-ствольный и 25-ствольный модули и команду во главе с автором к месту пожара на нефтедобывающей платформе. Они участвовали в тушении пожара куста из 12 нефтяных скважин с дистанции 100 м с борта финского контейнеровоза — плавучего крана. В огнетушащей атаке приняли участие не менее 6–8 пожарных кораблей с 12–16 гидромониторами, подающими суммарно до 1200–1600 л/с воды, а в момент достижения максимальной интенсивности атаки был произведен залп из 42 стволов, создавший газопорошковый смерч, летящий на расстояние до 150 м. В результате совместной огнетушащей атаки пламя удавалось сбить. Тушение продолжалось более месяца, многоствольные модули участвовали в двух огнетушащих атаках.

Для нижних палуб, двигательных отсеков, коридоров создан и успешно испытан также конструктивно более простой 30-ствольный безоткатный ММ со стволами двухстороннего распыления залпами из 5–6 стволов по 75–90 л воды (раствора), с созданием ГКШ с заданной дисперсностью капель (вплоть до 5–10 мкм), с дальностью подачи до 40–45 м в одну сторону, который способен тушить до 150–200 м² за один залп и осаждать густой токсичный дым в коридоре длиной 50 м, высотой 2–4 м, шириной 1–9 м и объемом 600–700 м³ за 1 с. Это очень важно, так как токсичный дым является главным поражающим фактором при пожарах в современных зданиях, на кораблях и судах. Порошок затрудняет эвакуацию, создавая оптически плотные облака, раздражающие органы зрения, дыхания, обоняния, поэтому его нельзя применять внутри корабля на нижних палубах и в отсеках. Это невозможно еще и потому, что до применения порошка люди должны покинуть помещение, а экипаж судна и тем более корабля не может оставить свои рабочие и боевые посты.

Опыт испытания последней версии прототипов ММ

В рамках проекта с Китаем на базе предыдущего опыта автора и анализа исследований по физике взрывного распыления [10, 11] разработана новая конструкция ММ стационарного (далее — ММс) и впервые герметичные контейнеры для воды, жидкости, гелей. Контейнеры достаточно прочны, чтобы подвергаться транспортировке с сотрясениями, долго хранятся, быстро и удобно заряжаются в канал ствола. В то же время они легко разрушаются метательной волной пороховых газов на малые лег-

кие осколки, не обладающие поражающим воздействием и вылетающие за срез ствола не далее 10 м. Впервые созданы контейнеры, пригодные для высокоэффективного, многопланового в плане защиты распыления любых веществ и материалов: жидкостей, гелей, порошков, природных экологически чистых материалов, микробиологических препаратов в виде сорбентов или живых культур различных видов действия для тушения, локализации и дезактивации токсичных и радиоактивных выбросов, розливов нефти и нефтепродуктов, обезвреживания (биодеструкции) нефте- и маслозагрязнений, экологического экранирования на период от 3 до 10 лет, биоремедиации, восстановления и рекультивации нарушенных экосистем [14, 15].

Распылительные заряды изготавливаются в удобном и безопасном для заряжания варианте. Металлические гильзы с электрокапсюльной втулкой промышленно производятся в Китае. Последний этап испытаний показал высокие возможности модулей ММс-9 (цифра — число стволов), ММс-20 и ММс-30, которые потушили залпом из 10 стволов, распыляющих суммарно 200 кг ОП, большой модельный очаг пожара с дистанции 150 м за 1 с, создав вихрь, распространившийся более чем на 220 м и охвативший площадь до 1000–1200 м². Испытания проводились по следующей схеме: ММ-20 — первый залп с дистанции 100 м, ММ-30 — второй залп с дистанции 120 м, ММ-9 — третий залп с дистанции 95 м. Модельный очаг был потушен первым же залпом, последующие два залпа демонстрировали реальную, технически несложную, недорогую реальную возможность многократной, надежной, безотказной, программируемой и гибко управляемой защиты заданного опасного участка. При этом защита может быть комбинированной: разрушение и охлаждение обугленной высокотемпературной поверхности горения + ингибирование + сбивание пламени + изолирование от доступа теплового потока и кислорода путем программируемого распыления различных огнетушащих составов последовательными залпами с заданными интервалами. Газопорошковый вихрь преимущественно ингибирует горючие радикалы, препятствуя их реагированию с кислородом (реакции горения). Газоводяной ударный шквал осаждает дым, сбивает пламя, а главное — осуществляет проникающее напыление капель в обугленный слой, разрушая и охлаждая его по всей толщине [16, 17].

В период 1980–1994 гг. ряд экспериментальных и опытно-промышленных модулей (ММ-7, ММ-8, ММ-9, ММ-10, ММ-25) изготавливались на базе двухосных лафетов, шахтных тележек, прицепов, салазков. Все ММ успешно прошли испытания на полигонах при тушении различных модельных по-

жаров классов А, В, С, D, F, а также реальных лесных пожаров в Чернобыльской зоне, пожаров в шахтах с дистанции более 200 м, горящего самолета на взлетно-посадочной полосе в Борисполе. Тушение в шахте с угледобывающим оборудованием достаточно корректно моделирует тушение на корабельных нижних палубах, в двигательных отсеках, коридорах, эффективно обеспечивает пути эвакуации экипажа. Наиболее простая в производстве и монтаже на защищаемом объекте, но высокоэффективная конструкция ММС безопасна, так как успешно гасит мощную отдачу залпа из 9 стволов за счет небольшого отката, всего на 1 м. Стационарные ММС необходимо оборудовать простыми устройствами гашения отката отдельных стволов и всего модуля в целом. ММС в ходе многолетнего нахождения в режиме ожидания не требует сервисного обслуживания, кроме контроля слаботочным импульсом целостности инициирующей цепи. Раз в год для проверки можно отстреливать 1–2 ствола, и если распыление нормальное, то допускается перезарядка только этих стволов. Качественная сборка контейнеров с ОС и распылительных патронов при правильном зарядании может гарантировать безотказное срабатывание ММС в период нахождения в режиме ожидания до 10 лет. Традиционные боеприпасы сохраняют пригодность до 15–20 лет.

ММ могут компактно размещаться на защищаемых палубах и в отсеках корабля, танкера, судна. При этом, как было убедительно продемонстрировано в результате последних испытаний на полигоне в Дун-Хуа, они могут технически просто и с небольшими затратами создавать двух-трехкратное и более (по мере необходимости) перекрытие огнетушащими шквалами особо опасных участков двигательных отсеков, погребов боеприпасов — ракет, торпед, снарядов. Особенно важен многократный резерв надежной защиты от пожаров в хранилищах боеприпасов с атомными боеголовками.

Обоснование целесообразности и рекомендации по применению ММ

Надежность тушения ММ обеспечивается комплексом факторов, к которым относится: автономность работы, высокие быстродействие, масштаб тушения, огнетушащая эффективность, а также отсутствие трубопроводов, больших цистерн высокого давления, насосов, компрессоров. Гибкость управления и технически легко достигаемая многократность воздействия на опасный участок создает беспрецедентные возможности в плане нового качества защиты. Алгоритмы программ для порядка срабатывания линий и групп стволов в одной или системе нескольких ММ, защищающих один отсек, составляются на основании изучения возможных сценариев

развития возгораний и пожаров на защищаемых палубах, в отсеках и вариантов их защиты с помощью серий залпов из системы ММ. Динамика возможных вариантов развития пожара зависит от ряда факторов — причин и мест возникновения возгораний, технологических режимов работы оборудования в отсеке; вариантов отключения магистральных трубопроводов топлива, воды и энергетических линий, основных и вспомогательных двигателей, отдельных аппаратов, вентиляции и пр. Изучение путей возникновения и развития пожаров дифференцированно по различным защищаемым участкам позволит определить оптимальную тактику тушения — порядок срабатывания групп и отдельных ММ. Эффективность исполнительной подсистемы ММ определяется легкостью перенастройки алгоритма пожаротушения и корректировки управляющих программ в зависимости от изменения текущих параметров защищаемых боевых постов, двигательных отсеков и других объектов. Это особенно актуально в случае поджогов, поражающего воздействия попавших в корабль ракет, снарядов и последствий их попадания, затрагивающих работоспособность и безопасность боевых постов, пусковых ракетных установок, артиллерийских башен, погребов боеприпасов, двигательных отсеков, командных постов и пр. То же самое можно сказать относительно возгораний на судне, танкере, где затрагиваются работоспособность и безопасность рабочих постов, двигательных отсеков, танков с нефтью и нефтепродуктами. Изменения в режимах работы этих участков корабля, судна, связанные с развитием пожара и осуществлением тушения, необходимо оперативно увязывать с состоянием корабля в целом.

Применение ММ впервые в практике работы автоматических систем тушения дает возможность получить соответствие временных масштабов совокупности процессов: развития поджога, обработки информации, принятия решений и их эффективного исполнения. Это означает возможность своевременного тушения при различных поджогах. Соответствие времен принятия решений, их выполнения, контроля и корректировки последовательности залповых воздействий — главное условие эффективного применения АСП. ММ стоят на одном качественном уровне по скорости и надежности срабатывания и тушения, по точности и масштабу тушения с датчиками, аналоговыми и командными блоками современных АСП. Впервые исполнительная система гарантирует равномерное воздействие на значительную площадь — 10^2 – 10^4 м² и более и поэтому впервые может обеспечить тушение за минимально возможное время. Это позволяет тушить пожары, быстро возникающие и развивающиеся

вследствие серьезных аварий — разрыва емкостей и трубопроводов высокого давления, взрывов боеприпасов на корабле, артиллерийских и ракетных обстрелов, создающих моментально интенсивное и масштабное горение на нефтяной платформе, корабле, судне, переходящее в быстроразвивающийся пожар или серию взрывов, как правило, нарастающих по мощности. Универсальность АСП обеспечивается за счет различной компоновки ММ и типовых электронных блоков, обработки данных датчиков возгорания, принятия решений и их реализации системой нескольких ММ, взаимодействующих по единой функциональной схеме [18].

Надежность, быстроедействие системы и уменьшение вероятности ложного срабатывания могут быть достигнуты также следующими путями: повышением устойчивости датчиков к помехам за счет структуры сети датчиков, их дублирования или введения подсистемы, различающей помехи от возгораний; применением датчиков, работающих по логическим схемам, подтверждающим достоверность возникновения пожара; централизованным сбором информации об изменении параметров состояния объекта и окружающей его среды. Быстроедействие ММ компенсирует потери времени на анализ достоверности показаний сети датчиков.

Для своевременного тушения возгораний — предотвращения пожаров и взрывов на кораблях и судах именно автоматизированные защитные системы с импульсными исполнительными ММ впервые дают возможность получить соответствие временных масштабов процессов обработки информации о возгораниях и об их развитии, принятия решений и их эффективной реализации. Это означает реальную возможность своевременного огнетушащего воздействия при высоких скоростях развития пожаров, что является главным условием эффективного использования самоуправляемых автоматических систем пожаротушения и взрывопредотвращения. Импульсно-распылительные ММ по скорости и эффективности действия вполне сравнимы с современными системами автоматизации. Универсальность импульсно-распылительных исполнительных подсистем ММ обеспечивается за счет различной компоновки типовых ММ, взаимодействующих по единой функциональной схеме. Невысокая стоимость АСП с импульсно-распылительной исполнительной подсистемой (далее — АСПимп) обеспечивается дешевизной и долговечностью ММ, а также возможностью включения данной системы в уже существующую систему автоматизированного управления кораблем и судном. АСПимп удобна в эксплуатации благодаря использованию стандартных электронных узлов, возможности проверки простейшими имитаторами горения и осуществления проверок без пуска системы. Система при срабатывании обес-

печивает возможность эвакуации экипажа и сохранность оборудования и материалов за счет воздействия на них импульсных вихрей. Предлагаемая модернизация системы по качеству превосходит другие возможные варианты, поэтому именно ММ перспективны для быстрого усиления защиты кораблей, судов, портовых сооружений, морских нефтедобывающих платформ [19, 20].

Локализация и ликвидация разливов нефти и нефтепродуктов

Помимо тушения пожаров и предотвращения взрывов на гражданских судах, очень важна ликвидация разливов нефти и нефтепродуктов, происшедших вследствие аварий, пиратских и террористических атак. Наиболее передовой технологией является распыление по пленке разлива нефти биосорбентов, быстро поглощающих пленку и перерабатывающих ее в инертный остаток, в результате чего гранулы биосорбента тонут, не загрязняя водный бассейн. Однако для распыления этих легких, пористых гранул нет техники [17].

Рассмотрим результаты экспериментов по импульсному распылению гранул биосорбента из ММ. Экспериментально определены оптимальные диапазоны, обеспечивающие дальнейшее и крупномасштабное распыление из одного ствола массы биосорбента 1,5 кг и равномерное распределение его по значительной площади — до 35 м² при удельных расходах от 15 до 25 г/м² согласно паспорту биосорбента. Внимательный осмотр зоны нефтяного разлива, покрытой равномерным слоем распыленного биосорбента, показал, что большая часть гранул биосорбента (до 80–90 %) эффективно впитывает и перерабатывает нефтяную пленку в интервале времени до 2 ч, как и в случае ручного распыления биосорбента. При этом потери биосорбента в пределах 10–20 % от исходной распыляемой массы в 5–20 раз меньше, чем потери при распределении биосорбента по данной площади 35 м² традиционным методом — вручную с помощью лопаты или совка [17, 21].

Убедительно показано главное преимущество импульсного залпового распыления, свойственное только газодисперсным вихрям, — взаимное усиление и слияние при оптимальном взаимодействии составляющих вихрей из отдельных стволов. Масштабы воздействия суммарного вихря увеличивались в 1,5–2,5 раза по сравнению с арифметической суммой площадей, которые подвергались воздействию вихрей из отдельных стволов. Увеличена дальность функционального воздействия суммарного вихря до 53 м (в 4,5 раз больше по сравнению с выстрелом-распылением из одного ствола) и площадь равномерного распыления биосорбента — до 450 м² при залпе из 5 стволов, расположенных в шахмат-

ном порядке. Это в 2,3 раза больше, чем сумма отдельных площадей эффективного воздействия при последовательном распылении из 5 стволов. Для сравнения залповое воздействие боевых ракет или снарядов не увеличивает дальности их полета, а только повышает площадь поражения до 1,5 раза по сравнению с арифметической суммой площадей поражения таким же количеством отдельных взрывов ракет и снарядов. Показана возможность снижения себестоимости ликвидации 1 м² разлива с 20–40 до 1–3 долл. и сокращения времени ликвидации разливов до 5–10 раз, что в многократной степени позволит снизить материальные и экологические убытки от разлива нефти [20].

Полученные высокие значения функциональных показателей позволяют уверенно предлагать технологический процесс и оборудование — многоствольный модуль импульсного распыления биосорбентов для практического использования в виде стационарных палубных модулей на кораблях, например на скоростных аварийно-спасательных больших катерах или маневренных портовых буксирах. Достигнутая дальность эффективного распыления позволяет кораблям “расстреливать” разливы нефти и нефтепродуктов, не входя в зону разлива, так как после прохождения любого корабля или судна, особенно скоростного, по нефтяной пленке ее трудно ликвидировать. Масштаб эффективного распыления и скорость эффективного воздействия по разливам нефти позволяют малому количеству кораблей (2–4 на акваторию порта и прилегающую территорию побережья) надежно и быстро ликвидировать различные нефтяные разливы вплоть до крупномасштабных. Для защиты определенного участка морского побережья, находящегося между этими портами, целесообразно оснастить этими установками минимум по 2–3 вспомогательных судна в каждом порту — буксиры, пожарно-спасательные. Вся полоса побережья поделена между портами на зоны их ответственности. Судна с распылительными установками от каждого порта работают по своей зоне при разливах нефти, площадь и массы которых не превышает средней величины.

Выводы

Предлагаемая принципиально новая исполнительная подсистема АСП на базе ММ высокоэффективна, безопасна, универсальна, качественно превосходит лучшие в мире АСП с гидравлическими, пневматическими, газогенерирующими аэрозоль-

ными, пневмоимпульсными исполнительными установками:

- расходы огнетушащих составов в 10–100 раз ниже, что позволяет тушить автономно — только запасом ОС в стволах ММ;
- гибкая и простая регулировка вида, мощности и масштаба воздействия, увеличивающихся пропорционально числу устройств, модулей без снижения надежности и эффективности воздействия;
- низкая себестоимость производства и сервисного обслуживания;
- экологически чистое тушение и обеспечение эвакуации;
- малые размеры емкостей высокого давления; время существования высокого давления всего доли секунды; 10-кратный запас прочности емкостей, практически исключающий их разрыв, что обеспечивает безопасность работы с оборудованием;
- простая конструкция: отсутствие газовых баллонов, компрессоров, насосов, резервуаров и трубопроводов, опасных емкостей с длительно держащимся высоким давлением, рукавов подачи ОС, что обеспечивает высокую технологичность и низкую себестоимость массового производства на различных заводах, простой ремонт и обслуживание; обслуживание стационарного ММ требует только контроля электролинии иницирования срабатывания;
- надежное и стабильное распыление в широком диапазоне температур — от минус 50 до +50 °С, климатических условий, влажности, запыленности, при скорости ветра до 5 м/с;
- предотвращение взрывов газопаропылевоздушных сред в помещении и на открытом воздухе;
- локализация разливов нефти на реках, озерах, море, океане;
- остановка пиратских атак по всему периметру большого судна и танкера, нефтедобывающей вышки в море;
- впервые отсутствие ограничений на агрегатное состояние, плотность, вязкость ОС; обеспечение комбинированного тушения.

Реализация данного проекта в России позволит в весьма значительной степени повысить безопасность морских и речных кораблей, судов, барж, танкеров, портов, припортовых промышленных объектов, экологии водных бассейнов и прилегающих к ним районов и, как следствие, повысить безопасность экономики Российского государства в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Lehner P., Deans B.* In deep water: the anatomy of a disaster, the fate of the gulf, and how to end our oil addiction. — New York : OR Books, 2010. — 173 p. DOI: 10.2307/j.ctt1bkm5hb.

2. Final report on the investigation of the Macondo well blowout / Deepwater Horizon Study Group. — Washington, DC : The National Academies Press, 2011. — 126 p.
3. *Brown Eryn*. Bacteria in the gulf mostly digested gas, not oil, study finds // Los Angeles Times. — September 16, 2010.
4. *Minkin D. Yu., Mironchev A. V., Tursenev S. A.* Technologies of maintaining fire safety of the offshore oil and gas fields facilities // Pollution Research. — 2017. — Vol. 36, No. 3. — P. 640–644.
5. *Ott Riki*. Bio-remediation or bio-hazard? Dispersants, bacteria and illness in the gulf. URL: https://www.huffingtonpost.com/riki-ott/bio-remediation-or-bio-ha_b_720461.html (дата обращения: 15.07.2018).
6. *Любимов Е. В., Трифонов И. В., Цинян Кун*. Пожарные суда как элемент системы обеспечения безопасности при морской добыче углеводородного сырья // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. — 2013. — № 4. — С. 11–15. URL: <http://vestnik.igps.ru/wp-content/uploads/V54/3.pdf> (дата обращения: 09.07.2018).
7. *Freeman G. A.* Sailors to the end: the deadly fire on the USS Forrestal and the heroes who fought it. — New York : HarperCollins, 2004. — 307 p.
8. The terrible fire aboard the USS Forrestal was the worst single Naval casualty event of the Viet Nam War / Warfighter's Encyclopedia. Did You Know..? : Internet Archive. URL: https://web.archive.org/web/20041105120949/https://wrc.navair-rdte.navy.mil/warfighter_enc/History/dyk/1stpage/forr-fire.htm (дата обращения: 10.07.2018).
9. *Arvidson M.* Large-scale water spray and water mist fire suppression system tests for the protection of ro-ro cargo decks on ships // Fire Technology. — 2014. — Vol. 50, Issue 3. — P. 589–610. DOI: 10.1007/s10694-012-0312-7.
10. *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.
11. *Segal C., Chandy A., Mikolaitis D.* Breakup of droplets under shock impact // Combustion Processes in Propulsion. Control, Noise and Pulse Detonation / Roy G. D. (ed.). — Oxford : Elsevier Butterworth-Heinemann, 2006. — P. 321–328. DOI: 10.1016/b978-012369394-5/50034-2.
12. ISQ 16733-1:2015. Fire safety engineering — Selection of design fire scenarios and design fires — Part 1: Selection of design fire scenarios. — Geneva, Switzerland : BSI, 2015. — 31 p. DOI: 10.3403/30300271U
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. *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.
15. *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). — 2004. — Paper AIAA 2004-411. DOI: 10.2514/6.2004-411.
16. *Yanson L. M., Phariss M. R., Hermanson J. C.* Effects of liquid superheat on droplet distortion in supersonic stream // 43rd AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit (10–13 January, 2005, Reno, Nevada). — 2005. — Paper AIAA 2005-351. DOI: 10.2514/6.2005-351.
17. *Щербак М. В.* Система для импульсного напыления адсорбентов на нефтяную пленку на акватории // Научный сборник техногенно-экологической безопасности и защиты. — 2010. — № 2. — С. 64–74.
18. *Краснокутский В. В., Лукомский К. И., Камерлохер В. А.* Обоснование штатной установки системы тушения пожара в подкапотном пространстве автомобиля // Молодой ученый. — 2015. — № 12.1(92.1). — С. 37–39.
19. *Захматов В. Д.* Система комплексной ликвидации аварийных ситуаций на взрывоопасных и химически опасных промышленных объектах // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2012. — Т. 21, № 9. — С. 43–57.
20. *Кряжис О. А., Захматов В. Д.* Модели управления импульсной пожаровзрывной защитой химического предприятия // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2013. — Т. 22, № 1. — С. 81–88.
21. *Щербак Н. В.* Корабельные палубные установки импульсного распыления биосорбентов для ликвидации разливов нефти на акватории // Научный сборник техногенно-экологической безопасности и защиты. — 2011. — № 6. — С. 37–43.

Материал поступил в редакцию 23 июля 2018 г.

Для цитирования: Захматов В. Д., Турсенев С. А., Мироньчев А. В., Чернышов М. В., Озеров А. В., Дорожкин А. С. Анализ существующих и обоснование применения новой автоматической системы пожаровзрывозащиты судов, кораблей, нефтедобывающих платформ // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 9. — С. 50–63. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.09.50-63.

English

ANALYSIS OF EXISTING AND JUSTIFICATION OF APPLYING NEW AUTOMATIC SYSTEM FOR FIRE-AND-EXPLOSION PREVENTION AT VESSELS, SHIPS, OFFSHORE OIL PLATFORM

ZAKHMATOV V. D., Doctor of Technical Sciences, Professor, Saint Petersburg University of 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 Department of Planning, Organization and Coordination of Scientific Research, Saint Petersburg University of Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail: stursenev@yandex.ru)

MIRONCHEV A. V., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of Department of Retraining and Advanced Training of Specialists, Saint Petersburg University of Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail: mironchev@list.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)

OZEROV A. V., Director of the Zola Company, Business Center Reduktor (Industrialnaya St., 19, letter P, of. 301, Saint Petersburg, 198095, Russian Federation)

DOROZHNIKIN A. S., Senior Lecturer of Department of Fire Safety of Buildings and Automated Fire Extinguishing Systems, Saint Petersburg University of Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail: alex01spb@yandex.ru)

ABSTRACT

Introduction. A brief analysis of catastrophic fires and explosions on the offshore oil platform, ships and vessels is performed. It's shown the relevance of the qualitative improvement of marine fire equipment. Analysis of modern fire fighting systems on vessels, ships: sprinkler, deluge, gas and pneumatic-impulse fire extinguishing systems is carried out. It's substantiated new equipment for upgrading existing systems — subsystems of multi-module pulse, vortex combined quenching for the protection of ships, vessels, tankers, offshore oil platforms. The choice of the arrangement of modules based on the results of polygon tests is described. There are created systems of modules for the upper decks, engine rooms, holds, corridors, gangways, sections, electrical cabinets, etc. The modules create gas-water squalls, gas-powder vortices that extinguish all fires and continuous fires in all or part of the compartment and deck in seconds. The participation of pilot modules in operations for eliminating the consequences of disasters in hard-to-reach zones of collapses, with high levels of radioactive and toxic contamination in emergency locations is described.

Description and analysis of experiments. The recommendations on the use of multi-barrel modules based on the analysis of experiments on the creation of fine-dispersed water squalls for extinguishing developed fires of classes A, B, C, F, the inhibition of explosive vapor-air clouds, the deposition and detoxification of gas-air clouds of ammonia and chlorine are substantiated and developed. The localization and liquidation of oil and oil products are described. The possibility of reducing the cost of liquidation of 1 sq m of bottling from \$ 20–40 to \$ 1–3 is shown, and reducing the time for liquidation of bottles to 5–10 times, which in a more multiple degree will reduce material and environmental losses from oil bottling.

Conclusion. The advantages of introducing new technology and techniques for eliminating the consequences of accidents at sea and preventing their development into a catastrophe are summarized.

Keywords: vessel; tanker; ship; multi-barrels module; pulse spray; gas-water squall; gas-powder whirly; serial of volleys; combine extinguishing; blow flame; smoke sediment; penetration spray of droplets; carbonized zone; destruction; intensive cooling.

REFERENCES

1. Lehner P., Deans B. *In deep water: the anatomy of a disaster, the fate of the gulf, and how to end our oil addiction*. New York, OR Books, 2010. 173 p. DOI: 10.2307/j.ctt1bkm5hb.
2. Deepwater Horizon Study Group. *Final report on the investigation of the Macondo well blowout*. Washington, DC, The National Academies Press, 2011. 126 p.
3. Brown Eryn. Bacteria in the gulf mostly digested gas, not oil, study finds. *Los Angeles Times*, September 16, 2010.
4. Minkin D. Yu., Mironchev A. V., Tursenev S. A. Technologies of maintaining fire safety of the offshore oil and gas fields facilities. *Pollution Research*, 2017, vol. 36, no. 3, pp. 640–644.
5. Ott Riki. *Bio-remediation or bio-hazard? dispersants, bacteria and illness in the gulf*. Available at: https://www.huffingtonpost.com/riki-ott/bio-remediation-or-bio-ha_b_720461.html (Accessed 15 July 2018).
6. Lyubimov E. V., Trifonov I. V., Tsinyan Kun. Fire vessels as the element of system of safety at sea production of hydrocarbonic raw materials. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MChS Rossii / Herald of St. Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia*, 2013, no. 4, pp. 11–15 (in Russian). Available at: <http://vestnik.igps.ru/wp-content/uploads/V54/3.pdf> (Accessed 9 July 2018).
7. Freeman G. A. *Sailors to the end: the deadly fire on the USS Forrestal and the heroes who fought it*. New York, HarperCollins, 2004. 307 p.
8. The terrible fire aboard the USS Forrestal was the worst single Naval casualty event of the Viet Nam War. In: *Warfighter's Encyclopedia. Did You Know..? Internet Archive*. Available at: https://web.archive.org/web/20041105120949/https://wrc.navair-rdte.navy.mil/warfighter_enc/History/dyk/1stpage/forfire.htm (Accessed 10 July 2018).
9. Arvidson M. Large-scale water spray and water mist fire suppression system tests for the protection of ro-ro cargo decks on ships. *Fire Technology*, 2014, vol. 50, issue 3, pp. 589–610. DOI: 10.1007/s10694-012-0312-7.
10. 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.
11. Segal C., Chandy A., Mikolaitis D. Breakup of droplets under shock impact. In: Roy G. D. (ed.). *Combustion Processes in Propulsion. Control, Noise and Pulse Detonation*. Oxford, Elsevier Butterworth-Heinemann, 2006, pp. 321–328. DOI: 10.1016/b978-012369394-5/50034-2.
12. ISQ 16733-1:2015. *Fire safety engineering — Selection of design fire scenarios and design fires — Part 1: Selection of design fire scenarios*. Geneva, Switzerland, BSI, 2015. 31 p. DOI: 10.3403/30300271U.
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. 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.
15. 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)*, 2004, paper AIAA 2004-411. DOI: 10.2514/6.2004-411.
16. Yanson L. M., Phariss M. R., Hermanson J. C. Effects of liquid superheat on droplet distortion in supersonic stream. In: *43rd AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit (10–13 January, 2005, Reno, Nevada)*, 2005, paper AIAA 2005-351. DOI: 10.2514/6.2005-351.
17. Shcherbak N. V. System for aviation pulse adsorbents deposition on the oil film on the water area. *Nauchnyy sbornik tekhnogenno-ekologicheskoy bezopasnosti i zashchity / Scientific Journal Technogenic and Ecological Safety and Protection*, 2010, no. 2, pp. 64–74 (in Russian).
18. Krasnokutskiy V. V., Lukomskiy K. I., Kamerlokh V. A. Substantiation of the regular installation of a fire extinguishing system in the car's engine compartment. *Molodoy uchenyy / Young Scientist*, 2015, no. 12.1(92.1), pp. 37–39 (in Russian).

19. Zakhmatov V. D. System of combine liquidation of emergency consequences at explosive-able and toxically dangerous chemical enterprises. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 9, pp. 43–57 (in Russian).
20. Kryazhich O. A., Zakhmatov V. D. Models of control of pulse protection against explosions and fires at the chemical enterprise. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 1, pp. 81–88 (in Russian).
21. Scherbak N. V. Ship deck's unit for pulse pulverization of biology sorbents liquidating the oil spread at water. *Nauchnyy sbornik tekhnogenno-ekologicheskoy bezopasnosti i zashchity / Scientific Journal Technogenic and Ecological Safety and Protection*, 2011, no. 6, pp. 37–43 (in Russian).

For citation: Zakhmatov V. D., Tursenev S. A., Mironchev A. V., Chernyshov M. V., Ozerov A. V., Dorozhkin A. S. Analysis of existing and justification of applying new automatic system for fire-and-explosion prevention at vessels, ships, offshore oil platform. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 9, pp. 50–63 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.09.50-63.



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу

Д. Г. Пронин, Д. А. Корольченко

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

— М. : Издательство "ПОЖНАУКА".



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

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

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

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

121352, г. Москва, а/я 6; тел./факс: (495) 228-09-03; e-mail: info@fire-smi.ru

О НЕКОТОРЫХ ПОЛОЖЕНИЯХ СТАТЬИ "МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПОЖАРНОГО РИСКА НА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ С ЖИДКИМИ МОТОРНЫМИ ТОПЛИВАМИ С УЧЕТОМ ПРИМЕНЕНИЯ ПОРОШКОВЫХ ОГНЕТУШИТЕЛЕЙ"

© **И. К. БАКИРОВ**, канд. техн. наук, эксперт независимой оценки пожарного риска, доцент кафедры "Пожарная и промышленная безопасность", Уфимский государственный нефтяной технический университет (Россия, Республика Башкортостан, 450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1; e-mail: bakirovirek@bk.ru)

В Российской Федерации в 2009 г. вступил в силу новый нормативный правовой акт — Федеральный закон № 123-ФЗ от 22.07.2008 г. "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности". С его принятием большую актуальность приобрела оценка пожарного риска, пожарный аудит и разработка деклараций пожарной безопасности.

В статье Кожевина Д. Ф., Новикова В. Р., Полякова А. С. и Клейменова В. А. "Методика расчета пожарного риска на производственных объектах с жидкими моторными топливами с учетом применения порошковых огнетушителей", опубликованной в № 1 журнала "Пожаровзрывобезопасность" за этот год, достаточно полно освещен подход к оценке пожарного риска и влияние на него применения огнетушителей на пожаре.

Вместе с тем не изучена практическая эффективность применения огнетушителей, основанная на статистической информации о влиянии применения огнетушителей на уменьшение уровня травмирования и гибели людей при пожаре в нефтегазовой отрасли, запрос которой осуществляется во ВНИИПО МЧС России.

Кроме того, авторами не изучен опыт расчетных методов оценки промышленного риска. В методике оценки последствий аварийных взрывов определяется эффективный энергозапас, вероятность повреждения зданий и вероятность потери управляемости у людей, в то время как в методике определения расчетных величин пожарного риска в производственных зданиях устанавливается интенсивность теплового излучения от огненного шара и критерии поражающего действия волны давления (повреждение зданий и травмирование человека). Расчет избыточного давления и эффективного энергозаписа проводится по разным формулам. В методическом руководстве по оценке степени риска аварий на магистральных трубопроводах определяется частота утечек нефти для участка нефтепровода, частота образования дефектного отверстия и оценка риска для участка нефтепровода, в то время как в методике определения расчетных величин пожарного риска на про-

изводственных объектах устанавливаются частота пожароопасных ситуаций, поля опасных факторов пожара, потенциальный, индивидуальный и социальный пожарные риски. Из этого можно было бы сделать определенные выводы, которые могли бы повлиять на оценку риска с учетом применения порошковых огнетушителей.

Нормативная вероятность тушения огнетушителем заданного модельного очага пожара принята равной $2/3$ в связи с тем, что согласно п. В.3.3.6 ГОСТ Р 51057–2001 считается, что огнетушитель выдержал испытание, если в двух попытках из трех модельный очаг пожара был потушен.

Однако по логике понятий должна сохраняться зависимость: вероятность отказа + вероятность безотказной работы (нормативная вероятность тушения огнетушителем заданного модельного очага пожара) = 1. Если же нормативная вероятность тушения огнетушителем заданного модельного очага пожара зависит не только от срабатывания или несрабатывания огнетушителя, но и, например, от погодных условий, площади пролива, тогда ее необходимо находить исходя из вероятности безотказной работы, равной 0,95 (см. п. 9.37 ГОСТ Р 51057–2001), с применением коэффициентов. К сожалению, эта зависимость не изучена до конца, поэтому ее можно считать вопросом будущих исследований. А пока допускается принимать вероятность тушения равной $2/3$ с учетом того, что вероятность тушения по логике должна быть меньше вероятности безотказной работы, что и получается в расчетах.

Что касается целей и задач, то из статьи непонятно, о каком прогреве во время пролива жидкости идет речь, когда определяется целесообразность применения огнетушителей. Выводится умозаключение о том, что должно быть "длительное воздействие источника нагревания (отсроченное зажигание)" (т. е. прогрев) горючей жидкости до "температуры вспышки и далее до температуры воспламенения" (т. е. до температуры самовоспламенения), а затем "постепенное" охватывание пламенем площади пролива, и только в этом случае применение огнетуши-

телей считается целесообразным. Как это связано с расчетом пожарного риска, не поддается логике понимания. Возможно, это связано с видами нефтепродуктов, учтенных в формуле (3), приведенной в статье. Но тогда надо было формулировать зависимость целесообразности применения огнетушителей только от массовой скорости испарения и низшей теплоты сгорания нефтепродукта, учтенных в формуле (3), а не связывать ее с этапом развития пожара — “постепенным” охватыванием пламенем площади пролива, которое “постепенным” не бывает, а происходит мгновенно или быстро, даже при горении тяжелых нефтепродуктов.

При обосновании связи “постепенного” охватывания пламенем площади пролива и целесообразности применения огнетушителей в формуле (3) пожарный риск увязывается с видом нефтепродукта через его массовую скорость испарения и низшую теплоту сгорания (через свойства нефтепродукта, а не через этапы постепенности охвата пламенем площади пролива). Как этап постепенности охватывания пламенем нефтепродукта может влиять на целесообразность применения огнетушителей? Такого понятия, как постепенность охватывания, для нефтепродуктов вообще не должно быть, поскольку они всегда охватываются пламенем мгновенно или

быстро, и от этого вопрос — применять или не применять огнетушитель, не просто не решается, а выглядит абсурдно. Целесообразность применения огнетушителей объективно зависит только от площади пролива уже горящего нефтепродукта и опасности дальнейшего распространения огня, но никак не от свойств нефтепродукта и не от этапа развития пожара — охвата пламенем пролива нефтепродукта, как утверждают авторы статьи.

При авариях, связанных с проливом легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, для которых температура технологического процесса в производственном оборудовании выше температуры самовоспламенения жидкости, при разгерметизации оборудования и попадании кислорода в закрытый процесс горючая паровоздушная смесь образуется сразу после разгерметизации аппарата без источника зажигания. При внесении же источника зажигания после разгерметизации оборудования и пролива жидкости в других технологических процессах происходит мгновенное воспламенение и горение, поэтому применение огнетушителей нецелесообразно и нелогично связывать с видом нефтепродукта, а целесообразно связывать только с площадью горения, как было сделано в формуле (2) анализируемой статьи.



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 6; тел./факс: (495) 228-09-03; e-mail: info@fire-smi.ru

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

УДК 614.841.44

ЗДАНИЯ И ПОМЕЩЕНИЯ С МАССОВЫМ ПРЕБЫВАНИЕМ ЛЮДЕЙ

Рассмотрены требования пожарной безопасности к зданиям с массовым пребыванием людей. Представлена информация по особенностям отнесения объектов защиты к зданиям и помещениям с массовым пребыванием людей. Проведен анализ нормативной литературы и даны пояснения по порядку применения существующих терминов и определений при оценке количества человек, находящихся в помещениях здания. Отмечены несоответствия в действующих противопожарных требованиях к вышеуказанным объектам защиты.

Ключевые слова: нормативные документы; пожарная безопасность; противопожарный режим; здания и помещения с массовым пребыванием людей; установки пожаротушения; эвакуация людей.



ВОПРОС:

В нормативных документах используются различные, местами противоречащие друг другу определения термина “здание (помещение) с массовым пребыванием людей”. В результате этого у проектировщиков возникают затруднения при выборе объемно-планировочных, конструктивных и технических решений по обеспечению пожарной безопасности объектов различного функционального назначения.

В каких нормативных документах имеются сведения по отнесению объектов защиты к зданиям (помещениям) с массовым пребыванием людей и в чем их различие?

ОТВЕТ:

В первую очередь следует отметить, что согласно “Техническому регламенту о требованиях пожарной безопасности” (Федеральный закон № 123-ФЗ) [1], ГОСТ 12.1.004–91 [2] и Правилам противопожарного режима (ППР) [3] здания, сооружения и помещения, для которых установлены требования пожарной безопасности в целях предотвращения пожара и защиты людей, являются “объектами защиты”. В то же время в п. 7 ППР [3] указывается, что к объектам с массовым пребыванием людей относятся здания и сооружения, в которых постоянно или временно может находиться 50 чел. и более. При этом не учитывается ни количество помещений в таком здании, ни их площадь.

В нормативной литературе также встречается термин “помещение с массовым пребыванием людей”. Например, в соответствии с п. 3.71 СП 5.13130.2009 [4] к помещениям с массовым пребыванием людей относятся залы и фойе театров, кинотеатров, залы заседаний, совещаний, лекционные аудитории, рестораны, вестибюли, кассовые залы, производственные

помещения и другие помещения площадью 50 м² и более с постоянным или временным пребыванием людей (не считая аварийных ситуаций) числом более 1 чел. на 1 м². Аналогичное определение дано в п. Б.20 прил. Б СП 118.13330.2012* [5]. Из этих определений следует, что если в помещении площадью 50 м² находится более 50 чел., то оно будет отнесено к помещениям с массовым пребыванием людей. Такая плотность заполнения пространства людьми считается достаточно опасной, поэтому СП 5.13130.2009 [4] запрещает применение установок объемного углекислотного, порошкового и аэрозольного пожаротушения в помещениях с количеством человек 50 и более (см. пп. 8.1.2, 9.1.3, 10.1.7 [4]). В то же время существуют нормативы по допустимому заполнению людьми помещений различного назначения, применяемые для расчета параметров путей эвакуации, которые позволяют снизить плотность заполнения помещения людьми. Например, в п. 7.2.5 СП 1.13130.2009 [6] для магазинов максимальное число покупателей определяется из расчета 1 чел. на 3 м² общей площади торгового зала. Следовательно, в магазине с площадью торгового зала 153 м² может находиться не более 51 чел. В таком случае согласно ППР [3] сам магазин будет относиться к объектам с массовым пребыванием людей, но его торговый зал не будет являться помещением с массовым пребыванием людей из-за низкой плотности заполнения. При этом присутствие большего количества людей в зале не допускается, так как п. 32 ППР [3] запрещает нарушать установленные нормы заполнения помещений людьми, а п. 119 ППР [3] обязывает руководителя организации или ответственных лиц принимать дополнительные меры пожарной безопасности, направленные на ограничение доступа посетителей в торговые залы при проведении распродаж, рекламных акций и других

мероприятий, связанных с массовым пребыванием людей.

Представленное в п. 3.71 СП 5.13130.2009 [4] определение ведет к различному толкованию его проектировщиками, чего быть не должно.

Кроме того, в ППР [3] встречается фраза *“мероприятие с массовым пребыванием (участием) людей”*, при этом не указывается, сколько людей должно участвовать в мероприятии, чтобы оно относилось к массовому. Интуиция, а также содержание п. 7 ППР [3] наводят на мысль о массовости мероприятия при участии в нем 50 чел. и более, но это порождает дополнительные вопросы. Если в торговом зале магазина проходит распродажа с участием в ней 45 чел. и 5 сотрудников, которые находятся в этот период в других помещениях, то такое мероприятие в зале будет считаться массовым? Сам магазин будет однозначно являться зданием с массовым пребыванием людей, а каким будет мероприятие, ответа нет. За основу можно взять требования п. 10 постановления Правительства РФ от 25 марта 2015 г. № 272 [7] по антитеррористической защищенности мест массового пребывания людей. В нем указано, что данные места делятся на три категории, где *“место массового пребывания людей 3-й категории — место массового пребывания людей, в котором при определенных условиях может одновременно находиться от 50 до 200 человек”* [7]. Третья категория является самой низкой и характеризуется наименьшим числом людей. Из определения становится очевидным, что место и то мероприятие, которое в этом месте проходит, будут считаться массовыми при нахождении там не менее 50 чел. Этот пункт подтверждает предыдущие умозаключения и может быть адаптирован для применения в ППР [3].

Хотелось бы отметить, что термин *“помещение с массовым пребыванием людей”* не применяется ни в ППР [3], ни в рассмотренных выше сводах правил. В связи с этим возникает резонный вопрос, правомерно ли применение этого термина в нормативной литературе? Ответ отрицательный, так как это создает дополнительные сложности в определении принадлежности помещения к массовому. Если же и оставлять этот термин, то его определение должно быть пересмотрено и откорректировано в новой редакции СП 5.13130.2009 [4], обсуждение которой намечено на 2018 г. (письмо Департамента надзорной деятельности и профилактической работы МЧС России от 30.06.2017 г. № 19-16-835).

Опираясь на опыт предыдущих поколений и на требования недействующих Правил противопожарной безопасности (ППБ 01–03), можно констатировать, что помещением с массовым пребыванием людей следует считать помещение, в котором одновременно может находиться 50 чел. и более (см. п. 43 ППБ 01–03) и

для которого максимально допустимую плотность заполнения людьми следует принимать из расчета 1 чел. на 1 м², если иное значение плотности заполнения помещения не предусмотрено другими нормативными документами. Площадь самого помещения здесь не играет существенной роли, так как для отдельных видов помещений плотность заполнения может составлять более 50 чел. на площади менее 50 м². Например, для театров и концертных залов при расчете путей эвакуации следует принимать площадь 0,7 м² на 1 чел. (см. п. 5.23 СП 118.13330.2012* [5]). В этом случае 50 чел. смогут уместиться на площади 35 м², т. е. такие залы по площади под определение п. 3.71 СП 5.13130.2009 [4] не подходят, хотя плотность людей в них выше требуемой.

Отмеченные выше несоответствия приводят к замешательству при выборе проводов и кабелей для зданий с массовым пребыванием людей. Согласно табл. 2 ГОСТ 31565–2012 [8] прокладку электрических сетей в указанных зданиях требуется выполнять дорогостоящими кабелями типа нг(...)-HF (не распространяющими горение и не выделяющими коррозионно-активные газообразные продукты при горении и тлении). Более дешевые кабели типа нг(...)-LS (не распространяющие горение, с пониженным дымо- и газовыделением) могут применяться в иных зданиях и сооружениях.

Исходя из рассмотренных выше терминов и определений, касающихся объектов с массовым пребыванием людей, кабели типа нг(...)-HF следует прокладывать в зданиях (в том числе в помещениях) с постоянным или временным пребыванием 50 чел. и более.

В заключение хотелось бы отметить, что термины *“здание (объект) с массовым пребыванием людей”* и *“помещение с массовым пребыванием людей”* не следует рассматривать как равнозначные. Даже если здание с пребыванием в нем 50 чел. и более и будет относиться к зданиям с массовым пребыванием людей, это совсем не значит, что в нем есть помещения, в которых одновременно находится указанное число людей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности (в ред. от 29.07.2017) : Федер. закон РФ от 22.07.2008 № 123-ФЗ; принят Гос. Думой 04.07.2008; одобр. Сов. Федерации 11.07.2008 // Собр. законодательства РФ. — 2008. — № 30 (ч. I), ст. 3579.
2. ГОСТ 12.1.004–91. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Общие требования (в ред. от 01.09.2006). — Введ. 01.07.1992. — М. : Стандартинформ, 2006.
3. Правила противопожарного режима в Российской Федерации (в ред. от 01.03.2017) : постановление Пра-

вительства РФ от 25.04.2012 № 390 // Собрание законодательства РФ. — 2012. — № 19, ст. 2415.

4. СП 5.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования (в ред. от 01.06.2011). — Введ. 01.05.2009. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.

5. СП 118.13330.2012*. Общие требования к зданиям и сооружениям. Актуализированная редакция СНиП 31-06-2009. — Введ. 01.01.2013. — М. : Минстрой России, 2014.

6. СП 1.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы (в ред. от 09.12.2010). — Введ. 01.05.2009. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.

7. Требования к антитеррористической защищенности мест массового пребывания людей и объектов (территорий), подлежащих обязательной охране войсками национальной гвардии Российской Федерации, и форм паспортов безопасности таких мест и объектов (территорий) (в ред. от 19.01.2018) : постановление Правительства РФ от 25.03.2015 № 272 // Собрание законодательства РФ. — 2015. — № 14, ст. 2119.

8. ГОСТ 31565–2012. Кабельные изделия. Требования пожарной безопасности. — Введ. 01.01.2014. — М. : Стандартинформ, 2014.

Для цитирования: Харламенков А. С. Здания и помещения с массовым пребыванием людей // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 9. — С. 66–68.

BUILDINGS AND PREMISES WITH THE MASSIVE STAY OF PEOPLE

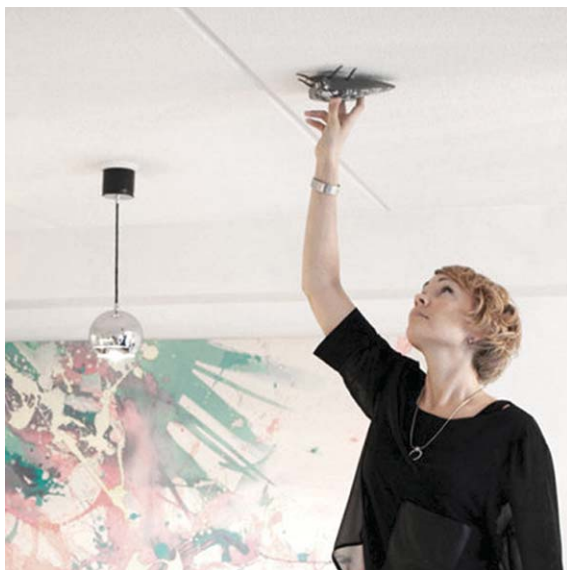
KHARLAMENKOV A. S., Senior Lecturer of Department of Special Electrical Engineering, Automation Systems and Communication, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: h_a_s@live.ru)

ABSTRACT

Fire safety requirements for buildings with a massive stay of people are considered. The information on the features of the assignment of protection objects to buildings and premises with a massive stay of people is presented. An analysis of the normative literature is made and explanations are given on the order of application of existing terms and definitions in estimating the number of people in the building's premises. The inconsistencies in the existing fire safety requirements for the above protection objects are noted.

Keywords: normative documents; fire safety; fire prevention regime; buildings and premises with massive stay of people; fire extinguishing installation; evacuation of people.

For citation: Kharlamenkov A. S. Buildings and premises with the massive stay of people. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 9, pp. 66–68 (in Russian).



ДАТЧИК ДЫМА МУХА



Многие дизайнеры стараются не придавать своим идеям оригинальный вид. Конечно, иногда это неуместно, но взгляните на этот проект датчика дыма, выполненного в виде мухи. Устройство не требует никаких винтов или специальных креплений, оно, как муха, крепится к потолку с помощью ленты 3М. Очень забавное, симпатичное и вызывающее улыбку устройство — это все, что требуется от изделия.

Дизайн: *Paola Suhonen*

<https://megaobzor.com/neobychnyy-datchik-dyma-v-forme-muhi.html>



Перед динамическими испытаниями



Перед статическими испытаниями



РЕКЛАМА

После статических испытаний. Общий вид

ИСПЫТАНИЕ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ОТ ПАДЕНИЯ С ВЫСОТЫ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

**СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

Контакты:

Тел.: 8 (495) 109-05-58

e-mail: ikbs@mgsu.ru,

mail@ikbs-mgsu.com

www.ikbs-mgsu.com

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)

**Начинается
подписка
на журнал**

2019

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 2019 г. (3 номера) — 5901 руб.
- Стоимость годовой подписки (6 номеров) — 10260 руб.

ЭЛЕКТРОННАЯ ВЕРСИЯ:

- Стоимость подписки на 1-е полугодие 2019 г. (3 номера) — 2460 руб.
- Стоимость годовой подписки (6 номеров) — 4680 руб.

ПОДПИСКА ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ:

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

25-я Юбилейная международная выставка
технических средств охраны
и оборудования для обеспечения
безопасности и противопожарной защиты



securika
Moscow



Москва

**19–22
марта
2019**

ЦВК «Экспоцентр»

РЕКЛАМА



Видеонаблюдение



Контроль
доступа



Охрана
периметра



Противопожарная
защита



Сигнализация
и оповещение



Автоматизация
зданий



Организатор
Группа компаний ITE
+7 (499) 750-08-28
security@ite-expo.ru

Забронируйте стенд
securika-moscow.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.