

8-2017

ПОЖ Издательство
НАУКА

ПОЖАРОВЗРЫВО-

БЕЗОПАСНОСТЬ



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

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

КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

пожарная • промышленная • производственная • экологическая



КОМБИНИРОВАННЫЙ
МЕТОД ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ
В ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЯХ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАСОСНО-
РУКАВНОЙ СИСТЕМЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

№ 8 ТОМ 26
2017

УЧРЕДИТЕЛЬ —

ООО "Издательство "ПОЖНАУКА"

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

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

РЕДАКЦИЯ:

Зав. редакцией Корольченко О. Н.
Шеф-редактор Соколова Н. Н.
Редактор Крылова Л. В.

Адрес редакции:

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

Адрес для переписки:

121352, Россия, г. Москва, а/я 43.

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

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

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

Перепечатка материалов журнала "Пожаро-
взрывобезопасность / Fire and Explosion Safety"
только по согласованию с редакцией.

При цитировании ссылка обязательна.

Авторы и рекламодатели несут ответственность
за содержание представленных в редакцию
материалов и публикацию их в открытой
печати.

Мнение редакции не всегда совпадает с мне-
нием авторов опубликованных материалов.

Подписано в печать 15.08.2017.

Выход в свет 25.08.2017.

Формат 60x84 1/8. Тираж 2000 экз.

Бумага мелованная матовая.

Печать офсетная.

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

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

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

ЗАМ. ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

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

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ, ОБЪЕКТОВ

ПОЛАНДОВ Ю. Х., ДОБРИКОВ С. А., КУКИН Д. А.
Результаты испытаний легкосбрасываемых
конструкций

5

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

ПУЗАЧ С. В., ЛЕБЕДЧЕНКО О. С.,
ИЩЕНКО А. Д., ФОГИЛЕВ И. С.
Временной механизм воздействия
опасных факторов пожара на персонал АЭС
и комплексная защита от них

15

КАРПОВ В. Л., МЕДЯНИК М. В.
О необходимости реализации процесса
превентивного спасения людей при пожаре
в уникальных высотных зданиях

25

СРЕДСТВА И СПОСОБЫ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

ИВАНОВ А. В., ТОРОПОВ Д. П., ИВАХНЮК Г. К.,
ФЕДОРОВ А. В., КУЗЬМИН А. А.
Исследование огнетушащих свойств воды
и гидрогелей с углеродными наноструктурами
при ликвидации горения нефтепродуктов

31

КОРОЛЬЧЕНКО Д. А., ВОЛКОВ А. А.
Тушение горючих жидкостей пеной
из пленкообразующих пенообразователей

45

ЗЕЛЕНКОВ С. А., ПОДГРУШНЫЙ А. В.,
ДЕНИСОВ А. Н., БОРДИК Р. И.
Комбинированный метод тушения пожаров
в высотных зданиях с использованием насосно-
рукавной системы высокого давления

56

ДИСКУССИИ

КОРОБКО В. Б.
Парадоксы первой редакции проекта
свода правил "Здания и комплексы высотные.
Требования пожарной безопасности"

65

ХОЛЩЕВНИКОВ В. В.
В помощь разработчикам свода правил
"Здания и комплексы высотные.
Требования пожарной безопасности"

70

ВОПРОС – ОТВЕТ

77

CONTENTS

SAFETY OF BUILDINGS, STRUCTURES, OBJECTS

POLANDOV Yu. Kh., DOBRIKOV S. A., KUKIN D. A.
Results of tests pressure-relief
panels

LIFE SAFETY

PUZACH S. V., LEBEDCHENKO O. S.,
ISHCHENKO A. D., FOGILEV I. S.
Temporal mechanism impact hazard fire on nuclear
power plants staff and comprehensive protection
against them

KARPOV V. L., MEDYANIK M. V.
About the necessity of realization of process
of preventive rescue of people during the fire
in a unique high-rise buildings

MEANS AND WAYS OF FIRE EXTINGUISHING

IVANOV A. V., TOROPOV D. P., IVAKHNYUK G. K.,
FEDOROV A. V., KUZMIN A. A.
Research of the extinguishing properties
of water and hydrogel with carbon nanoparticles
for liquidation burning of the petroleum products

KOROLCHENKO D. A., VOLKOV A. A.
Extinguishing of flammable liquids by film forming
foaming agents

ZELENKOV S. A., PODGRUSHNYY A. V.,
DENISOV A. N., BORDIK R. I.
Combined method of extinguishing fires
in high-rise buildings using hose-pump
high pressure system

DISCUSSION

KOROBKO V. B.
Paradoxes of the first edition of draft set of rules
"High-rise buildings and complexes.
Fire safety requirements"

KHOLSHCHEVNIKOV V. V.
To help developers of set of rules
"High-rise buildings and complexes.
Fire safety requirements"

QUESTION – ANSWER



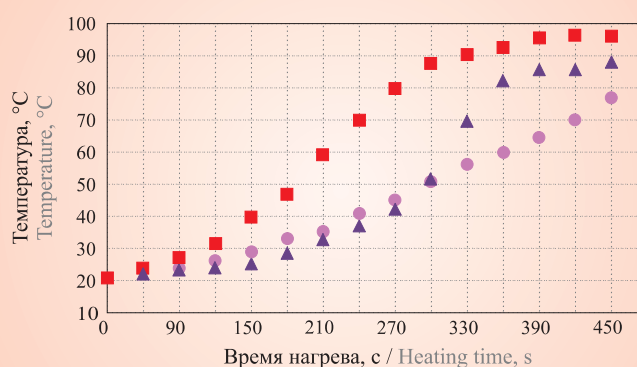
Результаты испытаний легкобрасываемых конструкций



Временной механизм воздействия ОФП на персонал АЭС

Стр. 5

Стр. 15



Огнетушащие свойства воды и гидрогелей с наноструктурами



Тушение ГЖ пеной из пленкообразующих пенообразователей

Стр. 31

Стр. 45

Стр. 56



Комбинированный метод тушения пожаров в высотных зданиях

КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

пожарная • промышленная • производственная • экологическая



FOUNDER —

"POZHNAUKA" Publishing House, Ltd.

Journal founded in 1992,
issued 12 times per year.

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

EDITORIAL STAFF:

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

Editorial director **Sokolova N. N.**

Editor **Krylova L. V.**

Address of Editorial Staff:

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

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

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

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

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

No part of this publication may be used or re-
produced in any form or by any means without
the prior permission of the Publishers. Repro-
ducing any part of this material a reference
to the journal is obligatory.

Authors and advertisers account for contents
of given papers and for publishing in the open
press.

Opinion of Editorial Staff not always coincides
with Author's opinion.

Signed for printing 15.08.2017.

Date of publication 25.08.2017.

Format is 60x84 1/8.

Printing is 2000 copies.

Chalk-overlay mat paper.

Offset printing.

Printed at "DIALOG", Ltd.

(Leningradskiy Avenue, 80, build. G,
Moscow, 125315, Russian).

EDITOR-IN-CHIEF:

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

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF:

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

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

EDITORIAL BOARD:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Ćirić 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)

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

С. А. ДОБРИКОВ, аспирант, Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева (Россия, 302026, г. Орел, ул. Комсомольская, 95; e-mail: dobrikov@yandex.ru)

Д. А. КУКИН, аспирант, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Институт комплексной безопасности в строительстве (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: dekuk07@mail.ru)

УДК 614.83;536.463

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ЛЕГКОСБРАСЫВАЕМЫХ КОНСТРУКЦИЙ

На испытательном стенде МГСУ были проведены первые в России приемочные испытания легко-сбрасываемых конструкций (сэндвич-панелей и стеклопакета). На основании анализа данных этих испытаний нами показано, что увеличение удельной массы ЛСК (с 9 до 25 кг/м²) приводит к ухудшению их свойств как средства обеспечения безопасности при взрыве в помещении по двум параметрам: повышению давления взрыва по сравнению с давлением сброса ЛСК (при испытаниях от 0,5 до 3,5 кПа) и увеличению времени ее сброса. Отмечено, что наши результаты на качественном уровне вполне согласуются с известными, полученными на моделях. Сделаны два вывода: правомерность использования результатов модельных опытов при расчетах характеристик реальных легкосбрасываемых конструкций сомнительна; на данном этапе исследований об эффективности ЛСК можно судить только по результатам ее испытаний в условиях, приближенных к реальным.

Ключевые слова: газовые взрывы; помещения; легкосбрасываемая конструкция (ЛСК); сэндвич-панели; стеклопакет; модельные испытания.

DOI: 10.18322/PVB.2017.26.08.5-14

Введение

В последние годы в строительной индустрии нашей страны широкое применение получили сэндвич-панели и стеклопакеты (далее — панели¹), обладающие в сравнении с другими строительными материалами малой удельной массой², составляющей обычно не более 50 кг/м². Эта особенность сделала весьма привлекательной идею использования их в качестве легкосбрасываемой конструкции (ЛСК) в зданиях и помещениях, где есть опасность газового взрыва. В то же время их удельная масса заметно больше, чем традиционных ЛСК — окон с одинарными стеклами, что вполне резонно ставит под сомнение правомерность такого решения.

В отечественных нормативных документах, которые так или иначе касаются этого вопроса [1–5], в ответ на запросы развивающейся строительной ин-

дустрии со временем была признана допустимость применения панелей в качестве ЛСК (далее — ЛСК-панель), при этом в стандартах (ГОСТ Р 56288–2014, ГОСТ Р 56289–2014) предварительно были оговорены условия, при которых это становится возможным.

Исходя из своего назначения, ЛСК-панели согласно российским нормативам [6] должны ограничивать давление при взрыве в зданиях и помещениях категорий А и Б по взрывоопасности 5 кПа (избыточных)³. Проектировщикам для обеспечения взрывоустойчивости здания или помещения полезно пользоваться разработанной специалистами Всероссийского научно-исследовательского института противопожарной обороны методикой расчета характеристик ЛСК-панели [7] или пособием Л. П. Пилюгина [8]. К сожалению, в этих публикациях нет экспериментальных материалов, которые можно было бы применять при анализе. Для более углубленного познания физического процесса целесооб-

¹ В зарубежной печати под этим термином подразумеваются также разрывные мембраны.

² Удельная масса панели — отношение ее массы к площади проема окна, измеряемое в кг/м².

³ По мнению ряда специалистов, данное значение давления явно завышено, а приемлемым является 3 кПа.

разно обратиться к диссертациям В. В. Молькова [9], В. В. Казеннова [10] и др. Отметим также, что в течение нескольких десятилетий остается актуальным вариант расчета площади остекления взрывоопасных помещений (в последние годы и ЛСК) по методике СНиПов [1–3].

Нормативы Европейского союза — BS EN 14994 [11], BS EN 14797 [12] и нормативы США — NFPA 68 [13] выделяют в качестве основной отличительной характеристики ЛСК-панелей их массу и классифицируют их по удельной массе (малая и большая). Так, например, в EN 14994 установлено граничное значение 10 кг/м^2 , а в NFPA 68 — $12,2 \text{ кг/м}^2$ для всех газов и 50 кг/м^2 — для бытовых. В случае если удельная масса не превышает граничных значений, предлагается вообще не учитывать инерционность панели; если же удельная масса больше граничного значения, надо вносить поправку, но только после экспериментальной проверки. В факультативном приложении приводится методика расчета параметров ЛСК-панели, напоминающая методику, описанную в работах наших авторов [7, 8]. Интересна позиция авторов NFPA 68 к своему труду, которая заключается в том, что они не несут ответственности за результаты применения их рекомендаций.

Целью настоящей работы является оценка обоснованности использования результатов модельных испытаний в расчетах характеристик реальных конструкций. Оценка основывалась на результатах поиска общей зависимости между результатами модельных и натурных испытаний.

Обзор опубликованных результатов экспериментальных исследований

Среди опубликованных материалов экспериментальных исследований по влиянию массы ЛСК на ее динамику представляют интерес NFPA 68, где приведены данные R. DeGood и K. Chatrathi [14], статьи J. R. Bakke [15], John L. Woodward [16], а также диссертации сотрудников НТЦ “Взрывоустойчивость” НИУ МГСУ А. А. Комарова [17], А. М. Шлега [18] и Н. В. Громова [19].

Исследования, результаты которых приведены в NFPA 68, получены на экспериментальной установке, которую можно отнести скорее к модельному типу, нежели к реальным или близким к ним объектам. Так, рабочий объем камеры составлял $V = 2,6 \text{ м}^3$, отношение длины к диаметру камеры — $L/d = 2/3$, площадь окна сброса — $S = 0,56 \text{ м}^2$. Во время опытов осуществлялся взрыв 5 %-ной смеси пропан — воздух. Результаты опытов приведены на рис. 1. Во всех опытах узлы крепления панели разрушались при статической нагрузке под давлением около 10 кПаи. Точки на рисунке представляют собой осредненные данные 25 опытов.

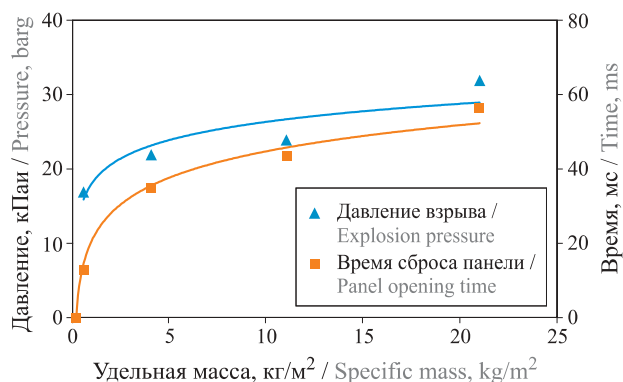


Рис. 1. Зависимость максимального давления взрыва и времени сброса панели от ее удельной массы

Fig. 1. Dependence of the maximum explosion pressure and the panel reset time from the specific mass of panel

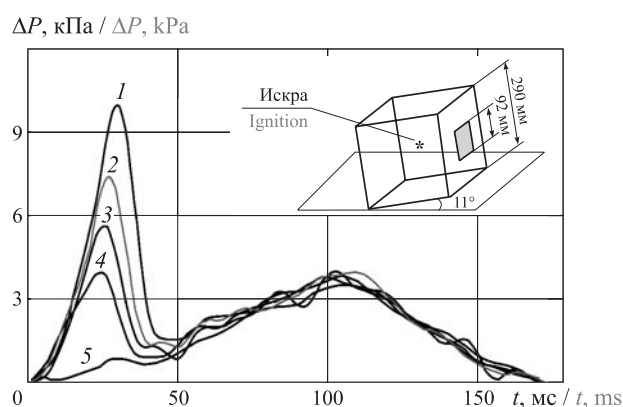


Рис. 2. Осциллограммы давления взрыва при разной массе ЛСК m (по данным А. А. Комарова [17]): 1 — 920 г; 2 — 512 г; 3 — 356 г; 4 — 237 г; 5 — 0 г (отверстие открыто)

Fig. 2. Oscillograms of the explosion pressure at different masses of the pressure-relief panels (data of A. A. Komarov [17]): 1 — 920 g; 2 — 512 g; 3 — 356 g; 4 — 237 g; 5 — 0 g (hole is opened)

Графики дополнены еще одной точкой: при массе ЛСК-панели, равной 0, время отклика панели также равно 0. Эта точка построена на основании умозрительных заключений. Конечно, в анализе было бы более корректно использовать непосредственные записи истории взрывов, но они не опубликованы. Вследствие этого невозможно понять способ определения “Vent Closure Response Time”, что в переводе означает “время отклика панели на давление” (разумеется, при разрушении узлов крепления) или просто “время сброса панели”.

На рис. 2 приведены полученные А. А. Комаровым [17] результаты исследования влияния массы ЛСК на развитие газового взрыва пропан-воздушной смеси при испытаниях в кубической камере с равными ребрами длиной 0,3 м и квадратным окном размером $0,92 \times 0,92 \text{ м}$. В этом эксперименте в качестве ЛСК использовались стальные пластины разной толщины и, естественно, разной массы. Пластины прижимались к окну под действием 20 % своего

веса, что достигалось за счет отклонения плоскости окна на 11° от вертикали.

Результаты опытов однозначно демонстрируют увеличение давления в камере при росте удельной массы пластин. Однако прямое сравнение этих данных и NFPA 68 невозможно в силу большой разницы в интервалах по важнейшим переменным (ρ ; $P_{\text{макс}}$), в которых проводились исследования (где ρ — удельная масса панели, кг/м^2 ; $P_{\text{макс}}$ — максимальное давление при сбросе панели, Па). Использование для этих целей координат (ρ ; $P_{\text{макс}}/P_{\text{раз}}$) (где $P_{\text{раз}}$ — давление, при котором происходит разрушение узлов крепления, Па) также приводит к большой разнице между значениями $P_{\text{макс}}$ и $P_{\text{раз}}$, которая достигает порядка. В то же время видно качественное совпадение результатов.

Интересно сравнение времен сброса панелей и пластин. Такое сравнение вполне возможно, так как корреляцию между временами, имеющими отношение к сбросу панели, хотя и определяемыми по различным вариантам, следует ожидать довольно высокой. На основании опытов А. А. Комарова за время сброса можно взять время существования импульса давления в процессе сброса пластины. Из сравнения данных, приведенных на графиках (см. рис. 1 и 2), видно, что времена сброса в опытах А. А. Комарова и Vent Closure Response Time в NFPA 68 имеют довольно близкие значения, но они относятся к разным интервалам по удельной массе. Тем не менее графики демонстрируют одинаковый характер влияния массы панели на время ее сброса: с увеличением массы растёт и время сброса.

Рабочая гипотеза

Отметим, что приведенные ниже результаты исследований относятся к разряду модельных. Безусловно, они весьма важны для понимания физики и механики процесса, хотя большую практическую ценность представляют опыты, проведенные на реальных объектах. При этом было бы интересно установить между ними связь и, возможно, зависимость, что могло бы послужить инструментом для замены дорогостоящих и трудоемких исследований в условиях, близких к реальным, модельными.

На пути реализации этой возможности стоит известная разница в развитии процессов газового взрыва в больших объемах (64 м^3) [14, 15] и в малых, таких, например, как указано выше. Пожалуй, самая важная разница между ними заключается в том, что в случае геометрически подобных объемов нарастание давления в больших объемах происходит медленнее, чем в малых, и, следовательно, давление на панель в первом случае будет меньше. А это, в свою очередь, ведет к более медленному сбросу панели. Но это упрощенный взгляд на процесс, на самом деле все сложнее.

Процесс развития взрыва со сбросом панели при “квазипостоянном” подходе не может быть описан одним уравнением в силу того, что процесс делится на три этапа, каждый из которых описывается характерным для него уравнением: первый — уравнением развития взрыва в замкнутом объеме; второй — уравнением развития взрыва в процессе выброса панели; третий — уравнением развития взрыва при открытом проеме. Это обстоятельство затрудняет переход к единым критериям, отражающим процесс на всем пути его развития.

Тем не менее в научной практике известны случаи описания в критериальной форме процесса по результатам испытаний даже тогда, когда не удается описать его аналитически. Поэтому вполне правомерна следующая постановка задачи: путем анализа результатов как модельных экспериментов, так и испытаний панелей в условиях, близких к реальным, выяснить возможность описания их связи в критериальной форме и тем самым дать возможность прогнозирования характеристик реальных панелей по результатам модельных испытаний.

Результаты испытаний панелей

Средства испытаний

Испытательный стенд. При испытаниях в Институте комплексной безопасности в строительстве при НИУ МГСУ использовалась взрывная камера размером $2000 \times 2000 \times 2000$ мм (по ГОСТ Р 56289–2014). Ее схема и закрепление на ней испытуемого образца сэндвич-панели приведены на рис. 3 и 4. Внутри этой камеры располагалась малая камера, в которую подавался пропан в объеме, достаточном для получения стехиометрической смеси с воздухом. Там же, в малой камере, размещен вентилятор для перемешивания газов и устройство воспламенения смеси. Для обеспечения замкнутости объема малой камеры в процессе приготовления смеси сторона, открытая и обращенная к сбросному окну взрывной камеры, представляет собой клапан многоразового действия. При взрыве клапан открывается, и газы из малой камеры поступают во взрывную, что приводит к повышению в ней давления. Рост давления обеспечивает разрушение узлов крепления панели и ее сброс.

Средства измерения. При испытании проводилось измерение двух важнейших параметров, характеризующих срабатывание узлов крепления легко-сбрасываемой панели: давления внутри взрывной камеры и времени начала движения панели. В состав системы измерения входили следующие устройства: датчики давления MPX5050GP; блок питания датчиков БП04Б-42; аналогово-цифровой преобразователь ЛА-20 USB (производства ЗАО “Руднев-Шилиев”); персональный компьютер.

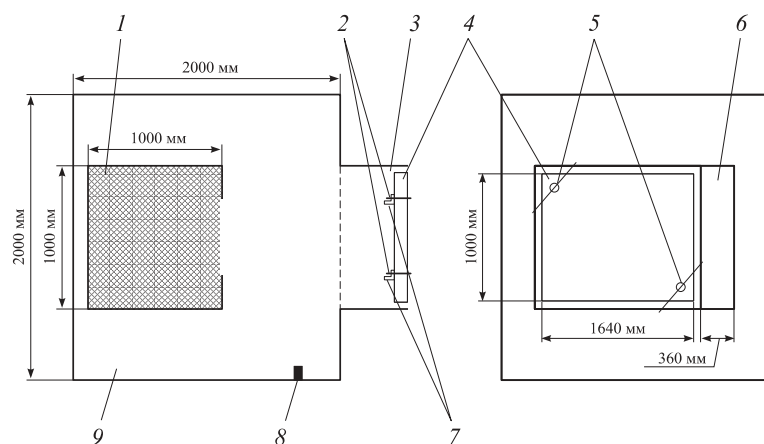


Рис. 3. Схема взрывной камеры и закрепление на ней испытуемого образца сэндвич-панели: 1 — камера для подготовки газовой смеси (малая камера); 2 — узел крепления панели; 3 — переходный объем; 4 — сэндвич-панель; 5 — датчики начала движения панели; 6 — входная дверь во взрывную камеру; 7 — уголок крепления на камеру; 8 — датчик давления; 9 — взрывная камера 2×2 м

Fig. 3. Diagram of the blasting chamber and fixing on it the test specimen of the sandwich panel: 1 — a chamber for a mixture of gases (small chamber); 2 — panel mounting; 3 — intermediate volume; 4 — sandwich panel; 5 — motion sensors; 6 — entrance door to the blasting chamber; 7 — mountings; 8 — pressure sensor; 9 — blasting chamber 2×2 m



Рис. 4. Общий вид взрывной камеры (а) и сэндвич-панель перед взрывом (б)

Fig. 4. General view of the blasting chamber (a) and sandwich panel before the explosion (b)

При обработке и конверсии аналогового сигнала использовались гарантированные заводами-изготовителями характеристики приборов и ПО для них, а при построении графиков — программа Excel 2016. Движение испытуемого образца фиксировалось видеокамерой Xiaomi Yi Sport Camera. Начало движения панели фиксировалось по разрушению контрольного провода (разрыву электроцепи) и по записям видеокамеры. Все элементы регистрации: запись на видеокамере, сигнал на взрыв, обрыв контрольного провода и показания датчика давления — были синхронизированы.

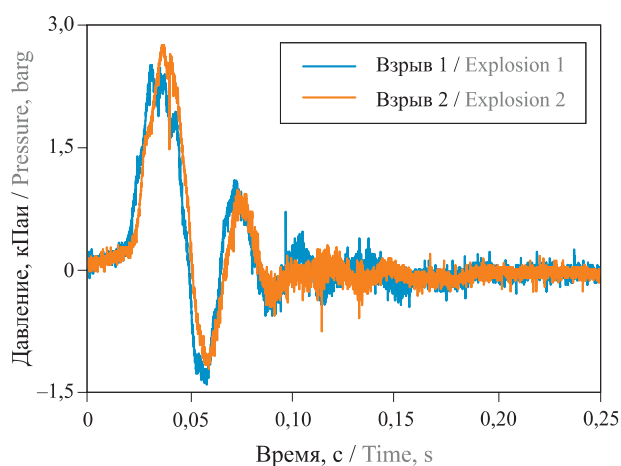


Рис. 5. Динамика давления при двух контрольных взрывах в открытой взрывной камере

Fig. 5. Dynamics of explosion pressure with an open blasting chamber

Контрольные опыты. В целях подтверждения воспроизводимости и достоверности результатов измерения, управляемости процесса организации взрыва перед испытаниями проводились контрольные взрывы при открытом сбросном окне взрывной камеры в отсутствие сэндвич-панели в окне. На рис. 5 приведены графики давлений при двух контрольных взрывах. Из них видно их практическое совпадение: давление достигает максимума через 0,04 с и равно 2,5 кПа (избыточных). Через 0,05 с с начала опыта давление внутри камеры начинает стремительно снижаться и в течение 0,025 с становится ниже атмосферного. Это явление известно и называется *имплозией*. Такой эффект получается из-за того, что выбрасываемый газ при своем движении с большой скоростью (в силу своей инерционности) “пробегает” положение равновесия сил (давления), после чего начинается обратное течение его в камеру. В результате возникают затухающие колебания с частотой Гельмгольца.

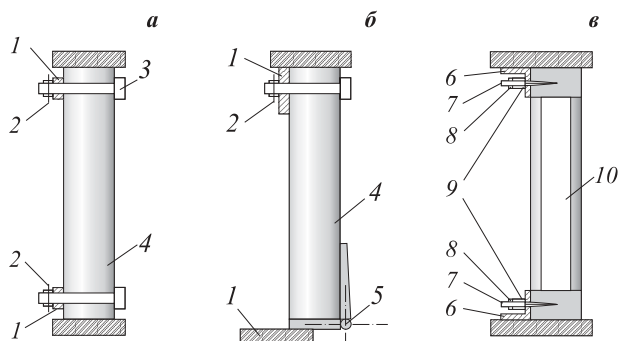


Рис. 6. Схемы испытуемых образцов: *a* — панель № 1; *b* — панель № 2; *v* — стеклопакет; 1 — корпус камеры; 2 — разрушающаяся проволока; 3 — сдвигающийся болт; 4 — панель; 5 — петля; 6 — уголок крепления; 7 — саморез-шпилька; 8 — фторопластовая шайба; 9 — направляющая втулка; 10 — стеклопакет

Fig. 6. Schemes of tested samples: *a* — panel No. 1; *b* — panel No. 2; *v* — double-glazed windows; 1 — chamber body; 2 — collapsing wire; 3 — sliding bolt; 4 — panel; 5 — loop; 6 — area attachment; 7 — screw stud; 8 — PTFE washer; 9 — guide bush; 10 — glass

Испытание сэндвич-панели № 1

Характеристика образца. Панель № 1 (рис. 6, *a*) состояла из стальных листов (облицовок) толщиной 0,8 мм, внутри которых расположена теплоизоляция (утеплитель) на основе минеральной ваты. Наружная сторона листов покрыта полимерным материалом белого цвета. Размеры панели составляли 1640×1000 мм, толщина — 100 мм, масса — 30,4 кг. Панель устанавливалась вертикально в проеме взрывной камеры. Четыре узла крепления, раз-

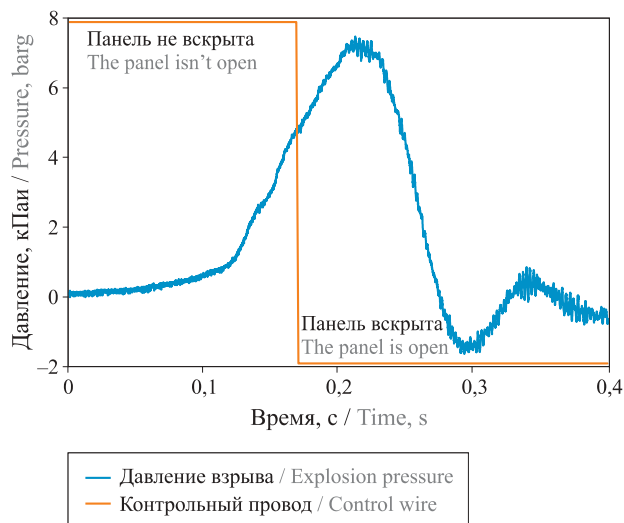


Рис. 8. Динамика давления во взрывной камере и обрыв контрольного провода на панели № 1

Fig. 8. Dynamics of pressure in the blasting chamber and breakage of the control wire on the panel No. 1

рушающиеся при взрыве, расположены на расстоянии 60 мм от краев панели. В случае взрыва внутри помещения начиналось движение панели, а вместе с ней сдвигался болт относительно втулки, срезая проволоку (см. рис. 3). Усилие среза проволоки в восьми местах представляет собой то препятствие, которое давление взрыва должно преодолеть. Расчетное давление разрушения узлов крепления — 5 кПаи.

Результаты испытания панели № 1. На рис. 7 приведены кадры видеозаписи движения панели в



Рис. 7. Видеокадры выброса сэндвич-панели № 1 при взрыве

Fig. 7. Video frames of the emission of sandwich panel No. 1 during the explosion

процессе взрыва. Панель отрывалась во всех четырех узлах крепления практически одновременно, и в начальной стадии движения находилась в положении, близком к вертикальному. После сигнала “взрыв” давление в закрытой камере начинало расти (рис. 8). По достижении значения 4,6 кПаи происходил обрыв контрольной проволоки, сигнализирующий о начале движения панели. На рис. 8 этот момент обозначен вертикальной линией, пересекающей график давления. После начала движения панели давление в камере продолжало расти и достигло 7,5 кПаи. При спаде давления имела место имплозия с отрицательным давлением 1 кПаи и затухающие колебания давления.

Испытание сэндвич-панели № 2

Характеристика образца. Панель № 2 (рис. 6,б) отличалась от панели № 1 тем, что ее толщина составляла 70 мм, а масса — 18 кг. Она закреплялась вертикально в проеме взрывной камеры с помощью двух петель в ее нижней части. Разрушающийся узел располагался по центру в верхней части панели на расстоянии 100 мм от ее края; ее основной элемент представлял собой стальную проволоку, работающую на растяжение.

Результаты испытания приведены на рис. 9. Узел разрушился, и панель начала движение при давлении 4,2 кПаи, вращаясь на петлях. Давление после начала движения еще в течение 0,02 с продолжало

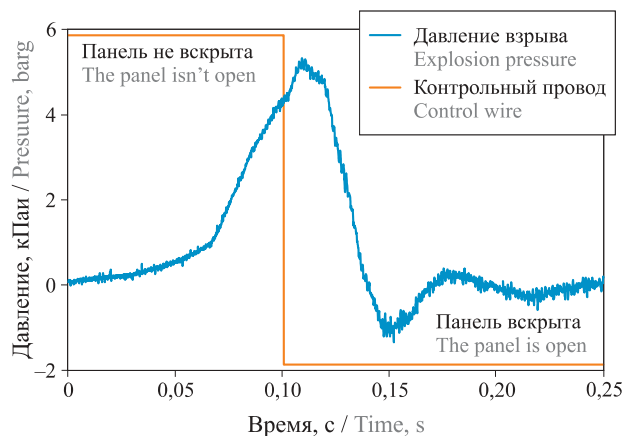


Рис. 9. Динамика развития давления при взрыве панели № 2
Fig. 9. Dynamics of explosion pressure of panel No. 2

нарастать и достигло 5,2 кПаи. Имела место имплозия с давлением 1 кПаи в течение 0,02 с.

Испытание стеклопакета

Характеристика стеклопакета. Испытанию был подвергнут однокамерный стеклопакет (рис. 6,в), который состоял из двух стекол толщиной 6 мм, разделенных между собой по периметру дистанционной рамкой из алюминия толщиной 12 мм; полость между стеклами заполнена абсорбентом. По периметру полость защищена двойным слоем герметика. Размеры стеклопакета 1640×1000 мм, общая толщина 25 мм. Масса стеклопакета 50 кг.



Рис. 10. Раскадровка взрыва в опытах со стеклопакетом

Fig. 10. Images of the video recording of the explosion with double-glazed windows

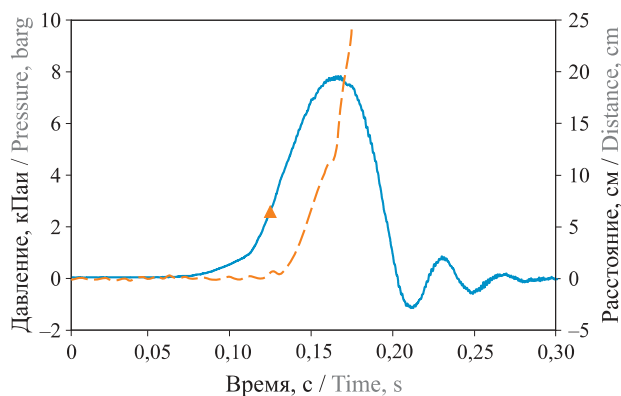


Рис. 11. Процесс развития давления (—) и перемещение стеклопакета (---): ▲ — момент открытия окна на видеосъемке

Fig. 11. Pressure development process (—) and movement of the double-glazed window (---): ▲ — video data of the opening of the window

Результаты испытания стеклопакета. Система измерения дополнена датчиком перемещения потенциометрического типа⁴. Из его показаний видно, что движение стеклопакета началось при давлении 4 кПаи и ускорялось все время, пока в камере сохранялось избыточное давление. Максимальное давление при взрыве составляло 7,9 кПаи. Имела место имплозия 1 кПаи. Кадры взрыва стеклопакета представлены на рис. 10. Нуль на графике давления на рис. 11 совмещен с началом заметного роста давления в камере.

Анализ полученных данных

Данные, полученные при испытаниях ЛСК, сведены в график на рис. 12, который вместе с описанием проведенных опытов дает достаточно полное представление об их результатах. Они, как и опубликованные данные, подтверждают на качественном уровне тезис о том, что увеличение массы ЛСК приводит к ухудшению ее качества как средства защиты.

В нашем случае за время сброса панели принято время положительной части импульса давления, начиная с момента начала движения панели. Полученный вид зависимости имеет вполне ожидаемый вид: увеличение массы панели приводит к росту времени ее сброса. Однако к этому надо отнестись, как к качественному утверждению, хотя этот результат весьма близок к результатам НТЦ и NFPA 68, если, как в работе А. А. Комарова [17], судить о времени сброса панели по длительности первого пика давления (см. рис. 2).

⁴ Показания датчика перемещения после 15 см оказались некорректными по конструктивным причинам.

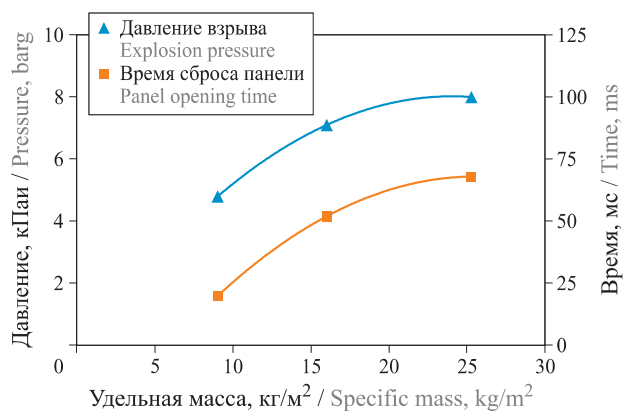


Рис. 12. Результаты опытов по сбросу ЛСК

Fig. 12. Results of experiments of pressure-relief panels

Попытка свести опубликованные (см. рис. 1 и 2) и полученные нами данные в единый график не удалась, да она и не могла быть реализована из-за того, что эксперименты проводились при различных исходных условиях. Но это и понятно, так как, к сожалению, до сих пор не разработаны убедительные варианты критериальной формы уравнений, описывающих в самой общей постановке развитие взрыва при сбросе панели. Например, использованный в работах НТЦ “Взрывоустойчивость” критерий, отражающий инерционность панели, на самом деле по информативности не превышает известный показатель “удельная масса”, использованный нами при построении графика на рис. 1 и 12.

Пока возможны только два пути развития исследований по изучаемому вопросу: первый — увеличение банка данных по результатам экспериментальных работ, второй — разработка адекватной математической модели процесса на численных принципах типа *CFD*. Полученные нами результаты относятся к первому пути.

Заключение

Проведенные испытания выявили качественное сходство с результатами модельных. Однако в количественном плане попытка объединить рассмотренные данные одной зависимостью не увенчалась успехом по двум возможным причинам: во-первых, условия проведения всех известных экспериментов были существенно разными, и, во-вторых, использованные параметры для сравнения данных в этом случае оказались неэффективными. Это обстоятельство не дает пока возможности прогнозировать характеристики реальных легкобрасываемых конструкций на основании результатов модельных испытаний, что делает необходимым проверку характеристик панелей, используемых в качестве ЛСК, в каждом конкретном случае в условиях, близких к реальным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 89.13330.2012. Котельные установки. Актуализированная ред. СНиП II-35-76. — Введ. 01.01.2013. — М. : ООО “Аналитик”, 2013.
2. СП 112.13330.2011. Пожарная безопасность зданий и сооружений. — Введ. 01.01.1998. — М. : ГУП ЦПП, 2002. URL: <http://docs.cntd.ru/document/871001022> (дата обращения: 20.05.2017).
3. СП 56.13330.2011. Производственные здания. Актуализированная ред. СНиП 31-03-2001. — Введ. 20.05.2011. — М. : Минрегион России, 2011. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200085105> (дата обращения: 20.05.2017).
4. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ (в ред. от 03.07.2016). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения: 20.05.2017).
5. СП 4.13130.2013. Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям. — Введ. 24.06.2013. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2013. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200101593> (дата обращения: 20.05.2017).
6. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. — Введ. 01.05.2009. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200071156> (дата обращения: 20.05.2017).
7. Гордиенко Д. М., Лагозин А. Ю., Мордвинова А. В., Некрасов В. П., Сычев А. Н. Расчет параметров легкосбрасываемых конструкций для взрывопожароопасных помещений промышленных объектов : рекомендации. — М. : ВНИИПО, 2015. — 48 с.
8. Пилюгин Л. П. Обеспечение взрывоустойчивости зданий с помощью предохранительных конструкций. — М. : Пожнаука, 2000. — 224 с.
9. Мольков В. В. Вентилирование газовой дефлаграции : дис. ... д-ра техн. наук. — М. : ВНИИПО, 1996. — 703 с.
10. Казеннов В. В. Динамические процессы дефлаграционного горения во взрывоопасных зданиях и помещениях : дис. ... д-ра техн. наук. — М. : ВНИИПО, 1997. — 445 с.
11. BS EN 14994:2007. Gas explosion venting protective systems. — London : BSI, 2007. URL: <http://iepi.neu.edu.cn/Download/Standards/CEN/EN%2014994%202007%20Gas%20explosion%20venting%20protective%20systems.pdf> (дата обращения: 25.05.2017).
12. BS EN 14797:2006. Explosion venting devices. — London : BSI, 2006.
13. NFPA 68:2007. Standard on explosion protection by deflagration venting. — USA, Quincy : National Fire Protection Association, 2007.
14. DeGood R., Chatrathi K. Comparative analysis of test work studying factors influencing pressures developed in vented deflagrations // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. — 1991. — Vol. 4, Issue 5. — P. 297–304. DOI: 10.1016/0950-4230(91)80043-t.
15. Bakke J. R., Skogrand P. E. Explosion relief panels and their effect on gas explosion overpressure // 23rd International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering. — 2004. — Vol. 2. — P. 1–8. DOI: 10.1115/OMAE2004-51005.
16. Woodward John L., Wesevich James W., Thomas J. Kelly, Baker Quentin A. Analysis of ethylene oxide gas house explosion // Process Safety Progress. — 2007. — Vol. 26, Issue 2. — P. 150–154. DOI: 10.1002/prs.10187.
17. Комаров А. А. Прогнозирование нагрузок от аварийных дефлаграционных взрывов и оценка последствий их воздействия на здания и сооружения : дис. ... д-ра техн. наук. — М. : МГСУ, 2001. — 492 с.
18. Шлег А. М. Определение параметров легкосбрасываемых конструкций, обеспечивающих допустимые взрывные давления во взрывоопасных помещениях : дис. ... канд. техн. наук. — М. : МГСУ, 2002. — 187 с.
19. Громов Н. В. Совершенствование технической системы обеспечения взрывоустойчивости зданий различного типа при взрывах газопаровоздушных смесей : дис. ... канд. техн. наук. — М. : МГСУ, 2007. — 134 с.

Материал поступил в редакцию 22 июня 2017 г.

Для цитирования: Поландов Ю. Х., Добриков С. А., Кукин Д. А. Результаты испытаний легкосбрасываемых конструкций // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2017. — Т. 26, № 8. — С. 5–14. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.08.5-14.

RESULTS OF TESTS PRESSURE-RELIEF PANELS

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

DOBRIKOV S. A., Postgraduate Student, Orel State University named after I. S. Turgenev (Komsomolskaya St., 95, Orel, 302026, Russian Federation; e-mail: dobrikov@yandex.ru)

KUKIN D. A., Postgraduate Student, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Institute of Integrated Safety in Construction (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail: dekuk07@mail.ru)

ABSTRACT

Nowadays the characteristics of the serial pressure-relief panels used to limit the pressure of gas explosions in the room are calculated from the results obtained in the model experiments. These data are available in well-known publications such as NFPA 68 (USA), and a series of works by researchers from the Moscow State University of Economics and Management. The papers state that an increase in the specific mass of panels in a gas explosion in a room leads to an increase in the time of their discharge and an increase in the maximum pressure value. On this basis practical recommendations containing quantitative parameters are given. However, the validity of using the results of model experiments for real structures has not been confirmed.

The purpose of our work is to evaluate the validity of using the results of model tests in calculations of characteristics of real structures. The assessment was based on the results of a search for a general relationship between the results of model and full-scale tests.

The search for dependence was carried out among the published data obtained on the models, and the results of our full-scale tests. The results of full-scale tests were obtained during testing of serial panels in a cubic-shaped explosive chamber with a volume of 10 m^3 , with a discharge area of 2 m^2 . A propane-air mixture was used, ignition was carried out at the center of the chamber. It was found that an increase in the specific gravity of the panel from 9 to 25 kg/m^2 leads to an increase in the explosion pressure in the room by a value between 0.5 and 3.5 kPa, in comparison with the pressure at which the area attachment collapse. The reset time of the panel also increases from 10 to 50 milliseconds.

Our data are in good agreement with the known model data, but only at a qualitative level. The attempt to combine the data of model and full-scale tests by one dependence was unsuccessful because the known similarity criteria developed for the explosion process in this case proved to be ineffective. Two conclusions were drawn:

- it is doubtful to use the results of model experiments in calculating the characteristics of real lightweight structures;
- at this stage of research, the effectiveness of LCS can be assessed only by the results of its tests under conditions close to real.

Keywords: deflagration venting; rooms; pressure-relief panels; sandwich panels; double-glazed windows; acceptance tests.

REFERENCES

1. Set of rules 89.13330.2012. *Combustion boiler systems of heating generation*. Moscow, Analitik Publ., 2013 (in Russian).
2. Set of rules 112.13330.2011. *Fire safety of buildings and works*. Moscow, SUE Centre of Construction Design Products, 2002 (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/871001022> (Accessed 20 May 2017).
3. Set of rules 56.13330.2011. *Production buildings*. Moscow, Ministry of Regional Development, 2011 (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200085105> (Accessed 20 May 2017).
4. *Technical regulations for fire safety requirements*. Federal Law on 22.07.2008 No. 123 (ed. 03.07.2016) (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (Accessed 20 May 2017).

5. Set of rules 4.13130.2013. *Systems of fire protection. Restriction of fire spread at object of defense. Requirements to special layout and structural decisions*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2013 (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200101593> (Accessed 20 May 2017).
6. Set of rules 12.13130.2009. *Determination of categories of rooms, buildings and external installations on explosion and fire hazard*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2009 (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200071156> (Accessed 20 May 2017).
7. Gordienko D. M., Lagozin A. Yu., Mordvinova A. V., Nekrasov V. P., Sychev A. N. *Raschet parametrov legkosbrasyvayemykh konstruktsiy dlya vzryvopozharoopasnykh pomeshcheniy promyshlennykh obyektoy. Rekomendatsii* [Calculation of the parameters of pressure-relief panels for explosive industrial premises. Recommendations]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2015. 48 p. (in Russian).
8. Pilyugin L. P. *Obespecheniye vzryvoustoychivosti zdaniy s pomoshchyu predokhranitelnykh konstruktsiy* [Provision of explosion-proof buildings with the help of safety structures]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2000. 224 p. (in Russian).
9. Molkov V. V. *Ventilation of gas deflagration*. Dr. tech. sci. diss. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 1996. 703 p. (in Russian).
10. Kazennov V. V. *Dynamic processes of deflagration combustion in explosive buildings and premises*. Dr. tech. sci. diss. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 1997. 445 p. (in Russian).
11. BS EN 14994:2007. *Gas explosion venting protective systems*. London, BSI, 2007. Available at: <http://iepi.neu.edu.cn/Download/Standards/CEN/EN%2014994%202007%20Gas%20explosion%20venting%20protective%20systems.pdf> (Accessed 25 May 2017).
12. BS EN 14797:2006. *Explosion venting devices*. London, BSI, 2007.
13. NFPA 68:2007. *Standard on explosion protection by deflagration venting*. USA, Quincy, National Fire Protection Association, 2007.
14. DeGood R., Chatrathi K. Comparative analysis of test work studying factors influencing pressures developed in vented deflagrations. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 1991, vol. 4., issue 5, pp. 297–304. DOI: 10.1016/0950-4230(91)80043-t.
15. Bakke J. R., Skogrand P. E. Explosion relief panels and their effect on gas explosion overpressure. In: *23rd International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, 2004, vol. 2, pp. 1–8. DOI: 10.1115/OMAE2004-51005.
16. Woodward John L., Wesevich James W., Thomas J. Kelly, Baker Quentin A. Analysis of ethylene oxide gas house explosion. *Process Safety Progress*, 2007, vol. 26, issue 2, pp. 150–154. DOI: 10.1002/prs.10187.
17. Komarov A. A. *Prediction of loads from emergency deflagration explosions and evaluation of the consequences of their impact on buildings and structures*. Dr. tech. sci. diss. Moscow, MGSU Publ., 2001. 492 p. (in Russian).
18. Shleg A. M. *Determination of the parameters of light-weighted structures ensuring permissible explosive pressures in explosive areas*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, MGSU Publ., 2002. 187 p. (in Russian).
19. Gromov N. V. *Improvement of the technical system for ensuring the explosion resistance of buildings of various types in explosions of gas – air – air mixtures*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, MGSU Publ., 2007. 134 p. (in Russian).

For citation: Polandov Yu. Kh., Dobrikov S. A., Kukin D. A. Results of tests pressure-relief panels. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 8, pp. 5–14 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.08.5-14.

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

О. С. ЛЕБЕДЧЕНКО, канд. юрид. наук, доцент, доцент кафедры инженерной теплофизики и гидравлики, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: ol-26@mail.ru)

А. Д. ИЩЕНКО, канд. техн. наук, начальник Учебно-научного комплекса пожаротушения, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: adinko@mail.ru)

И. С. ФОГИЛЕВ, заместитель начальника Института развития, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: galich_ivan@mail.ru)

УДК 614.89

ВРЕМЕННОЙ МЕХАНИЗМ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ ПОЖАРА НА ПЕРСОНАЛ АЭС И КОМПЛЕКСНАЯ ЗАЩИТА ОТ НИХ

Проведен анализ пожаров на объектах атомной энергетики. С помощью расчетно-аналитических исследований динамики пожаров для типовых помещений АЭС определены критические времена достижения опасными факторами пожара критических значений для людей на уровне рабочей зоны. Дан анализ прибытия пожарных подразделений по охране АЭС на территорию станций при пожарах. Рассмотрен перечень средств защиты и технического оснащения оперативного персонала щитов управления АЭС. Разработаны мероприятия по комплексной защите оперативного персонала АЭС, проводящего специальные работы по выработке электрической энергии при пожарах в условиях воздействия опасных факторов. Проведены комплексные испытания технических средств для обеспечения действий оперативного персонала при пожаре с использованием учебно-тренировочных комплексов.

Ключевые слова: пожар; атомная электростанция; опасные факторы пожара; оперативный персонал АЭС; непригодная для дыхания среда; средства защиты.

DOI: 10.18322/PVB.2017.26.08.15-24

Введение

Согласно прогнозу развития энергетики в мире в целом и в России в частности до 2040 г. атомная энергетика в период с 2010 по 2040 гг. будет занимать третье место в мире по темпам прироста ее потребления после возобновляемых источников энергии и газа, причем в силу многих причин практически весь рост придется на развивающиеся страны, в то время как в развитых странах в основном будет идти замена энергоблоков АЭС из-за истечения проектных сроков эксплуатации [1].

За этот период должны быть выведены из эксплуатации более 60 % эксплуатируемых в настоящее время энергоблоков. Средний возраст действующих реакторов составляет 28,5 лет. Самым старым является реактор в Швейцарии, который функционирует в течение 45 лет.

Длительная эксплуатация технологического оборудования в процессе выработки электрической энергии в определенных случаях может стать при-

чиной пожара на АЭС. Необходимо также отметить, что пожарная нагрузка в помещениях АЭС достаточно велика. На основных производствах используется большое количество горючих веществ, газов и жидкостей (только в машинном зале находится свыше 100 т машинного масла, огромное количество кабельных систем и пр.) [2]. Высокая энергонасыщенность технологического процесса обуславливает наличие большого количества источников зажигания. Все это свидетельствует о чрезвычайно высокой вероятности возникновения пожаров и аварий на АЭС. Развившиеся пожары на АЭС сопровождаются множеством одновременных отказов систем автоматики, технологического оборудования и систем безопасности.

Приведем только некоторые из тяжелых пожаров и аварий на атомных электростанциях:

- 1957 г. — пожар на уран-графитовом исследовательском реакторе в Уиндскайле (Великобритания); погибло 13 чел.;

- 1975 г. — пожар на АЭС “Браунс Ферри” (США);
- 1978 г. — пожар на Белоярской АЭС;
- 1981 г. — пожар на АЭС “Сан-Онофре” (США);
- 1982 г. — пожар на Армянской АЭС;
- 1984 г. — взрыв водорода в системе охлаждения турбогенератора с последующим пожаром на АЭС “Ранчо Секо” (США);
- 1985 г. — пожар на АЭС “Мааньшань” (о. Тайвань);
- 1986 г. — взрыв с последующим пожаром на Чернобыльской АЭС. Погибло 30 чел., госпитализировано свыше 200 чел., эвакуировано 115 тыс. чел. Радиоактивному заражению подверглась территория в радиусе более 2 тыс. км;
- 1986 г. — второй пожар на Чернобыльской АЭС;
- 1988 г. — пожар на Игналинской АЭС;
- 1989 г. — взрыв с последующим пожаром на АЭС в Вандельосе (Испания).

Второе тысячелетие отмечено крупнейшей аварией на японской атомной станции “Фукусима” в 2011 г. [3], масштабы которой сравнимы с Чернобыльской катастрофой.

В отдельных случаях при пожарах наблюдалась потеря контроля работы реакторной установки (РУ) и ее управления.

Согласно статистическим данным [4] и в настоящее время на АЭС нередко возникают загорания и пожары (табл. 1).

Анализ пожаров, происшедших на АЭС, показывает, что наиболее часто они возникают в машинных залах, реакторных отделениях, открытых распределительных устройствах и деаэрационных этажерках. Спецификой возникновения пожаров на АЭС является то, что они могут быть как исходным событием в развитии проектной или тяжелой аварии, так и последующим событием, инициированным аварией [5].

Вопросами моделирования развития пожара и его последствий на объектах ядерной энергетики занималось большое число специалистов различных научно-исследовательских организаций (А. К. Микеев, Н. П. Копылов, И. А. Болодьян, А. Н. Баратов, Ю. А. Кошмаров, Д. И. Пуцев и др.).

По их оценкам пожары могут реально угрожать радиационной и ядерной безопасности. Из выполненных работ по вероятностному анализу безопасности атомных станций следует, что доля риска в общем значении вероятности повреждения активной зоны реактора, приходящаяся на пожары, может достигать половины. Таким образом, вклад пожаров в частоту повреждения активной зоны может находиться на уровне вклада всех других внутренних причин, вместе взятых.

Необходимо отметить, что на оперативный персонал АЭС, работающий в круглосуточном сменном режиме, в случае пожара возлагаются первоначальные действия по ликвидации пожара до прибытия

Таблица 1. Пожары и аварии, происшедшие на АЭС в РФ в 2012–2015 гг.

Table 1. Fires and accidents at nuclear power plants (NPP) in Russia in 2012–2015

Дата аварии Date of accident	Местоположение Location	Краткое описание Short description
06.07.2012	Белоярская АЭС Beloyarsk NPP	Возгорание опалубки на строительной площадке главного корпуса 4-го энергоблока The formwork fire occurred on the construction site of the main building of the fourth power unit
07.09.2012	Ростовская АЭС Rostov NPP	Пожар на строящемся блоке АЭС. Площадь возгорания 350 м ² Fire on the building of the NPP. The area of ignition was 350 sq. m
16.08.2013	Нововоронежская АЭС-2 Novovoronezhskaya NPP-2	Возгорание на стройплощадке АЭС-2 на площади 150 м ² There was a fire on the construction site of NPP-2 on an area of 150 sq. m
25.11.2013	Калининская АЭС Kalinin NPP	Возгорание теплоизоляционного материала при проведении работ по восстановлению участка кровли трубопроводного коридора энергоблока № 1 When carrying out restoration roof portion corridor pipeline unit No. 1 caught fire insulation material
20.03.2014	Курская АЭС Kursk NPP	Задымление в одном из вспомогательных помещений электрического цеха на 3-м энергоблоке АЭС Smoke occurred at one of the ancillary facilities of the electric plant at the third unit the plant
09.02.2015	Ростовская АЭС Rostov NPP	Возгорание водорода на дренажном вентиле в районе расположения газового корпуса Ростовской АЭС Hydrogen on the drainage valve caught fire in the area of the gas building of the Rostov NPP

объектовых подразделений пожарной охраны. В связи с этим повышение уровня защищенности персонала АЭС при пожарах является одним из факторов, способствующих обеспечению безопасности атомной энергетики в целом.

Воздействие таких опасных факторов пожара (ОФП), как пламя, искры, тепловой поток, повышенная температура окружающей среды, повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения, пониженная концентрация кислорода, снижение видимости в дыму, может привести к травмированию и гибели персонала АЭС, осуществляющего круглосуточную сменную работу по выработке электрической энергии.

Методы прогнозирования динамики развития ОФП для производственных объектов изложены в нормативных документах МЧС России по пожарной безопасности [6, 7], что в настоящее время позволяет использовать их при решении ряда практических задач. Работы по моделированию реальных трехмерных процессов при пожарах проводятся в России, Австралии, Англии, США и ряде других стран [8, 9].

Целью настоящей работы является оценка воздействия ОФП на персонал АЭС и разработка комплексной защиты от них. Для достижения поставленной цели необходимо:

- спрогнозировать динамику развития пожара в типовых помещениях АЭС и определить время наступления предельных значений (величин) ОФП для персонала на уровне рабочей зоны;
- провести анализ прибытия подразделений Федеральной противопожарной службы (ФПС) МЧС России по охране АЭС к месту вызова и определить временные показатели;
- провести анализ возможности действий персонала при пожаре с использованием имеющихся технических средств;
- разработать комплексную защиту оперативного персонала АЭС при выполнении работ в случае возникновения пожара.

Воздействие ОФП на оперативный персонал АЭС

Расчетно-аналитические исследования динамики развития пожаров для типовых помещений, зданий и технологических установок АЭС выявили критические времена достижения опасными факторами пожара критических для людей значений на уровне рабочей зоны и время блокирования ими эвакуационных выходов в помещениях и зданиях станций [10].

Основным ОФП, при котором персонал не может продолжать работу в помещениях и зданиях АЭС, является потеря видимости. Так, на резервном пункте управления (РПУ) критический временной пока-

затель составляет порядка 41 с, в помещении блочного пункта управления (БПУ) — 59 с, в реакторном здании — 76 с. Из представленных данных можно сделать вывод о необходимости срочной эвакуации персонала, не имеющего специальных технических средств и средств защиты.

Следующий блок ОФП объединяет следующие критические временные показатели:

- по пониженному содержанию кислорода (O_2): на РПУ — около 116 с, на БПУ — 169 с, в реакторном здании — 290 с;
- по повышенному содержанию CO : на РПУ — порядка 144 с, на БПУ — 215 с, в реакторном здании — 262 с;
- по повышенному содержанию HCl : на РПУ — примерно 67 с, на БПУ — 97 с, в реакторном здании — 124 с.

Расчеты, выполненные применительно к развитию пожара в машинном зале АЭС, показали, что предельно допустимые концентрации токсичных веществ на путях эвакуации и в местах пребывания оперативного персонала оказываются превышенными через 50 с после возникновения пожара [11–13].

Персонал АЭС, обеспеченный фильтрующими средствами защиты органов дыхания, не может работать в условиях воздействия данных ОФП и должен покинуть помещения (здания) АЭС. В этих условиях выполнять свою работу может только тот персонал, который обеспечен дыхательными аппаратами со сжатым воздухом (ДАСВ).

По повышенной температуре критический временной показатель на РПУ составит порядка 101 с, на БПУ — 144 с, в реакторном здании — 157 с. В условиях воздействия данного ОФП персонал АЭС может работать только в специальных средствах защиты тела человека.

Критические показатели ОФП получены в результате расчета с использованием полевого математического метода прогнозирования [14].

Таким образом, расчеты динамики пожаров и анализ возможных вариантов их развития в помещениях и зданиях АЭС показали, что основными опасными факторами, влияющими на безопасность человека, являются снижение видимости в дыму и пониженная концентрация кислорода. На этот случай при возникновении пожара (аварии) персонал АЭС обеспечивается индивидуальными самоспасателями, с помощью которых проводится эвакуация людей из помещений станции в безопасную зону. Согласно расчетам эвакуация персонала из помещений АЭС должна быть проведена уже через 30 с с момента возникновения пожара.

По представленным АЭС данным в зависимости от типа реактора время вывода реакторной установки в подкритическое состояние и ее безопасного останова может достигать 4 ч. В течение этого времени

значения опасных факторов пожара будут неуклонно расти: будет повышаться температура, понижаться концентрация кислорода и выделяться большое количество токсичных веществ. При отсутствии возможности покинуть помещения щита управления (ЩУ), БПУ, РПУ и др. в случае возникновения пожара оперативный персонал должен иметь комплексную защиту при выполнении работ в условиях воздействия ОФП.

Порядок прибытия объектовых пожарных подразделений к месту вызова (пожара) на АЭС

Анализ следования объектовых подразделений ФПС по охране АЭС к месту вызова (пожара) на территории АЭС показал, что позднее обнаружение пожара, несвоевременный вызов пожарных подраз-

делений, задержка срабатывания автоматических средств пропуска на территорию АЭС приводят к увеличению времени их прибытия с 2 до 35 мин (табл. 2).

Важно отметить, что до прибытия пожарных подразделений оперативный персонал действует согласно утвержденной на АЭС инструкции, при этом существует необходимость сбора информации о возникшем пожаре (загорании), об эвакуации персонала, а также о проведении технологических переключений (отключений) оборудования. Вместе с тем при неразвившемся пожаре оперативный персонал принимает посильные меры по его тушению первичными средствами пожаротушения.

Исследования динамики развития пожара на блочный щит управления (БЩУ) 3-го энергоблока Кольской АЭС в рамках проведения работ по повы-

Таблица 2. Прибытие подразделений ФПС ГПС к месту вызова
Table 2. Arrival of fire brigade units to the place of call

АЭС NPP	Объектовое подразделение ФПС ГПС Fire unit	Объект защиты АЭС The object of NPP protection	Дата Date	Расстояние от ПЧ до КПП, км Distance to NPP, km	Время следования, мин Time to follow, min
Смоленская (САЭС) Smolensk NPP	ПСЧ-1 Fire-saving part No. 1	Склад дизельного топлива Diesel storage	31.10.2012	0,15	2
		Помещение 220/11 Premise 220/11	22.04.2013	0,15	2
		Помещение 301/1 Premise 301/1	05.03.2014	0,15	2
Курская (КуАЭС) Kursk NPP	ПСЧ-8 Fire-saving part No. 8	Цех ТАИ, помещение 353 Shop TAI, premise 353	22.01.2013	0,1	5
		Помещение 136/1 реакторного цеха Premise 136/1 reactor shop	04.04.2014	0,1	5
		Помещение 114/1 реакторного цеха Premise 114/1 reactor shop	07.04.2014	0,1	5
		Силовая сборка 17001Н КРУ 0,4 кВ, помещение 103/1 блока ВСРО Premise 103/1	20.03.2014	0,8	20*
Белоярская (БелАЭС) Beloyarsk NPP	ПСЧ-35 Fire-saving part No. 35	Крыша деаэрационной этажерки реактора БН-600 Roof of deaerator reactor BN-600	27.06.2013	1	35**
Ростовская (РСТАЭС) Rostov NPP	ПСЧ-37 Fire-saving part No. 37	Открытая площадка ресиверов водорода, азота Open area of hydrogen and nitrogen tanks	09.02.2015	0,2	16***
Калининская (КЛНАЭС) Kalinin NPP	ПСЧ-8 Fire-saving part No. 8	Фаза В шунтирующего реактора Р-1-750 The B phase of the shunt reactor P-1-750	23.07.2010	0,5	4

* Сообщение о пожаре поступило в ПСЧ-8 только через 6 мин после его обнаружения.

The fire report was received in fire-saving part No. 8 only after 6 minutes after detection.

** Сообщение о пожаре поступило в ПСЧ-35 только через 25 мин после его обнаружения.

The fire report was received in fire-saving part No. 35 only after 25 minutes after detection.

*** Сообщение о пожаре поступило в ПСЧ-37 только через 7 мин после его обнаружения.

The fire report was received in fire-saving part No. 37 only after 7 minutes after detection.

шению пожарной безопасности станции показал, что наиболее вероятная ситуация развития аварии при возникновении пожара — это тушение пожара на начальной стадии персоналом. При этом, если меры по тушению не привели к успеху (большая начальная мощность источника зажигания, развитие пожара в подпольном пространстве или другом труднодоступном месте и т. д.), длительное горение даже одного шкафа электротехнических устройств приводит к потере БЩУ. Потеря БЩУ происходит в первую очередь в результате потери видимости. Время потери видимости для зала составляет примерно 5 мин, а для зального помещения — до 10 мин при пожаре в защитовом пространстве. Своевременное прибытие и начало успешных действий пожарных подразделений при данных сценариях развития пожара маловероятны [3].

Таким образом, анализ прибытия подразделений ФПС по охране АЭС к месту вызова показал, что достаточно большой временной интервал следования может стать причиной распространения пожара по технологическому оборудованию и помещениям АЭС. Следовательно, дежурному персоналу необходимо принять усиленные меры по тушению пожара имеющимися первичными средствами пожаротушения.

Одновременно с тушением пожара необходимо провести эвакуацию персонала, не задействованного в выполнении специальных работ по выведению реакторной установки в подкритичное состояние, используя средства защиты органов дыхания и зрения.

До прибытия подразделений ФПС необходимо собрать информацию о происшествии и масштабах аварии, проведя предварительную разведку.

Защита оперативного персонала АЭС в условиях воздействия ОФП

Анализ пожара, происшедшего 30 декабря 1978 г. на Белоярской АЭС, показал, что все операции оперативного персонала по отключению оборудования и расхолаживанию реакторов проводились в чрезвычайно сложных условиях. Из-за пожара и коротких замыканий кабелей вышли из строя штатные системы контроля реакторных установок. Помещения оказались сильно задымлены, наблюдалась большая токсичность дыма. Инженерно-технический персонал дежурной смены АЭС не мог находиться на БЩУ-2, так как дышать без кислородно-изолирующего противогаза (КИП) было нельзя, а штатные противогазы оказались непригодными для работы. Приходилось надевать на инженера или техника КИП и со звеном газодымозащитников сопровождать специалиста до БЩУ-2 для проведения операции по остановке и охлаждению реактора. В таких условиях многие специалисты АЭС не выдерживали на-

пряжения и теряли сознание. Остановка и охлаждение реакторов проводились в режиме “нестатной” ситуации. При этом 25 чел. из числа персонала АЭС и пожарных получили отравление продуктами горения различной степени тяжести. Для ликвидации пожара потребовалось 10 ч [15].

В дежурной смене специалисты из числа оперативного персонала АЭС, занимающие должности, входящие в отдельный перечень, даже в условиях непригодной и (или) загазованной для дыхания среды не покидают рабочее место (помещение) и продолжают выполнять технологические операции по выводу реакторной установки в подкритичное состояние. Данный оперативный персонал для работы в непригодной для дыхания среде обеспечивается дыхательными аппаратами со сжатым воздухом, хранящимися в непосредственной близости от рабочего места специалиста.

В приложении Б И1.3.2.15.1111–2016 “Организация защиты оперативного персонала атомных станций при пожарах (авариях) в условиях непригодной для дыхания среды. Инструкция” представлен перечень оснащения оперативного персонала АЭС для проведения работ на блочных и резервных щитах управления (табл. 3).

Как показывает практика применения средств защиты человека от воздействия ОФП оперативными пожарно-спасательными службами, представленное в табл. 3 оснащение оперативного персонала щитов управления АЭС не в полной мере позволяет обеспечить их безопасность в случае возникновения пожара.

Воздействие на человека открытого пламени, искр, теплового потока, повышенной температуры окружающей среды при пожаре обуславливает необходимость разработки комплексной защиты оперативного персонала, работающего в этих условиях [16]. Средства защиты оперативного персонала АЭС должны не только обеспечивать защиту их от ОФП, но и учитывать особенности должностных лиц, возраст которых в отдельных случаях может достигать 60 лет и более.

Для выполнения специальных работ в условиях пожара необходимы средства защиты:

- тела человека от воздействия искр, открытого пламени (защитная плащ-накидка, защитные краги, защитная обувь, защитная каска);
- органов дыхания и зрения (дыхательный аппарат со сжатым воздухом).

В целях облегчения работы оперативного персонала АЭС в условиях пожара разработана специальная защитная накидка. Материал накидки — термостойкая кремнеземная ткань, предназначенная для защиты тела человека от краткосрочного воздействия открытого пламени, искр и брызг расплав-

Таблица 3. Перечень оснащения оперативного персонала БЦУ и РЦУ**Table 3.** List of equipment for operational personnel of NPP management rooms

Вид оснащения Equipment	Количество / Amount	
	БЦУ NPP control room	РЦУ Spare NPP control room
Нож (с небольшим закругленным лезвием, пригодный для резки одежды пострадавших), шт. Knife (with a small rounded blade suitable for cutting clothing affected), units	1	1
Ножницы (с небольшими закругленными лезвиями, пригодные для резки одежды пострадавших), шт. Scissors (with a small rounded blade suitable for cutting clothing affected), units	1	1
Каски, на каждое рабочее место, шт. Helmets for each workplace, units	1	1
Фонари переносные, шт., не менее Lanterns portable, units, not less than	2	2
Налобные фонари для выполнения переключений при отсутствии освещения, на каждое рабочее место, шт. Headlamps for switching operations in the absence of lighting-for each workplace	1	1
Самоспасатели фильтрующие, шт., не менее Self-rescuers, units, not less than	10	5
Противогазы фильтрующие (рекомендованные для применения именно оперативным персоналом): Filter masks (recommended for use operational staff):		
с фамилией, указанной на прикрепленной табличке, подогнанный по размеру головы with the name indicated on the attached plate	Индивидуально Individually	—
разных размеров, шт., не менее different measure, units, not less than	—	15
Запасные фильтрующие коробки противогазов (для использования при исчерпании ресурса основных), шт., не менее Spare filtering boxes for gas masks (for use when the main resource is depleted), units, not less than	—	15
ДАСВ для профессиональных пожарных, на каждое рабочее место, шт. The breathing apparatus with compressed air for professional firemen for each workplace, units	1	1
Средства тушения пожаров в соответствии с требованиями ППБ-АС-2011, в том числе огнетушители, шт.: Extinguishing Media Fire, extinguishers, units:		
ОХ-2-ВСЕ	2	2
ОХ-6-ВСЕ	1	1
Боевая одежда пожарного (2-го уровня), шт., не менее Special fireman clothes, units, not less than	—	2
Респиратор типа ШБ-1 “Лепесток-200”, шт. Respirator of ShB-1 type “Lepestok-200”, units	200	200
Клапанный противоаэрозольный фильтрующий респиратор, шт. Valve anti-aerosol filter respirator, units	10	2
Костюм защитный Л-1, шт. Protective Suit L-1, units	5	2
Перчатки х/б, пар Gloves, pair	10	10
Перчатки резиновые (для защиты от радиоактивных загрязнений), пар Rubber gloves (for protection against radioactive contamination), pair	10	10
Бахилы, пар Shoe covers, pair	10	2
Рукавицы брезентовые (для управления горячей арматурой), пар Gauntlet tarpaulin (to control the hot fittings), pair	5	5



Рис. 1. Специальная защитная плащ-накидка
Fig. 1. Special protective cloak



Рис. 2. Замер частоты сердечных сокращений участников испытаний при выполнении упражнений в учебно-тренировочном комплексе

Fig. 2. Measurement of the heart rate of participants in trials during the passage of exercises in the training complex

ленного металла (рис. 1). Практическая апробация защитной накидки показала простоту и удобство ее использования в сравнении с боевой одеждой пожарного. Проведенные замеры частоты сердечных сокращений показали, что участники испытаний в защитной накидке испытывают меньшее физиологическое напряжение (рис. 2).



Рис. 3. Проведение испытаний в учебно-тренировочных комплексах в условиях, приближенных к реальным

Fig. 3. Conducting tests in training complexes in conditions close to real

Проведенные испытания показали достаточную степень защиты оперативного персонала при выполнении ими аварийных технологических переключений и первичных действий по тушению пожара (рис. 3).

Кроме средств защиты от ОФП, для работы в условиях пожара оперативному персоналу АЭС необходимы следующие технические средства:

- фонарь для освещения места работы;
 - трос-сцепка с карабинами для организации страховки при работе в задымленной зоне;
 - диэлектрический комплект (коврик, перчатки, боты);
 - топор пожарного для проведения специальных работ;
 - проводное переговорное устройство для обмена информацией между оперативным персоналом.
- Для проведения мероприятий по эвакуации людей и оказанию первой помощи при пожаре оперативному персоналу необходимы следующие средства:
- накидка огнезащитная;
 - самоспасатель промышленный изолирующий;
 - медицинская аптечка для энергопредприятий.

Заключение

В результате проведенного исследования динамики развития пожара на АЭС выявлено, что основным опасным фактором пожара, влияющим на выполнение работ оперативным персоналом АЭС по выработке электрической энергии, является потеря видимости. Уже через 30 с с момента возникновения пожара должен быть эвакуирован персонал АЭС, не выполняющий специальные работы по технологическим отключениям и переключениям и выведению реакторной установки в подкритическое состояние. Одновременно с эвакуацией персонала

АЭС оперативный персонал должен принимать по- сильные меры по тушению пожара имеющимися средствами пожаротушения, осуществлять сбор информации о происшествии и передачу ее прибывшим к месту вызова подразделениям ФПС по охране АЭС. Обеспечение оперативного персонала средствами защиты от воздействия ОФП, необходимыми техническими средствами для оказания первой помощи пострадавшему и проведения специальных работ в условиях пожара позволит при условии соответствующей подготовки выполнить указанные задачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прогноз развития энергетики мира и России до 2040 года / Институт энергетических исследований Российской Академии наук, Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации. — М., 2014. — 168 с. URL: <http://ac.gov.ru/files/publication/a/2194.pdf> (дата обращения: 30.05.2017).
2. Пуцев Д. И. Пожарная безопасность атомных станций : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. — М. : ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2011. — 47 с.
3. Авария на АЭС Фукусима-1. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Авария_на_АЭС_Фукусима-1 (дата обращения: 24.06.2017).
4. Статистические данные ООО НПО “ДИАР”. Авария и происшествия на атомных объектах, URL: <http://www.npo-diar.ru/statistics/157/25192/> (дата обращения: 20.06.2017).
5. Харевский В. А., Богданов А. Е., Ищенко А. Д., Фогилев И. С. Разработка комплекса средств защиты оперативного персонала атомных электростанций при пожаре // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — 2015. — № 4. — С. 13–18.
6. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах : приказ МЧС России от 10.07.2009 № 404 (с изм. на 14.12.2010). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902170886> (дата обращения: 20.06.2017).
7. О внесении изменений в приказ МЧС России от 10.07.2009 № 404 : приказ МЧС РФ от 14.12.2010 № 649. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902253161> (дата обращения: 20.06.2017).
8. McGrattan K., Klein B., Hostikka S., Floyd J. Fire dynamics simulator (Version 6). NIST Special Publication 1018. — Gaithersburg : National Institute of Standards and Technology, 2013. — 149 p.
9. Rasmussen N. C. The application of probabilistic risk assessment techniques to energy technologies // Annual Review of Energy. — 1981. — Vol. 6, No. 1. — P. 123–138. DOI: 10.1146/annurev.eg.06.110181.001011.
10. Пузач С. В. Интегральные, зонные и полевые методы расчета динамики опасных факторов пожара : свидетельство об официальной регистрации программы № 2006614238 в Федеральной службе по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам от 08.12.2006. — № 2006613462; заявл. 12.10.2006.
11. Микеев А. К. Противопожарная защита АЭС. — М. : Энергоатомиздат, 1990. — 432 с.
12. Tanaka T., Yamana T. Smoke control in large scale spaces. Part 1: Analytic theories for simple smoke control problems // Fire Science and Technology. — 1985. — Vol. 5, No. 1. — P. 31–40. DOI: 10.3210/fst.5.31.
13. Li Y. Z. Smoke flow and control in large space atrium buildings: PhD Thesis. — Hefei : University of Science and Technology of China, 2001.
14. Пузач С. В. Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2005. — 336 с.
15. Ищенко А. Д., Фогилев И. С. Обеспечение действий персонала атомных электростанций в условиях непригодной для дыхания среды при пожарах // Технологии техносферной безопасности : интернет-журнал. — 2015. — Вып. 2(60). — 6 с. URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2015-2/33-02-15.ttb.pdf> (дата обращения: 24.06.2017).
16. Пузач С. В., Смагин А. В., Мань Д. В. Оценка защищенности человека на пожаре от воздействия токсичных газов // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — 2009. — № 1. — С. 28–37.

Материал поступил в редакцию 26 июня 2017 г.

Для цитирования: Пузач С. В., Лебедченко О. С., Ищенко А. Д., Фогилев И. С. Временной механизм воздействия опасных факторов пожара на персонал АЭС и комплексная защита от них // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2017. — Т. 26, № 8. — С. 15–24. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.08.15-24.

English

TEMPORAL MECHANISM IMPACT HAZARD FIRE ON NUCLEAR POWER PLANTS STAFF AND COMPREHENSIVE PROTECTION AGAINST THEM

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

LEBEDCHENKO O. S., Candidate of Legal Sciences, Docent, Assistant Professor of Thermal Physics and Hydraulic Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: ol-26@mail.ru)

ISHCHENKO A. D., Candidate of Technical Sciences, Head of Educational-Scientific Complex Fire-Fighting, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: adinko@mail.ru)

FOGILEV I. S., Deputy Head of the Development Institute, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: galich_ivan@mail.ru)

ABSTRACT

Introduction. The analysis of large fires and accidents at nuclear power plants in Russia and the world testifies to the serious consequences for the population living in the surrounding areas, as well as the the state in general. Fires are most often arise in the machine rooms, the reactor compartments, open distribution devices and of the deaerator stacks. The specificity of fires at nuclear power plants is that they can appear as the initial event for the development of the project, or serious accident, and subsequent events initiated by the accident.

This study considers the impact of a fire hazards to the operating nuclear power plant personnel and methods of protection against them in the mode of shift work.

Materials and methods. There are conducted settlement and analytical research of the dynamics of fires in typical premises, buildings and technological nuclear installations and the analysis of the reaction fire units on the protection of nuclear power plants to the place of a call (fire).

Theory and calculation. The resulting critical indicators of impact of hazardous fire on human factors formed the basis for the development of a special set of protective equipment of operating personnel.

The list of human means of protection includes:

- human body means of protection from exposure to sparks, open flame (the protective cloak, protective mittens, protective footwear, protective helmet);
- respiratory protection and eye (breathing apparatus with compressed air).

Results. Carried out a series of experiments, using the educational and training complexes showed acceptable level of protection against fire hazards and convenience of use the special set of means of protection designed for operating personnel.

Discussion. The degree of protection of workers from the effects of fire hazards during the work in the initial stage of the fire can be considered acceptable based on use of developed set of means of protection and an adequate level of preparation.

Conclusions. The study of the dynamics of development of a fire at nuclear power plants revealed that the main fire hazards affecting the execution of work atomic power plant operational personnel is the loss of visibility. The staff is not provided protective equipment must immediately leave the premises. Operational staff provided a special set of protection means can perform the work in the initial stage of the fire, and as part of a special unit for the prevention of accident, subject to appropriate training. Operational staff secured by a special set of protection means can perform

the work in the initial stage of the fire, and as part of a special unit for the prevention of accident, subject to adequate preparation.

Keywords: fire; nuclear power plant; fire hazards; operational staff nuclear power plants; unbreatable environment; means of protection.

REFERENCES

1. *Forecast of the development of the energy sector in the world and Russia until 2040*. The Energy Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Analytical Center for the Government of the Russian Federation. Moscow, 2014. 168 p. (in Russian). Available at: <http://ac.gov.ru/files/publication/a/2194.pdf> (Accessed 30 May 2017).
2. Putsev D. I. *Fire safety of nuclear power plants*. Abstr. dr. tech. sci. diss. Moscow, 2011. 47 p. (in Russian).
3. *Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant-1* (in Russian). Available at: https://ru.wikipedia.org/wiki/Авария_на_АЭС_Фукусима-1 (Accessed 24 June 2017).
4. *Statistical data of OOO NPO "DIAR". Accidents and incidents at nuclear facilities* (in Russian). Available at: <http://www.npo-diar.ru/statistics/157/25192/> (Accessed 20 June 2017).
5. Kharevsky V. A., Bogdanov A. E., Ishchenko A. D., Fogilev I. S. Developing complex of protective means for nuclear power plants operating personnel in case of fire. *Pozhary i chrezvychaynyye situatsii: predotvrashcheniye, likvidatsiya / Fire and Emergencies: Prevention, Elimination*, 2015, no. 4, pp. 13–18 (in Russian).
6. *Technique of determination of settlement sizes of fire risk on production objects*. Order of Emercom of Russia on 10.07.2009 No. 404 (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902170886> (Accessed 20 June 2017).
7. *Changes to the order of Emercom of Russia on 10.07.2009 No. 404*. Order of Emercom of Russia on 14.12.2010 No. 649 (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902253161> (Accessed 20 June 2017).
8. McGrattan K., Klein B., Hostikka S., Floyd J. *Fire dynamics simulator (Version 6)*. NIST Special Publication 1018. Gaithersburg, National Institute of Standards and Technology, 2013. 149 p.
9. Rasmussen N. C. The application of probabilistic risk assessment techniques to energy technologies. *Annual Review of Energy*, 1981, vol. 6, no. 1, pp. 123–138. DOI: 10.1146/annurev.eg.06.110181.001011.
10. Puzach S. V. *Integral, zone and field methods for calculating the dynamics of dangerous fire factors*. Certificate of Official Registration of the Program, no 2006614238, publ. date 08.12.2006 (in Russian).
11. Mikeev A. K. *Protivopozharnaya zashchita AES* [Fire protection of nuclear power plants]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1990. 432 p. (in Russian).
12. Tanaka T., Yamana T. Smoke control in large scale spaces. Part 1: Analytic theories for simple smoke control problems. *Fire Science and Technology*, 1985, vol. 5, no. 1, pp. 31–40. DOI: 10.3210/fst.5.31.
13. Li Y. Z. *Smoke flow and control in large space atrium buildings*. PhD Thesis. Hefei, University of Science and Technology of China, 2001.
14. Puzach S. V. *Metody rascheta teplomassoobmena pri pozhare v pomeshchenii i ikh primeneniye pri reshenii prakticheskikh zadach pozharovzryvobezopasnosti* [Methods for calculating heat and mass transfer during a fire in a room and their application in solving practical fire and explosion safety problems]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2005. 336 p. (in Russian).
15. Ishchenko A. D., Fogilev I. S. Ensuring of nuclear power operations plant personnel in unbreatable environment in case of fire. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti. Internet-zhurnal / Technology of Technosphere Safety. Internet-Journal*, 2015, issue 2(60), 6 p. (in Russian). Available at: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2015-2/33-02-15.ttb.pdf> (Accessed 24 June 2017).
16. Puzach S. V., Smagin A. V., Man D. V. Estimation of people protection from action of toxic gases during fire. *Pozhary i chrezvychaynyye situatsii: predotvrashcheniye, likvidatsiya / Fire and Emergencies: Prevention, Elimination*, 2009, no. 1, pp. 28–37 (in Russian).

For citation: Puzach S. V., Lebedchenko O. S., Ishchenko A. D., Fogilev I. S. Temporal mechanism impact hazard fire on nuclear power plants staff and comprehensive protection against them. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 8, pp. 15–24 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.08.15-24.

В. Л. КАРПОВ, главный специалист управления промышленной, ядерной, радиационной, пожарной безопасности и ГОЧС, ФАУ "Главгосэкспертиза России" (Россия, 101000, г. Москва, Фуркасовский пер., 6; e-mail: v.karpov@gge.ru)

М. В. МЕДЯНИК, старший преподаватель кафедры комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: mihamed@yandex.ru)

УДК 614.84:721.011.27+624.0

О НЕОБХОДИМОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПРЕВЕНТИВНОГО СПАСЕНИЯ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРЕ В УНИКАЛЬНЫХ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЯХ

Выявлены основные проблемы нормативной базы в сфере архитектурно-строительного проектирования высотных зданий в части обеспечения пожарной безопасности. Рассмотрена возможность осуществления процесса превентивного спасения (самоспасения) людей при пожаре в уникальных высотных зданиях. Проанализированы решения и технические возможности, способствующие сокращению времени эвакуации людей и проведению аварийно-спасательных работ пожарными подразделениями при пожарах в высотных зданиях. Даны рекомендации по исключению избыточных нормативных требований к пределам огнестойкости основных несущих конструкций и противопожарных преград. Приведены обоснования и предложения в области проблемно-ориентированного проектирования высотных зданий в целях оптимизации и повышения качества нормативно-правовой базы.

Ключевые слова: уникальные высотные здания; пожарная безопасность; превентивное спасение; эвакуация; лифты для перевозки пожарных подразделений.

DOI: 10.18322/PVB.2017.26.08.25-30

Введение

Строительство уникальных высотных объектов стремится к покорению высот. И хотя здания высотой более 100 м продолжают считаться уникальными согласно положениям ст. 48.1 Градостроительного кодекса РФ [1], наиболее современные и уникальные из них уже давно перешагнули высотную отметку 500 м. Приближается момент, когда высота уникальных зданий достигнет психологической отметки и превысит 1 км.

Высотные здания в силу своей специфики имеют большую степень потенциальной пожарной и техногенной опасности по сравнению с обычными зданиями, поэтому основная задача проектировщиков — обеспечение требуемого уровня безопасности, в том числе пожарной.

Целью настоящей статьи является формулирование предложений по совершенствованию существующей нормативной базы в части пожарной безопасности, затрагивающей высотные здания и специфику их проектирования и эксплуатации.

Для достижения поставленной цели авторами предполагается решение нескольких задач, в частности анализ существующих нормативных положений, касающихся обеспечения пожарной безопасности высотных зданий на этапе проектирования, анализ

проблемных ситуаций, связанных с обеспечением пожарной безопасности высотных зданий.

Анализ действий пожарно-спасательных подразделений по тушению пожаров и проведению аварийно-спасательных работ, связанных с тушением пожаров в высотных зданиях на этажах, расположенных на высоте более 60 м, показал неэффективность автомеханических лестниц и подъемников, а также сложность использования для этих целей вертолетов из-за сильных тепловых потоков и задымления [2].

Кроме того, проблематика использования вертолетов для проведения действий, связанных с тушением пожаров в высотных зданиях в крупных городах, заключается в том, что в условиях плотной городской застройки на высоте более 30 м возможно образование различных вихревых воздушных потоков с учетом климатических особенностей, розы ветров, особенностей рельефа местности и наличия соседних зданий. Все перечисленные факторы затрудняют маневрирование и управление вертолетом, что явится дополнительной проблемой при осуществлении действий, связанных с тушением пожаров и спасением людей с покрытий в высотных зданиях.

В 1969 г. расчетными методами было доказано, что объемно-планировочные решения и технические средства не позволяют обеспечить одновременную

эвакуацию людей при пожаре с этажей высотного здания, что неизбежно приводит к возникновению скоплений (давки) людских потоков на лестничных клетках.

Поэтапная эвакуация с учетом технических возможностей систем противопожарной защиты, хотя и позволяет избежать скоплений (давки) на путях эвакуации, не способствует при этом сокращению времени эвакуации людей из здания. Спуск людей по лестничным клеткам с этажей высотной части здания длительностью от 1 до 2 ч не только не обеспечивает требуемого уровня безопасности, но и выдвигает повышенные требования к физическому и психологическому состоянию эвакуирующихся людей, а также избыточные требования к пределам огнестойкости несущих строительных конструкций и противопожарных преград [3–7].

Данное положение вещей, а также возможное пребывание на этажах маломобильных (немобильных) людей явилось к 1997 г. одной из основных причин разработки нормативно-правовых документов и внедрения в практику проведения аварийно-спасательных работ, связанных с тушением пожаров, лифтов для перевозки пожарных подразделений.

Использование механических средств внутреннего транспорта высотных зданий при проведении аварийно-спасательных работ пожарными подразделениями

Положениями ч. 15 ст. 89 Технического регламента о требованиях пожарной безопасности (Федеральный закон № 123-ФЗ) (далее — ФЗ № 123) [8] закреплена возможность использования лифтов, отвечающих требованиям, предъявляемым к лифтам для транспортировки подразделений пожарной охраны, для спасения групп людей с ограниченными возможностями передвижения во время пожара.

В ГОСТ Р 53296–2009 определены режимы управления работой лифтов для транспортировки подразделений пожарной охраны при пожаре, а в приложении Г СП 59.13330.2016 [9] приведен расчет числа лифтов, который позволит определить требуемую провозную способность для спасения в условиях пожарной опасности маломобильных (немобильных) людей.

Положения нормативных требований вышеуказанных документов ограничивают возможность использования лифтов для транспортировки подразделений пожарной охраны в целях организации процесса самостоятельного спасения и эвакуации людей в уникальных высотных зданиях, что не устраивает строительное сообщество. По мнению зарубежных и отечественных экспертов в области проектирования противопожарной защиты объектов высотного строительства [10–13], уровень технического раз-

вития систем противопожарной защиты в настоящее время позволяет в полной мере реализовать процесс самостоятельного спасения и эвакуации людей при пожаре с использованием механических средств и инженерных систем объектов капитального строительства до прибытия первых пожарных подразделений.

Проведенные научные исследования, натурные испытания и расчеты по апробированным методикам в области организации процесса беспрепятственной и своевременной эвакуации людей обоснованно доказывают необходимость внедрения комбинированного способа эвакуации из высотных зданий с использованием механических средств внутреннего транспорта. Расчетными методами подтверждено, что поэтапная эвакуация с использованием лифтов позволяет сократить время выхода людей из здания в безопасную зону в 3–4 раза [3].

Следует отметить, что обеспечение безопасной эвакуации людей при пожаре с помощью лифтов уже многократно было реализовано на уникальных высотных комплексах за рубежом. Так, в 162-этажном здании “Burj Dubai” высотой 828 м, введенном в эксплуатацию в 2010 г., эвакуация с помощью специальных лифтов, рассчитанных на перевозку одновременно до 60 чел. со скоростью до 16 м/с, не только допускается, но и считается единственно возможным вариантом выхода людей наружу из уникального высотного здания.

В последнее время в целях исключения необходимости разработки специальных технических условий (СТУ) для каждого высотного здания активно разрабатываются и вводятся в действие документы в области стандартизации (например, СП 267.1325800.2016 [14]), в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается выполнение требований Технического регламента о безопасности зданий и сооружений (Федеральный закон № 384-ФЗ) (далее — ФЗ № 384) [15], а также стандарты саморегулируемых организаций (например, СТО НОСТРОЙ 2.35.73–2012 [16]).

Положительная динамика развития вышеуказанных нормативных документов заключается в наличии в них положений, анонсирующих необходимость использования лифтов в высотных зданиях при планировании мероприятий по обеспечению эвакуации (спасения) людей, в том числе превентивной.

В настоящее время требования ст. 140 ФЗ № 123 [8] не позволяют реализовать процесс превентивного самостоятельного спасения людей с этажей уникальных высотных зданий. Режим работы лифтов, включая лифты для транспортировки подразделений пожарной охраны, обеспечивает движение кабины на основной посадочный этаж и удерживает ее в уровне основной посадочной площадки. Это

приводит к потере бесценного в данной ситуации времени с момента обнаружения пожара и до прибытия первых пожарных подразделений, лишает людей, находящихся на верхних этажах высотного здания, возможности организации процесса самостоятельного спасения с использованием механических средств внутреннего транспорта.

Решения и технические возможности, способствующие сокращению времени эвакуации людей и проведения аварийно-спасательных работ, связанных с тушением пожаров

Промежуток времени с момента обнаружения пожара, когда воздействие опасных факторов пожара на здание, инженерное оборудование и людей минимально, и до момента прибытия и развертывания сил и средств пожарных подразделений может достигать нескольких десятков минут. За это время верхние этажи высотного здания только при использовании специализированных лифтов для перевозки пожарных подразделений могли бы покинуть от нескольких десятков до нескольких сотен человек.

Рассмотрим вариант организации самостоятельного спасения людей при пожаре с верхних этажей отечественных уникальных высотных зданий комплекса Москва-Сити в г. Москве и здания Лахта-центр в г. Санкт-Петербурге, оснащенных лифтами для перевозки пожарных подразделений грузоподъемностью до 3200 кг (до 40 чел.) и скоростью перемещения до 6 м/с.

В указанных зданиях помещения и смотровые площадки с пребыванием людей запроектированы на высоте менее 350 м от уровня земли (выхода из здания). Полезная площадь верхних этажей не превышает 500 м², а одновременное пребывание людей на этажах зданий ограничено согласно требованиям СТУ до 100 чел. на каждом этаже.

Используя формулы, представленные в приложении Г СП 59.13330.2016 [9], определим время кругового рейса лифта для перевозки пожарных подразделений грузоподъемностью 3200 кг, перемещающегося со скоростью 6 м/с. Расчетом принимаем, что верхний этаж расположен на высоте 350 м от уровня выхода из здания, и исключаем остановки лифта на промежуточных этажах.

Время кругового рейса T для каждой посадки вычисляем по формуле

$$T = 2 \frac{H_k}{V_k} + K_t \sum t, \quad (1)$$

где H_k — путь, который проходит лифт при совершении кругового рейса на номинальной скорости, м;

V_k — номинальная скорость движения кабины лифта, м/с;

$\sum t$ — сумма затрат времени на ускорение и замедление лифта, открывание и закрывание дверей, вход и выход пассажиров в течение кругового рейса, с;

K_t — коэффициент, учитывающий возможные дополнительные затраты времени при работе лифта (задержка при входе/выходе пассажиров, регулирование скорости движения дверей и т. п.); допускается принимать $K_t = 1,1 \div 1,2$.

Исходные данные для проведения расчетов затрат времени могут быть взяты из технических паспортов на лифты.

Расчеты показали, что лифт для перевозки пожарных подразделений выполняет круговой рейс чуть более чем за 3 мин и до прибытия первого пожарного подразделения может произвести до трех круговых рейсов. Реализация на начальном этапе процесса самостоятельного спасения людей при пожаре позволяет только одним лифтом для перевозки пожарных подразделений доставить с наиболее удаленного (по высоте) этажа до 120 чел. (т. е. обеспечить самостоятельное спасение людей с наиболее удаленного этажа на начальной (менее опасной) стадии пожара и до прибытия на объект первого спасательного подразделения). Как правило, в высотных зданиях предусматривается устройство не одного, а нескольких лифтов для перевозки пожарных подразделений, тем самым можно ускорить процесс самостоятельного спасения и охватить куда большее количество людей и этажей высотной части уникального здания, обеспечивая требуемый уровень пожарной безопасности объекта капитального строительства.

Необходимо понимать, что использование лифтов для перевозки пожарных подразделений в целях организации самостоятельного спасения или спасения силами пожарных подразделений ни в коем случае не отменяет необходимость устройства путей эвакуации и эвакуационных выходов, отвечающих требованиям технических регламентов и соответствующих сводов правил.

Реализация принципа самостоятельного спасения людей при пожаре позволяет сократить время проведения эвакуации людей и аварийно-спасательных работ пожарными подразделениями, что может быть обосновано расчетами, выполняемыми по сертифицированным или апробированным иным способом методикам. Сокращение времени проведения эвакуации людей и аварийно-спасательных работ пожарными подразделениями при тушении пожара в высотном здании даст возможность сократить избыточные требования к пределу огнестойкости ос-

новых несущих конструкций и противопожарных преград.

Выбор оптимального предела огнестойкости основных несущих конструкций и противопожарных преград в процессе решения задач проблемно-ориентированного проектирования может быть аналогичным способом обоснован расчетами, выполняемыми по сертифицированным или апробированным иным способом методикам, что позволит снизить финансовые затраты и сделать объект высотного строительства более инвестиционно привлекательным без ущерба для его безопасности в процессе дальнейшей эксплуатации.

Принцип гибкого нормирования, закрепленный положениями ч. 6 ст. 15 ФЗ № 384 [16] и ст. 6 ФЗ № 123 [8] и используемый в проблемно-ориентированном проектировании высотных зданий, позволяет оптимизировать мероприятия и проектные ре-

шения, направленные на обеспечение требуемого уровня безопасности высотного здания.

Вывод

Таким образом, становится очевидным, что в арсенале нормативно закрепленных способов обеспечения безопасного спасения людей из высотных зданий недостает метода организации самостоятельного спасения людей при пожаре с использованием специальных защищенных механических средств внутреннего транспорта до прибытия пожарных подразделений.

Налицо отставание развития положений ФЗ № 123 [8] и нормативно-правовых актов Российской Федерации, регулирующих вопросы обеспечения пожарной безопасности объектов защиты, от уровня технического развития и потребностей строительной отрасли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Градостроительный кодекс Российской Федерации (в ред. от 07.03.2017). URL: <http://docs.cntd.ru/document/901919338> (дата обращения: 26.06.2017).
2. Кирюханцев Е. Е., Иванов В. Н. О повышении эффективности тушения пожаров в высотных зданиях // Технологии техносферной безопасности. — 2013. — № 5(31). — 5 с.
3. Холщевников В. В., Самошин Д. А. К вопросу безопасности использования лифтов при эвакуации из высотных зданий // Пожаровзрывобезопасность / *Fire and Explosion Safety*. — 2006. — Т. 15, № 5. — С. 45–47.
4. Гилетич А. Н., Шебеко А. Ю., Шебеко Ю. Н., Гордиенко Д. М. Требуемые пределы огнестойкости строительных конструкций высотных зданий // Пожарная безопасность. — 2012. — № 4. — С. 31–39.
5. Холщевников В. В., Самошин Д. А. Анализ процесса эвакуации людей из высотных зданий // Жилищное строительство. — 2008. — № 8. — С. 24–27.
6. Холщевников В. В., Кудрин И. С. Анализ условий обеспечения требуемого уровня индивидуального пожарного риска в высотных зданиях // Жилищное строительство. — 2010. — № 1. — С. 11–14.
7. Фарбер М. Э. Средство массовой эвакуации жителей из жилых высотных зданий // Жилищное строительство. — 2010. — № 1. — С. 19–20.
8. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон РФ от 22.07.2008 № 123-ФЗ (в ред. от 03.07.2016). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения: 26.06.2017).
9. СП 59.13330.2016. Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения. Актуализированная ред. СНиП 35-01-2001. — Введ. 15.05.2017. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456033921> (дата обращения: 26.06.2017).
10. Kholshchevnikov V. V., Shields T. J., Samoshyn D. A. Foot traffic flows: background for modeling // Proceedings of the Second International Conference on Pedestrian and Evacuation Dynamics, University of Greenwich, 20–22 August 2003 / Galea E. R. (ed.). — London, U. K. : University of Greenwich, 2003. — P. 410.
11. Кудрин И. С. Влияние параметров движения людских потоков при пожаре на объемно-планировочные решения высотных зданий : дис. ... канд. техн. наук. — М. : АГПС МЧС РФ, 2013. — 190 с.
12. Fruin J. J. Pedestrian planning and design. — New-York : Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners, Inc., 1971. — 206 p.
13. Thompson P., Nilsson D., Boyce K., McCrath D. Evacuation models are running out of time // Fire Safety Journal. — 2015. — Vol. 78. — P. 251–261. DOI: 10.1016/j.firesaf.2015.09.004.

14. СП 267.1325800.2016. Здания и комплексы высотные. Правила проектирования. — Введ. 01.07.2017. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456044284> (дата обращения: 26.06.2017).
15. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений : Федер. закон РФ от 30.12.2009 № 384-ФЗ (ред. от 02.07.2013). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_95720/ (дата обращения: 26.06.2017).
16. СТО НОСТРОЙ 2.35.73–2012. Инженерные сети высотных зданий. Системы обеспечения комплексной безопасности высотных зданий и сооружений. URL: http://nostroy.ru/department/departament_tehnicheskogo_regulir/sto/СТО%20НОСТРОЙ%202.35.73-2012.pdf (дата обращения: 26.06.2017).

Материал поступил в редакцию 6 июля 2017 г.

Для цитирования: Карпов В. Л., Медяник М. В. О необходимости реализации процесса превентивного спасения людей при пожаре в уникальных высотных зданиях // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2017. — Т. 26, № 8. — С. 25–30. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.08.25-30.

English

ABOUT THE NECESSITY OF REALIZATION OF PROCESS OF PREVENTIVE RESCUE OF PEOPLE DURING THE FIRE IN A UNIQUE HIGH-RISE BUILDINGS

KARPOV V. L., Chief Specialist of Industrial, Nuclear, Radiation, Fire Safety Management, Glavgosexpertiza of Russia (Furkasovskiy Side-St., 6, Moscow, 101000, Russian Federation; e-mail: v.karpov@gge.ru)

MEDYANIK M. V., Senior Lecturer, Department of Complex Safety in Construction, National Research Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail: mihalmmed@yandex.ru)

ABSTRACT

At the moment the domestic regulatory base, unlike other countries, not fully considers ways of independent rescue of people at the fire before arrival of fire divisions with use of the special protected mechanical means of inland transport from high-rise buildings.

Numerous researches in this respect, the conducted settlement justifications, but also, the decisions on use of the special protected mechanical means of inland transport realized abroad from high-rise buildings, prove need of the account and realization of this action and for domestic normative documents and standard legal acts in relation to high-rise buildings.

At the same time it should be noted especially the fact that use of elevators for transportation of fire divisions for the organization of independent rescue or rescue by forces of firefighters of divisions, doesn't cancel need of the device of ways of evacuation and the emergency exits meeting the requirements of technical regulations and the corresponding sets of rules at all.

Realization of the principle of independent rescue of people at the fire allows to reduce time of carrying out evacuation of people and a wrecking by fire divisions that can be proved by the calculations which are carried out on the certified or approved different ways techniques.

Lag of development of provisions of the Federal Law No. 123 and the standard legal acts of the Russian Federation regulating questions of ensuring fire safety of subjects to protection from the level of technical development and requirements of construction branch is available.

Keywords: problem-oriented design; high-rise buildings; fire safety; preventive rescue; evacuation; elevators for transportation of fire divisions.

REFERENCES

1. Town-planning code of the Russian Federation (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/901919338> (Accessed 26 June 2017).

2. Kirukhancev E. E., Ivanov V. N. On improving the efficiency extinguishing fires in high-rise buildings. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti / Technology of Technosphere Safety*, 2013, no. 5(31). 5 p. (in Russian).
3. Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A. To a safety issue of use of elevators at evacuation from high-rise buildings. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2006, vol. 15, no. 5, pp. 45–47 (in Russian).
4. Giletich A. N., Shebeko A. Yu., Shebeko Yu. N., Gordienko D. M. The required fire resistance limits for the high-rise buildings structures. *Pozharnaya bezopasnost / Fire Safety*, 2012, no. 4, pp. 31–39 (in Russian).
5. Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A. Analysis of the evacuation process from high-rise buildings. *Zhilishchnoe stroitel'stvo / Housing Construction*, 2008, no. 8, pp. 24–27 (in Russian).
6. Kholshchevnikov V. V., Kudrin I. S. Analysis of conditions of provision of required level of individual fire risk in high-rise buildings. *Zhilishchnoe stroitel'stvo / Housing Construction*, 2010, no. 1, pp. 11–14 (in Russian).
7. Farber M. E. A means of mass evacuation of inhabitants from residential high-rise buildings. *Zhilishchnoe stroitel'stvo / Housing Construction*, 2010, no. 1, pp. 19–20 (in Russian).
8. *Technical regulations for fire safety requirements*. Federal Law on 22.07.2008 No. 123 (ed. 03.07.2016) (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (Accessed 26 June 2017).
9. Set of rules 59.13330.2016. *Accessibility of buildings and structures for persons with reduced mobility* (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/456033921> (Accessed 26 June 2017).
10. Kholshchevnikov V. V., Shields T. J., Samoshyn D. A. Foot traffic flows: background for modeling. In: Galea E. R. (ed.). *Proceedings of the Second International Conference on Pedestrian and Evacuation Dynamics*, University of Greenwich, 20–22 August 2003. London, U. K., University of Greenwich, 2003, p. 410.
11. Kudrin I. S. *Rationing of fire safety requirements for evacuation routes and exits in buildings of pre-school educational institutions*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2013. 190 p. (in Russian).
12. Fruin J. J. *Pedestrian planning and design*. New-York, Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners, Inc., 1971. 206 p.
13. Thompson P., Nilsson D., Boyce K., McCrath D. Evacuation models are running out of time. *Fire Safety Journal*, 2015, vol. 78, pp. 251–261. DOI: 10.1016/j.firesaf.2015.09.004.
14. Set of rules 267.1325800.2016. *High rise buildings and complexes. Design rules* (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/456044284> (Accessed 26 June 2017).
15. *Technical regulations for safety of buildings and constructions*. Federal Law on 30.12.2009 No. 384 (in Russian). Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_95720/ (Accessed 26 June 2017).
16. Standard of organization 2.35.73–2012. *Higher buildings utilities. Integrated safety and security systems of high-rise buildings and constructions* (in Russian). Available at: http://nostroy.ru/department/departament_tehnicheskogo_regulir/sto/СТО%20НОСТРОЙ%202.35.73-2012.pdf (Accessed 26 June 2017).

For citation: Karpov V. L., Medyanik M. V. About the necessity of realization of process of preventive rescue of people during the fire in a unique high-rise buildings. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 8, pp. 25–30 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.08.25-30.

А. В. ИВАНОВ, канд. техн. наук, доцент кафедры пожарной безопасности технологических процессов и производств, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: spark002@mail.ru)

Д. П. ТОРОПОВ, адъюнкт кафедры физико-технических основ обеспечения пожарной безопасности, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: dmitrytoropov2012@yandex.ru)

Г. К. ИВАХНЮК, д-р хим. наук, профессор, профессор кафедры инженерной защиты окружающей среды, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (Технический университет) (Россия, 190013, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 26; e-mail: fireside@inbox.ru)

А. В. ФЕДОРОВ, д-р техн. наук, заведующий кафедрой пищевой биотехнологии продуктов из растительного сырья, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (Россия, 191002, г. Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9; e-mail: alval58@yandex.ru)

А. А. КУЗЬМИН, канд. пед. наук, доцент кафедры физико-технических основ обеспечения пожарной безопасности, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: kaa47@mail.ru)

УДК 614.841.4:539

ИССЛЕДОВАНИЕ ОГNETУШАЩИХ СВОЙСТВ ВОДЫ И ГИДРОГЕЛЕЙ С УГЛЕРОДНЫМИ НАНОСТРУКТУРАМИ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ГОРЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Экспериментально обоснована возможность применения модифицированных огнетушащих веществ (ОТВ) на основе наножидкости (НЖ) с регулируемыми эксплуатационными характеристиками в условиях тушения пожаров жидких нефтепродуктов. Методами атомно-силовой и рамановской спектроскопии установлено наличие в наноматериале, помимо MWCNT, большого количества побочных продуктов синтеза нанотрубок. Показано, что электрофизический (воздействие переменного-частотного модулированного сигнала) и реагентный (внедрение гелеобразующих компонентов) методы позволяют управлять свойствами НЖ в целях их применения в штатных системах пожаротушения. В ходе экспериментов выявлено, что время тушения нефтепродуктов ОТВ на основе воды с наноматериалом MWCNT 1,0 % об. в среднем в 5,5 раз меньше времени тушения жидкости водой, а при использовании гидрогелей (DW + Carbopol ETD 2020 0,2 % масс.) с наноматериалом MWCNT 1,0 % об. время тушения пожара сократилось до 10 раз. Сделан вывод, что повышение огнетушащей эффективности модифицированных ОТВ на основе распыленной воды достигается за счет высокой термической стойкости наноматериала.

Ключевые слова: наножидкость; многослойные углеродные нанотрубки; теплопередача; огнетушащее вещество; переменного-частотный модулированный потенциал.

DOI: 10.18322/PVB.2017.26.08.31-44

Введение

Горение нефтепродуктов представляет собой сложный физико-химический процесс, включающий в себя испарение жидкости, формирование над ней паров, а также смешение их с окислителем с последующим воспламенением на некотором расстоянии от слоя жидкости. Для достижения огнетушащего эффекта необходимо снижение температуры поверхности горючей жидкости до температуры тушения пламени, при которой процесс горения будет невозможен, либо нарушение теплового равновесия экзотермической реакции. Условие ликвидации горения определяется соотношением [1]:

$$\left\{ \begin{array}{l} q_{\text{ТВ}} = q_{\text{ТП}} \\ \frac{dq_{\text{ТВ}}}{dT} = \frac{dq_{\text{ТП}}}{dT} \end{array} \right\}, \quad (1)$$

где $q_{\text{ТВ}}$ — тепловыделение при сгорании нефтепродуктов;

$q_{\text{ТП}}$ — теплопотери.

Теплопотери определяются по формуле [1]:

$$q_{\text{ТП}} = q_{\text{конв}} + q_{\text{изл}} + q_{\text{исп}}, \quad (2)$$

где $q_{\text{конв}}$ — тепло, отводимое конвекцией;

$q_{\text{изл}}$ — тепло, отводимое излучением;

$q_{\text{исп}}$ — тепло, затрачиваемое на испарение жидкостей (нефтепродукта и огнетушащего вещества (ОТВ)).

Наиболее значимым параметром, определяющим эффективность пожаротушения распыленной водой, является время нагрева и испарения капельных потоков ОТВ в высокотемпературных продуктах сгорания. При распылении в сопле форсунки всегда существует начальный участок нераспавшейся и маловозмущенной пелены, которая по мере истечения распадается на струи в направлении движения жидкости. Капля воды в зоне горения проходит стадии тепло- и массопереноса, характерные для ее нагрева и испарения при контакте с нагретой поверхностью. Уменьшение размера капель воды приводит к их более интенсивному испарению, снижению разбрызгивания топлива в зоне горения, а также к вероятному переливу нефтепродукта через край резервуара [2, 3].

Параметры распыления жидкости можно представить в виде формулы

$$d_k = C d_c^n \frac{\lambda_{пл} \sigma^t \mu_{ж}^q}{W^m \rho_{ж}^s}, \quad (3)$$

где d_k — диаметр капель;
 C — постоянный коэффициент;
 d_c — диаметр сопла;
 n, t, q, m, s — показатели степени при соответствующих параметрах распыления;
 $\lambda_{пл}$ — параметр пелены;
 σ — поверхностное натяжение;
 $\mu_{ж}$ — динамическая вязкость;
 W — скорость истечения жидкости;
 $\rho_{ж}$ — плотность жидкости [4].

Задача тушения распыленной водой пламени нефтепродуктов имеет ограничения из-за большого среднего размера капель ОТВ и, как следствие, недостаточной интенсивности парообразования. Данная технология применима для горючих жидкостей (ГЖ) и малоэффективна для легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ) [1].

Существуют различные методы повышения эффективности пожаротушения распыленной водой, в том числе применение технологий полидисперсного пожаротушения, внедрение соляных растворов, суспензий и эмульсий и др. Увеличение температуропроводности, плотности, а также снижение поверхностного натяжения жидкости приводят к ее более интенсивному испарению в зоне горения [4].

Одним из способов модификации ОТВ на основе воды является электрофизический метод управления свойствами веществ на границе раздела фаз в сочетании с реагентной модификацией гелеобразующими и углеродными наноконпонентами. При электрофизическом воздействии либо электропроводящая система *вода – нанодисперсии* перемещается в электрических полях, либо магнитные поля изменяются во времени. Водные системы испыты-

вают комбинированное электромагнитное воздействие, и в зависимости от этих условий или электрическая, или магнитная составляющая играет в процессе преимущественную роль [5].

В работе [6] приведены данные об изменении теплофизических характеристик воды, подвергнутой воздействию переменного частотно-модулируемого потенциала (ПЧМП). В [7] для сравнения огнетушащих свойств воды в условиях воздействия ПЧМП описан ряд экспериментов по тушению очага пожара класса А. В ходе экспериментов установлено, что время тушения модифицированной водой сократилось на 30 % по сравнению с базовой жидкостью. В диссертации В. П. Степанова [8] приводятся данные об изменении физических свойств воды при температуре 20 °С под воздействием ПЧМП. Экспериментально выявлено, что при воздействии ПЧМП на воду в течение 10 мин ее поверхностное натяжение уменьшается на 12 %, вязкость — на 9 %.

В работах [9, 10] получены результаты, свидетельствующие о том, что использование модифицированных при электрофизическом воздействии водно-гелевых составов (ВГС) позволяет снизить требуемую интенсивность подачи ОТВ в 2,5 раза и сократить время тушения очага класса А на 30–40 % по сравнению с водой.

Малые концентрации углеродных наноструктур (многослойных углеродных нанотрубок (MWCNT)) в воде изменяют свойства наножидкости (НЖ) в сравнении с базовой, влияя на процессы тепло- и массопереноса. Значительное влияние на данные процессы оказывают концентрация и тип наночастиц, способы их подготовки и стабилизации (табл. 1).

При дальнейшем увеличении объемной концентрации наночастиц изменение теплофизических характеристик НЖ существенно замедляется, но при этом наблюдается повышение вязкости, что ухудшает ее эксплуатационные свойства [12].

Существенно ограничивает применение MWCNT в целях пожаротушения их высокая стоимость в сравнении с другими модифицирующими добавками. Наиболее высокопроизводительными для синтеза MWCNT являются электродуговые методы, однако они характеризуются относительно низким (до 25 %) выходом продукта. Помимо MWCNT, при синтезе образуются фуллерены, графитовые кластеры, аморфный углерод, которые являются побочными продуктами производства наночастиц и удаляются в процессе очистки [16].

Кроме того, НЖ с MWCNT имеют недостаточно большое “время жизни” (в среднем до 4 ч) из-за быстрой агломерации наночастиц, что может существенно снизить эффективность их применения. Данная проблема решается путем внедрения в НЖ

Таблица 1. Данные по управлению теплофизическими характеристиками с помощью MWCNT**Table 1.** Information on the management of thermal properties by means MWCNT

№ п/п No.	Источник Source	Вид наночастиц Kind of nanoparticles	Базовое вещество Base substance	Концентрация наночастиц Concentration of nanoparticles	Эффект (по сравнению с DW) Effect (in comparison with DW)
1	[11]	MWCNT	Дистиллированная вода (DW) Distilled water (DW)	0,22–1,00 % об. 0.22–1.00 % by vol.	Повышение теплопроводности НЖ на 10–15 % Increase in the thermal conductivity of the nanofluid by 10–15 %
2	[12]	MWCNT (УНТ “Карболекс”) MWCNT (CNT “Carbolex”)	Дистиллированная вода Distilled water	0,10 % масс. 0.10 % by mass	Более медленное (3–5 %) изменение диаметра испаряющихся капель НЖ A slower (3–5 %) change in the diameter of the evaporating droplets of the nanofluid
3	[13]	MWCNT	Дистиллированная вода, pH = 6 Distilled water, pH = 6	0,50 % масс. 0.50 % by mass	Повышение коэффициента теплопередачи на 350 % при Re = 800 при 30 °C The increase in the heat transfer coefficient by 350 % at Re = 800 at 30 °C
4	[14]	MWCNT	Дистиллированная вода Distilled water	0,20–1,00 % об. 0.20–1.00 % by vol.	Повышение теплопроводности до 6 раз Increase of thermal conductivity up to 6 times
5	[15]	MWCNT	Деионизированная дистиллированная вода Deionized distilled water	0,01; 0,05; 0,10 % масс. 0.01, 0.05, 0.10 % by mass	Уменьшение критического теплового потока до 30 %, увеличение теплоотдачи при кипении на 272 % Reduction of the value of the critical heat flux to 30 %, increase in heat transfer at boiling by 272 %

различных стабилизаторов, в том числе гелеобразующих компонентов, позволяющих стабилизировать ОТВ с наночастицами на весь цикл его применения. Практический интерес для пожаротушения могут представлять водные суспензии, содержащие, помимо MWCNT, побочные продукты синтеза и стабилизаторы с объемной концентрацией наноматериала до 1,0 % об. при фиксированном размере наночастиц.

Целью настоящего исследования являлось исследование строения и физических свойств наножидкостей на основе воды и гидрогелей с наночастицами (MWCNT и побочные продукты синтеза), а также экспериментальное обоснование возможности применения ОТВ с регулируемыми эксплуатационными характеристиками в условиях тушения пожаров жидких нефтепродуктов.

Материалы и методы исследований

В исследовании использовались НЖ на основе дистиллированной воды и гидрогелей в сочетании с углеродными наноструктурами, содержащими MWCNT [17] (рис. 1).

MWCNT получены методом каталитического пиролиза на установке “CVDomna” [18]. Параметры

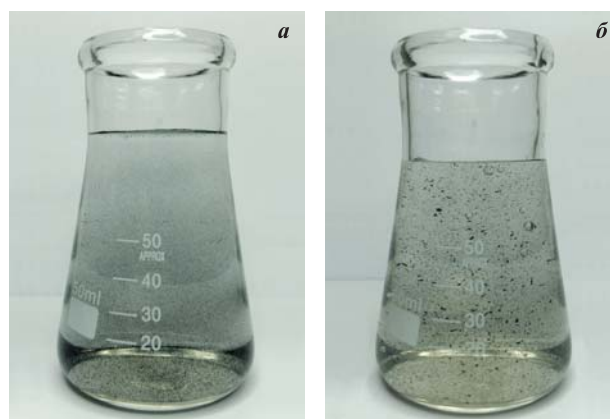


Рис. 1. Наножидкости с наноматериалом MWCNT на основе дистиллированной воды (а) и гидрогеля (б)

Fig. 1. Nanofluids with nanomaterial MWCNT based on distilled water (a) and hydrogel (b)

наночастиц: диаметр $d = 25 \dots 50$ нм, длина $l = 5 \dots 40$ мкм.

В качестве базовой жидкости выступала дистиллированная вода с pH = 6,4. Подготовка НЖ проводилась при температуре 20 °C и нормальном атмосферном давлении путем депонирования функционализированных MWCNT в дистиллированную воду при воздействии источника ультразвука (мощность

1 кВт, частота 60 кГц, время обработки 120 мин). Далее часть образцов подвергалась электрофизическому воздействию ПЧМП с параметрами 220 В, 50 Гц в течение 1 ч.

При подготовке гидрогелей использовался редкошитый акриловый полимер “Карбопол ETD-2020” (РАП) с концентрацией гелеобразующего компонента 0,5 % масс., а также 10 %-ный водный раствор гидроксида аммония, добавляемый в суспензию в количестве 10 мл на 1 л. Гидрогель, выступающий в качестве базовой жидкости, имел плотность 1010 кг/м³, pH = 5,03.

Исследование рамановских спектров НЖ проводилось на установке “Ntegra Spectra” с длиной волны 532 нм [19]. Объем исследуемой жидкости составлял 10 мл, температура 20 °С.

Структуру твердого остатка веществ исследовали методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) также на установке “Ntegra Spectra” [19]. Образцы НЖ с наноматериалом MWCNT помещали на слюдяную подложку, после чего происходило испарение жидкости при температуре 70–80 °С в течение 10 мин при нормальном атмосферном давлении. Далее проводилась оценка структуры поверхности сухого остатка.

Теплофизические свойства дистиллированной воды и гидрогелей, содержащих наноматериал MWCNT с концентрацией 0,4–1,6 % об., исследовали на лабораторной установке для изучения процессов поверхностного и объемного кипения жидкостей [20]. Жидкость объемом 50 мл помещали в стеклянный цилиндрический сосуд с электрическим нагревателем мощностью 100 Вт. Температуру в объ-

еме жидкости измеряли с помощью термопары, которая располагалась в центре сосуда на расстоянии 50 мм от его дна. В ходе исследования фиксировали температуру в точке замера и время теплового воздействия. Испытания прекращали при достижении температуры исследуемой жидкости 90 °С.

Измерение коэффициента поверхностного натяжения дистиллированной воды, содержащей наноматериал MWCNT с концентрацией 0,4 и 1,0 % об., проводилось методом отрыва капель [21]. Исследуемую и эталонную жидкость (дистиллированную воду) объемом 50 мл помещали в цилиндрические бюретки с диаметром шейки 2,5 мм, установленные на стенде параллельно друг другу. Затем, одновременно приоткрыв оба крана бюреток с эталонной и исследуемой жидкостью, добивались медленного вытекания обеих жидкостей в количестве 60 капель. После измерения объема вытекшей из бюретки жидкости определяли коэффициент поверхностного натяжения σ по формуле

$$\sigma = \sigma_0 \frac{\rho \Delta V}{\rho_0 \Delta V_0}, \quad (4)$$

где σ_0 — поверхностное натяжение эталонной жидкости;

ρ — плотность эталонной жидкости;

ΔV — объем жидкости, содержащей наноматериал MWCNT;

ρ_0 — плотность исследуемой жидкости, содержащей наноматериал MWCNT;

ΔV_0 — объем эталонной жидкости, вытекшей из бюретки.

Оценка огнетушащей способности наножидкостей проводилась на лабораторной установке (рис. 2). Огнетушащее вещество 1 заливали в емкость 2 вместимостью 500 мл. Давление в системе, создаваемое воздушным компрессором, составляло 0,2–1,0 МПа. Давление в системе контролировали манометром 3. Подачу ОТВ осуществляли по резиновому шлангу 4 с внутренним диаметром 10 мм через насадок для распыления 5 диаметром 2 мм. Горючую жидкость 7 заливали в металлическую емкость диаметром 30 мм с высотой свободного борта 25–30 мм. Время свободного горения жидкости составляло 60 с. Время тушения фиксировали при полной ликвидации горения. Массу ОТВ, израсходованного на тушение, определяли путем взвешивания емкости 2 до и после эксперимента. Для каждого вида ОТВ проводили по три измерения [22].

Результаты и обсуждение

Исследование наножидкостей методом рамановской спектроскопии

В табл. 2 приведены значения основных характеристических пиков исследуемых веществ.

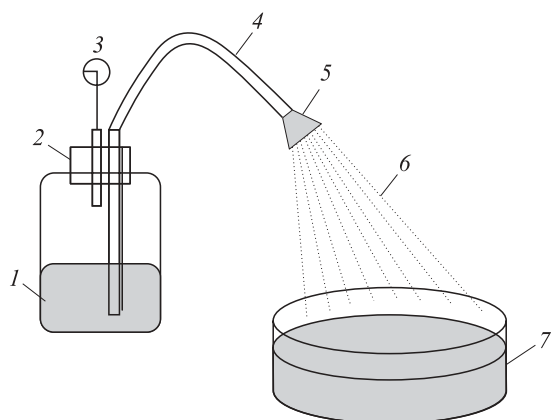
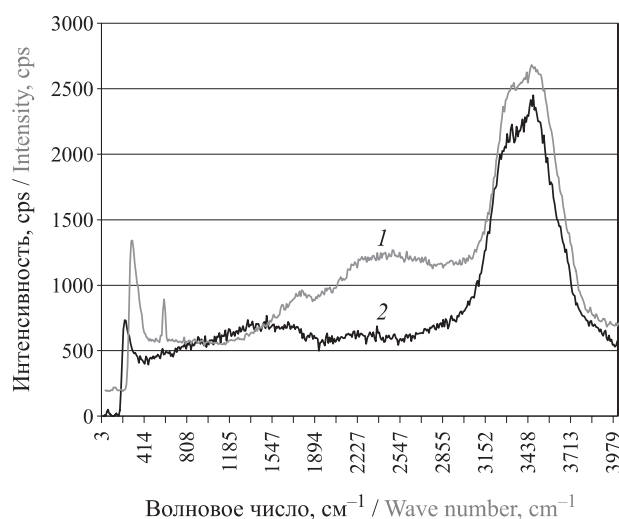


Рис. 2. Лабораторная установка по определению огнетушащей эффективности наножидкостей: 1 — ОТВ; 2 — герметичная емкость; 3 — манометр; 4 — эластичная трубка; 5 — насадок для распыления; 6 — струя распыленной наножидкости; 7 — горючее вещество (бензин АИ-92)

Fig. 2. Laboratory installation for determining the fire-extinguishing efficacy of nanofluids: 1 — extinguishing agent; 2 — hermetic container; 3 — manometer; 4 — flexible tube; 5 — nozzles for spraying; 6 — jet of a sprayed nanofluid; 7 — combustible substance (gasoline)

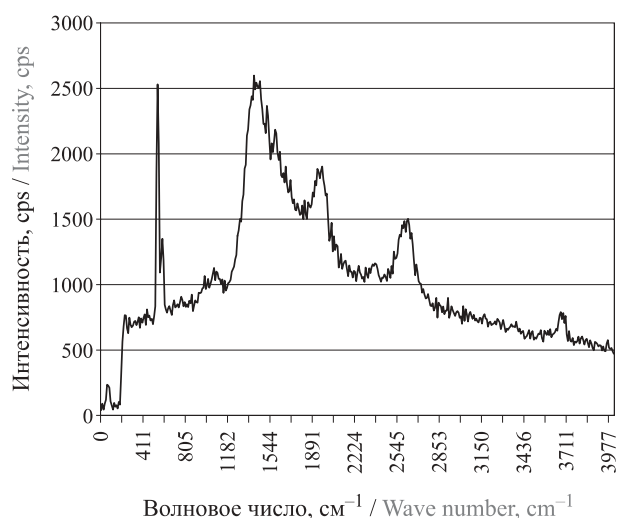
Таблица 2. Значения основных характеристических пиков исследуемых веществ**Table 2.** Values of the main characteristic peaks of the studying substances

№ п/п No.	Вещество Substance	Колебательная полоса Vibrational band	Частота полосы спектра, см ⁻¹ The frequency of the spectrum band, cm ⁻¹	Источник Source
1	Дистиллированная вода Distilled water	Либрационные колебания Libration oscillations	450; 550	[23]
		Валентные колебания моды О–Н The stretching vibrations O–H modes	3300–3600	
2	Водные растворы производных акриловой кислоты Aqueous solutions of acrylic acid derivatives	Полоса ω (CO ₂) Band ω (CO ₂)	552	[24]
		Коллективные полосы (C) в сочетании с колебаниями мод О–Н Collective bands (C) in combination with oscillations of O–H modes	2800–3800	[25]
3	MWCNT	D-полоса углеродных материалов D-band of carbon materials	1250–1450	[26]
		G-полоса (тангенциальные колебания в плоскости графенового слоя) G-band (tangential oscillations in the plane of the graphene layer)	1500–1600	
		G'-полоса (первый обертона D-полосы) The G'-band (the first overtone of the D-band)	2450–2650	

**Рис. 3.** Рамановские спектры гидрогеля на основе РАП с концентрацией 2 % масс. (1) и дистиллированной воды (2)**Fig. 3.** Raman spectra of the hydrogel based on carbopol at a concentration of 2 % by mass (1) and distilled water (2)

Для дистиллированной воды наблюдаются характерные пики в диапазонах 450–550 и 3300–3600 см⁻¹. Для гидрогеля, помимо характерных пиков воды, наблюдается пик в районе 560 см⁻¹. Другие колебательные полосы, характерные для производных акриловой кислоты, не наблюдаются ввиду низкой концентрации РАП (рис. 3).

В рамановском спектре образца с MWCNT присутствует достаточно большое число сторонних

**Рис. 4.** Рамановский спектр исследуемого наноматериала с MWCNT**Fig. 4.** Raman spectrum of the investigated nanomaterial with MWCNT

пиков, что говорит о присутствии примесей и низком качестве исследуемого наноматериала (рис. 4).

Рамановский спектр суспензии дистиллированной воды и наноматериала с MWCNT в условиях воздействия ПЧМП имеет отчетливо выраженные пики углеродных наноструктур, в то время как для аналогичного образца без электрофизического воздействия такие пики практически не обнаруживаются. Данный эффект объясняется тем, что при воздей-

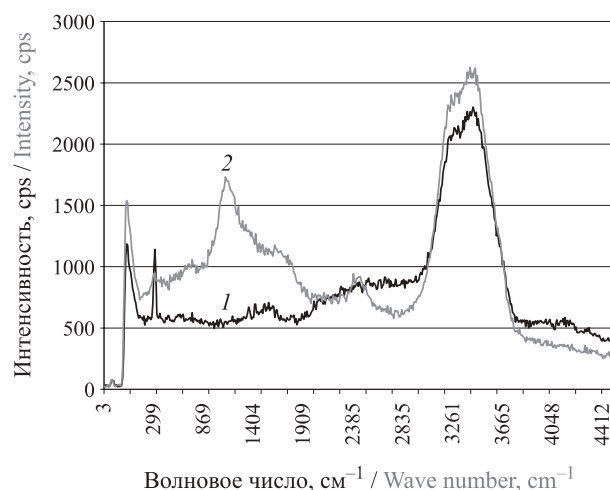


Рис. 5. Рамановский спектр дистиллированной воды и наноматериала с MWCNT при воздействии ПЧМП (1) и без него (контрольный образец) (2)

Fig. 5. Raman spectrum of distilled water and nanomaterial with MWCNT under the influence of variable-frequency modulated potential (VFMP) (1) and without VFMP (control sample) (2)

ствии ПЧМП происходит преимущественная стабилизация наночастиц по всему объему, а при отсутствии воздействия наночастицы группируются в основном в приповерхностном слое жидкости (рис. 5).

Для гидрогеля с наноматериалом MWCNT наблюдалось повышение интенсивности рамановских спектров в области характеристических пиков для углеродных нанотрубок по сравнению с пиками дистиллированной воды в условиях воздействия ПЧМП, что может быть объяснено увеличением количества поляризованных наноструктур в приповерхностном

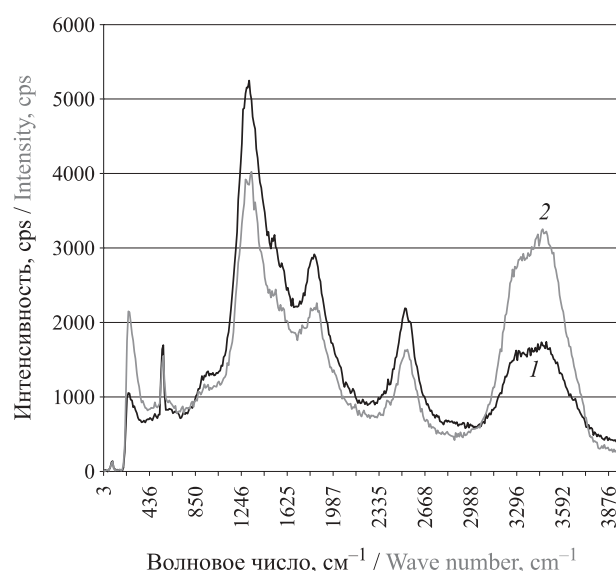


Рис. 6. Рамановский спектр гидрогеля с наноматериалом MWCNT на слюдяной подложке при воздействии ПЧМП (1) и без него (контрольный образец) (2)

Fig. 6. Raman spectrum of hydrogel (HG) with MWCNT nanomaterial on mica substrate under the influence of VFMP (1) and without VFMP (control sample) (2)

слое гидрогеля в результате электрофизического воздействия (рис. 6).

Исследование структуры наноматериалов методом атомно-силовой микроскопии

На АСМ-скане слюдяной подложки с наноматериалом MWCNT после испарения дистиллированной воды наблюдались протяженные углеродные структуры длиной до 10–15 мкм, а также скопления частиц диаметром 3–4 мкм, которые представляют собой следы аморфного углерода (рис. 7,а). При исследовании методом АСМ структуры РАП гидрогеля с наноматериалом MWCNT отмечено, что углеродные наноструктуры, находящиеся на поверхности РАП, образуют шарообразные агломерации диаметром порядка 300 нм (рис. 7,б). Следов отдельных MWCNT не наблюдалось ввиду значитель-

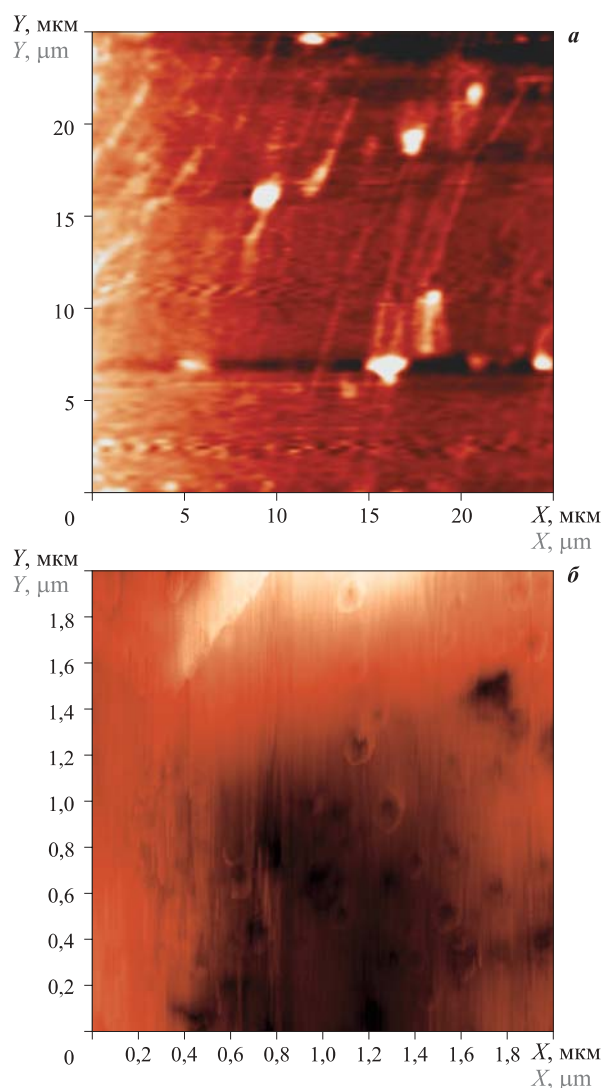


Рис. 7. АСМ-сканы твердого остатка вещества на слюдяной подложке после испарения дистиллированной воды (а) и в структуре РАП гидрогеля (б)

Fig. 7. AFM-scans of the solid residue of matter on a mica substrate: а — after evaporation of distilled water; б — in the structure carbopol of the hydrogel

ного количества следов гелеобразующего остатка (10–30 мкм).

Из полученных данных можно сделать вывод, что исследуемые НЖ содержат MWCNT (преимущественно схожих размеров) с большим количеством побочных продуктов синтеза. Электрофизический (воздействие ПЧМП) и реагентный (внедрение гелеобразующих компонентов) методы позволяют стабилизировать структуру НЖ.

Исследование теплофизических свойств наножидкостей

Результаты измерений показывают, что рост скорости нагрева наножидкости имеет прямую зависимость от концентрации наноматериала MWCNT и возрастает на 70 % в сравнении с дистиллированной водой при концентрации наноматериала 1,6 % об., что можно объяснить ростом теплопроводности при увеличении количества углеродных нанотрубок в НЖ, являющихся проводниками тепла (рис. 8).

При исследовании кинетики нагрева гидрогеля с концентрацией РАП 0,2 % масс. отмечено, что на начальной стадии кинетика нагрева образца без наноматериала MWCNT весьма схожа с кинетикой нагрева дистиллированной воды, но через 5 мин происходит резкий рост температуры вещества. Скорость роста температуры образца гидрогеля с наноматериалом MWCNT (1,0 % об.) на 50 % выше в сравнении с дистиллированной водой и аналогична скорости роста температуры образца DW + MWCNT 1,0 % об., что также можно объяснить сравнительно более высокой теплопроводностью системы с углеродными нанотрубками (рис. 9).

Полученные результаты позволяют выбрать из представленных жидкостей ОТВ с содержанием

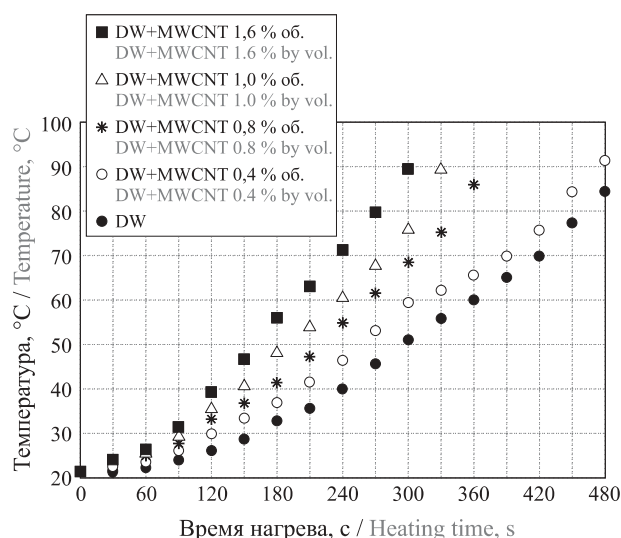


Рис. 8. Кинетика нагрева дистиллированной воды в зависимости от концентрации MWCNT

Fig. 8. Kinetics of heating of distilled water as a function of MWCNT concentration

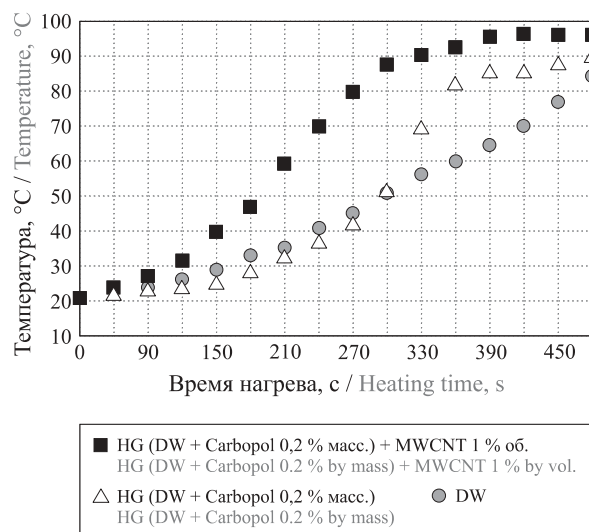


Рис. 9. Кинетика нагрева гидрогелей с РАП 0,2 % масс. и наноматериала MWCNT 1,0 % об.

Fig. 9. Kinetics of heating of hydrogels with 0.2 % by mass carbopol and MWCNT nanomaterial 1.0 % by vol.

наноматериала 1,0 % об. как наиболее эффективное средство для охлаждения зоны пламенного горения нефтепродуктов, а также для обеспечения ее стабильности [12].

Измерение коэффициента поверхностного натяжения наножидкостей

Результаты измерений свидетельствуют об уменьшении коэффициента поверхностного натяжения НЖ с увеличением концентрации наноматериала, содержащего MWCNT. Так, при концентрации наноматериала с MWCNT 0,4 % об. происходит снижение коэффициента поверхностного натяжения НЖ на 7 %, а при концентрации 1,0 % об. — на 20 %. В условиях электрофизического воздействия коэффициент поверхностного натяжения НЖ для указанных концентраций наноматериала в сравнении с исходными материалами изменяется соответственно на 9 и 21 % (рис. 10).

При определении коэффициента поверхностного натяжения гидрогелей (DW + РАП 0,2 % масс.) в условиях воздействия ПЧМП выявлено, что значение коэффициента поверхностного натяжения жидкости уменьшилось на 58 % по сравнению с эталонной жидкостью. Депонирование наноматериала с MWCNT в концентрации 1,0 % об. повышает поверхностное натяжение гидрогелей на 15–20 %. При электрофизическом воздействии дополнительно происходит снижение поверхностного натяжения на 10–15 % (рис. 11).

Схожие результаты получены в работе [27]. В частности, в ней показано, что внедрение MWCNT в дистиллированную воду в концентрации до 1,0 % об. приводит к уменьшению поверхностного натяжения НЖ. Далее при увеличении концентрации MWCNT

происходит рост поверхностного натяжения НЖ. Наличие поверхностно-активных веществ в воде с MWCNT снижает коэффициент поверхностного натяжения НЖ.

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что значительное уменьшение поверхностного натяжения НЖ за счет внедрения MWCNT и гелеобразующего компонента приводит к уменьшению

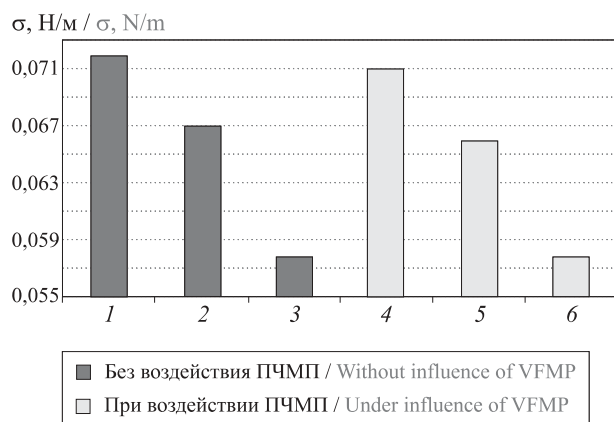


Рис. 10. Коэффициент поверхностного натяжения образцов дистиллированной воды с наноматериалом MWCNT в условиях электрофизического воздействия: 1 — DW (контрольный образец); 2 — DW + MWCNT 0,4 % об.; 3 — DW + MWCNT 1,0 % об.; 4 — DW (ПЧМП); 5 — DW + MWCNT 0,4 % об. (ПЧМП); 6 — DW + MWCNT 1,0 % об. (ПЧМП)

Fig. 10. Coefficient of surface tension of samples of distilled water with nanomaterial MWCNT under conditions of electrophysical exposure: 1 — DW (control); 2 — DW + MWCNT 0.4 % by vol.; 3 — DW + MWCNT 1.0 % by vol.; 4 — DW (VFMP); 5 — DW + MWCNT 0.4 % by vol. (VFMP); 6 — DW + MWCNT 1.0 % by vol. (VFMP)

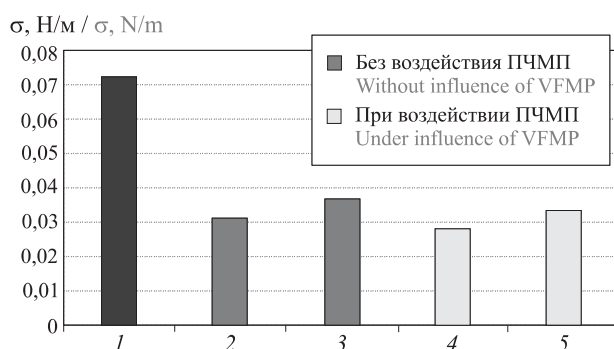


Рис. 11. Коэффициент поверхностного натяжения образцов гидрогелей (HG) с наноматериалом MWCNT (2–5) в условиях электрофизического воздействия: 1 — DW (контрольный образец); 2 — HG (DW + Carbopol 0,2 % масс.); 3 — HG (DW + Carbopol 0,2 % масс.) + MWCNT 1,0 % об.; 4 — HG (DW + Carbopol 0,2 % масс.) (ПЧМП); 5 — HG (DW + Carbopol 0,2 % масс.) + MWCNT 1,0 % об. (ПЧМП)

Fig. 11. Coefficient of surface tension of hydrogel samples with nanomaterial MWCNT (2–5) under conditions of electrophysical exposure: 1 — DW (control); 2 — HG (DW + Carbopol 0.2 % by mass); 3 — HG (DW + Carbopol 0.2 % by mass) + MWCNT 1.0 % by vol.; 4 — HG (DW + Carbopol 0.2 % by mass) (VFMP); 5 — HG (DW + Carbopol 0.2 % by mass) + MWCNT 1.0 % by vol. (VFMP)

размера каплей более чем на 20 % в сравнении с базовой жидкостью при сохранении параметров распыления ОТВ. Это способствует уменьшению размера каплей при распылении ОТВ в приповерхностном слое горячей жидкости, что, в свою очередь, повышает эффективность процесса тушения пламени нефтепродуктов [4].

Исследование огнетушащей способности наножидкостей методом поверхностного тушения горючей жидкости тонкораспыленным составом

Время тушения пожара наножидкостью на основе воды с наноматериалом MWCNT 1,0 % об. в среднем в 5,5 раз меньше времени тушения жидкости водой. При использовании гидрогелей (DW + РАП 0,2 % масс.) с наноматериалом MWCNT 1,0 % об. время тушения пожара сокращается до 10 раз (рис. 12).

Интенсивность тушения пожара водой с наноматериалом MWCNT 1,0 % об. снижается в 2 раза, а гидрогелем (DW + РАП 0,2 % масс.) с наноматериалом MWCNT 1 % об. — в 3 раза (рис. 13).

В условиях электрофизического воздействия на исследуемые наножидкости наблюдается дополнительное (на 10–15 %) сокращение времени тушения и интенсивности подачи ОТВ.

Обобщая полученные результаты, можно сделать вывод, что повышение огнетушащей эффективности модифицированных ОТВ на основе распыленной воды достигается за счет высокой термической стойкости наноматериала, улучшенной теплопроводности НЖ с MWCNT [11, 14], стабилизации наночастиц в жидкости и снижения скорости их агломерации [28, 29], уменьшения размера каплей

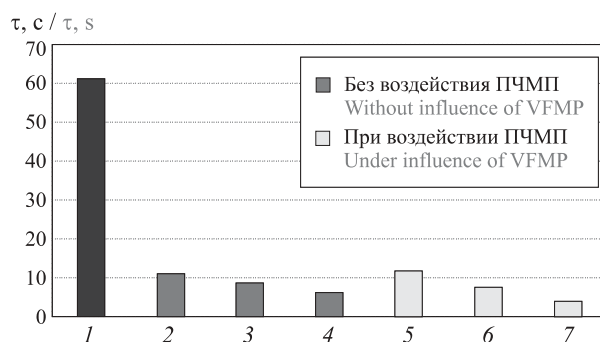


Рис. 12. Время тушения пламени (бензин АИ-92): 1 — DW (контрольный образец); 2 — DW + MWCNT 1,0 % об.; 3 — HG (DW + Carbopol 0,2 % масс.); 4 — HG (DW + Carbopol 0,2 % масс.) + MWCNT 1,0 % об.; 5 — DW + MWCNT 1,0 % об. (ПЧМП); 6 — HG (DW + Carbopol 0,2 % масс.) (ПЧМП); 7 — HG (DW + Carbopol 0,2 % масс.) + MWCNT 1,0 % об. (ПЧМП)

Fig. 12. Time of extinguishing the flame (gasoline): 1 — DW (control); 2 — DW + MWCNT 1.0 % by vol.; 3 — HG (DW + Carbopol 0.2 % by mass); 4 — HG (DW + Carbopol 0.2 % by mass) + MWCNT 1.0 % by vol.; 5 — DW + MWCNT 1.0 % by vol. (VFMP); 6 — HG (DW + Carbopol 0.2 % by mass) (VFMP); 7 — HG (DW + Carbopol 0.2 % by mass) + MWCNT 1.0 % by vol. (VFMP)

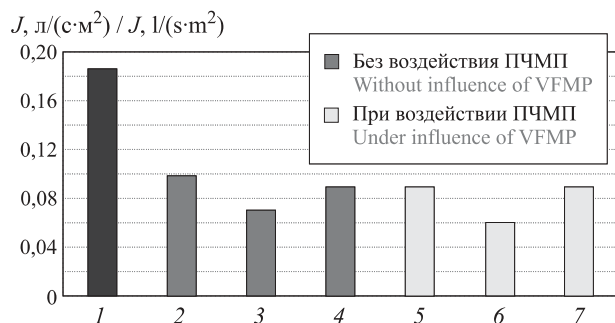


Рис. 13. Интенсивность подачи ОТВ при тушении пламени (бензин АИ-92): 1 — DW (контрольный образец); 2 — DW + MWCNT 1,0 % об.; 3 — HG (DW + Carbopol 0,2 % масс.); 4 — HG (DW + Carbopol 0,2 % масс.) + MWCNT 1,0 % об.; 5 — DW + MWCNT 1,0 % об. (ПЧМП); 6 — HG (DW + Carbopol 0,2 % масс.) (ПЧМП); 7 — HG (DW + Carbopol 0,2 % масс.) + MWCNT 1,0 % об. (ПЧМП)

Fig. 13. Intensity of fire extinguishing agent supply when extinguishing a flame (gasoline): 1 — DW (control); 2 — DW + MWCNT 1.0 % by vol.; 3 — HG (DW + Carbopol 0.2 % by mass); 4 — HG (DW + Carbopol 0.2 % by mass) + MWCNT 1.0 % by vol.; 5 — DW + MWCNT 1.0 % by vol. (VFMP); 6 — HG (DW + Carbopol 0.2 % by mass) (VFMP); 7 — HG (DW + Carbopol 0.2 % by mass) + MWCNT 1.0 % by vol. (VFMP)

за счет снижения поверхностного натяжения [4] и увеличения плотности жидкости с гелеобразующим компонентом [30].

Выводы

1. Депонирование наноматериалов с MWCNT в воду и гидрогели интенсифицирует теплообмен в жидкостях, что приводит к более быстрому разогреву их до температуры кипения в условиях теплового воздействия пламени. Коэффициент поверхностного натяжения наножидкостей уменьшается при внедрении наноматериалов с MWCNT, что способствует более эффективному распылу их в приповерхностном слое горячей жидкости.

2. Согласно полученным экспериментальным данным вода и гидрогели, содержащие наноматериалы с MWCNT, являются эффективными при тушении пожаров нефтепродуктов при относительно малых концентрациях наночастиц с большим содержанием аморфного углерода и других примесей.

3. Эффективность управления свойствами наножидкостей зависит от физико-химических свойств базовой жидкости и наноматериалов, а также от параметров внешнего воздействия. Электрофизическая и реагентная модификации позволяют стабилизировать наножидкости, что дополнительно повышает их эффективность при ликвидации горения нефтепродуктов с помощью существующих систем пожаротушения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горшков В. И. Тушение пламени горючих жидкостей : монография. — М. : Пожнаука, 2007. — 267 с.
2. Воднев П. П. Расчет параметров пожара, времени вскипания и выброса нефтепродуктов в процессе горения: методич. указания по выполнению контрольной работы. — Ульяновск : УВАУ ГА, 2008. — 17 с.
3. Волков Р. С., Войтков И. С., Высокоморная О. В. Особенности тушения жидких топлив и органических горючих жидкостей распыленным потоком воды // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2016. — Т. 25, № 4. — С. 68–75. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.04.68-75.
4. Тарасевич С. Э., Яковлев А. Б. Средний диаметр капель, образующихся при распаде жидких струй и пленок (обзор) // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. — 2004. — № 4. — С. 52–57.
5. Пат. 2479005 Российская Федерация. МПК G05B 24/02 (2006.01), H03B 28/00 (2006.01). Способ и устройство управления физико-химическими процессами в веществе и на границе раздела фаз / Ивахнюк Г. К., Матюхин В. Н., Клочков В. А., Шевченко А. О., Князев А. С., Ивахнюк К. Г., Иванов А. В., Родионов В. А. — № 2011118347/08; заявл. 21.01.2010; опубл. 10.04.2013, Бюл. № 10. URL: <http://www.freepatent.ru/patents/2479005> (дата обращения: 10.04.2017).
6. Алексеик Е. Б., Савенкова А. Е., Гемини З. Влияние переменных электрических полей на процессы создания и стабилизации воздушно-механических пен // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России : научно-аналитический журнал. — 2013. — № 4. — С. 44–48. URL: <http://vestnik.igps.ru/wp-content/uploads/V54/8.pdf> (дата обращения: 15.04.2017).
7. Таранцев А. А., Чащин А. С. Применение модифицированных водных растворов для целей пожаротушения на объектах железнодорожного транспорта // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России : научно-аналитический журнал. — 2015. — № 2. — С. 30–37. URL: <http://vestnik.igps.ru/wp-content/uploads/V72/5.pdf> (дата обращения: 15.04.2017).
8. Степанов В. П. Минимизация задымленности в строительных объемах зданий и сооружений методами конденсационного улавливания и диспергирования электрофизически модифицированной воды : дис. ... канд. техн. наук. — СПб., 2007. — 133 с.

9. Гаджиев Ш. Г., Иванов А. В., Ивахнюк Г. К., Кадочникова Е. Н. Исследование огнетушащих и теплозащитных свойств водногелевых составов на основе модифицированных наножидкостей // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России : научно-аналитический журнал. — 2014. — № 2. — С. 31–37. URL: <http://vestnik.igps.ru/wp-content/uploads/V62/4.pdf> (дата обращения: 15.04.2017).
10. Гаджиев Ш. Г., Иванов А. В., Кондрашин А. В. Моделирование дальности подачи струи модифицированных водногелевых огнетушащих веществ // Проблемы управления рисками в технике. — 2015. — № 1(33). — С. 60–67.
11. Jiang H., Zhang Q., Shi L. Effective thermal conductivity of carbon nanotube-based nanofluid // Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers. — 2015. — Vol. 55. — P. 76–81. DOI: 10.1016/j.jtice.2015.03.037.
12. Терехов В. И., Шишкин Н. Е. Экспериментальное исследование испарения капель наножидкости в потоке сухого воздуха // Современная наука: исследования, идеи, результаты, технологии. — 2011. — № 2(7). — С. 197–200.
13. Ding Y., Alias H., Wen D., Williams R. A. Heat transfer of aqueous suspensions of carbon nanotubes (CNT nanofluids) // International Journal of Heat and Mass Transfer. — 2006. — Vol. 49, No. 1-2. — P. 240–250. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2005.07.009.
14. Xie H., Lee H., Youn W., Choi M. Nanofluids containing multiwalled carbon nanotubes and their enhanced thermal conductivities // Journal of Applied Physics. — 2003. — Vol. 94, No. 8. — P. 4967–4971. DOI: 10.1063/1.1613374.
15. Amiri A., Shanbedi M., Amiri H., Heris S. Z., Kazi S. N., Chew B. T., Eshghi H. Pool boiling heat transfer of CNT/water nanofluids // Applied Thermal Engineering. — 2014. — Vol. 71, No. 1. — P. 450–459. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2014.06.064.
16. Авцинов И. А., Попов Г. Г. Проблемы синтеза углеродных нанотрубок // Вестник Воронежского государственного технического университета. — 2010. — Т. 6, № 10. — С. 68–71.
17. Иванов А. В., Ивахнюк Г. К., Медведева Л. В. Методы управления свойствами углеводородных жидкостей в задачах обеспечения пожарной безопасности // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2016. — Т. 25, № 9. — С. 30–37. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.09.30-37.
18. Бобринецкий И. И., Неволин В. К., Симунин М. М. Технология производства углеродных нанотрубок методом каталитического пиролиза этанола из газовой фазы // Химическая технология. — 2007. — Т. 8, № 2. — С. 58–62.
19. Коваленко А. А., Елисеев А. А. Спектроскопия комбинационного рассеяния : методическая разработка. — М. : МГУ, 2011. — 37 с.
20. Теплообмен : методич. указания по самостоятельной работе / Сост.: Д. С. Серебrenников, А. А. Дектерев, К. А. Финников, М. С. Лобасова. — Красноярск : ИПК СФУ, 2009. — 105 с.
21. Сизов Е. Г., Беховых Ю. В. Механика и молекулярная физика: лабораторный практикум : учебное пособие. — Барнаул : Изд-во АГАУ, 2011. — 108 с.
22. Шароварников А. Ф., Мельников А. И. Экспериментальные исследования огнетушащей способности водных пленкообразующих растворов фторированных поверхностно-активных веществ // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2015. — Т. 24, № 9. — С. 74–81. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.09.74-81.
23. Эйзенберг Д., Кауцман В. Структура и свойства воды. — Л. : Гидрометеиздат, 1975. — 280 с.
24. Murli C., Song Y. Pressure-induced polymerization of acrylic acid: a raman spectroscopic study // The Journal of Physical Chemistry B. — 2010. — Vol. 114, No. 30. — P. 9744–9750. DOI: 10.1021/jp1034757.
25. Tsukida N., Muranaka H., Ide M., Maeda Y., Kitano H. Effect of neutralization of poly(acrylic acid) on the structure of water examined by raman spectroscopy // The Journal of Physical Chemistry B. — 1997. — Vol. 101, No. 34. — P. 6676–6679. DOI: 10.1021/jp971210+.
26. Удовинский В. Г. Методы оценки чистоты и характеристики свойств углеродных нанотрубок // Физическая инженерия поверхности. — 2009. — Т. 7, № 4. — С. 351–373.
27. Khaleduzzaman S. S., Mahbulul I. M., Shahriul I. M., Saidur R. Effect of particle concentration, temperature and surfactant on surface tension of nanofluids // International Communications in Heat and Mass Transfer. — 2013. — Vol. 49. — P. 110–114. DOI: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2013.10.010.
28. Ивахнюк Г. К., Картель Н. Т., Иванов А. В., Капитоненко З. В. Адсорбционные и электрофизические методы синтеза наноматериалов // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). — 2011. — № 12. — С. 58–59.
29. Yu W., Xie H. A review on nanofluids: preparation, stability mechanisms, and applications // Journal of Nanomaterials. — 2012. — 17 p. DOI: 10.1155/2012/435873.

30. *Иванов А. В., Михайлова В. И., Ивахнюк Г. К., Демехин Ф. В.* Исследование характеристик модифицированных гидрогелей для тепловой защиты резервуаров нефтепродуктов // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2017. — Т. 26, № 4. — С. 58–67. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.04.58-67.

Материал поступил в редакцию 15 мая 2017 г.

Для цитирования: *Иванов А. В., Торопов Д. П., Ивахнюк Г. К., Федоров А. В., Кузьмин А. А.* Исследование огнетушащих свойств воды и гидрогелей с углеродными наноструктурами при ликвидации горения нефтепродуктов // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2017. — Т. 26, № 8. — С. 31–44. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.08.31-44.

English

RESEARCH OF THE EXTINGUISHING PROPERTIES OF WATER AND HYDROGEL WITH CARBON NANOPARTICLES FOR LIQUIDATION BURNING OF THE PETROLEUM PRODUCTS

IVANOV A. V., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department of Fire Safety of Technological Processes and Production, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moscow Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail: spark002@mail.ru)

TOROPOV D. P., Postgraduate Student of Department of Physical-Technical Basics of Fire Safety, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moscow Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail: dmitrytoropov2012@yandex.ru)

IVAKHNYUK G. K., Doctor of Chemical Sciences, Professor, Professor of Department of Engineering Protection of Environment, Saint Petersburg State Technology Institute (Moskovskiy Avenue, 26, Saint Petersburg, 190013, Russian Federation; e-mail: fireside@inbox.ru)

FEDOROV A. V., Doctor of Technical Sciences, Head of Department of Food Biotechnology of Products from Vegetable Raw Materials, Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics (Lomonosova St., 9, Saint Petersburg, 191002, Russian Federation; e-mail: alval58@yandex.ru)

KUZMIN A. A., Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor of Department of Physical-Technical Basics of Fire Safety, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moscow Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail: kaa47@mail.ru)

ABSTRACT

The use of sprayed water to extinguish fires in petroleum products is limited by the relatively low rate of vaporization due to the large average size of the droplets of the extinguishing agent. As methods to increase the efficiency of water-based fire, an electrophysical method for controlling the properties of substances at the interface is used, as well as a reagent modification — the deposition of nanomaterial with multilayered carbon nanotubes (MWCNT) into the liquid, and the use of gelling agents to stabilize the nanofluid.

Raman spectroscopy revealed the presence in the nanomaterial, in addition to MWCNT, of a large number of by-products of nanotube synthesis. In the electrophysical action, characteristic peaks of nanostructures in water and hydrogel are observed, due to the predominant grouping of MWCNT in the near-surface layer of the liquid. With the help of atomic force microscopy, extended carbon nanostructures included in the composition of the extinguishing agent, as well as traces of amorphous carbon, were observed.

In the course of the study, it was found that the increase in the rate of heating of the nanofluid is directly dependent on the concentration of the MWCNT nanomaterial and increases in comparison with distilled water (by 70 % — for the concentration of nanoparticles in water by 1.6 % by vol. and by 50 % — for the concentration of nanoparticles in the hydrogel 1.0 % by vol.), which can be

explained by an increase in the thermal conductivity of the system due to a larger number of carbon nanotubes that are conductors of heat from the source of heating. The results obtained allow to select from the presented liquids containing the nanomaterial at a concentration of 1.0 % by vol. as the most effective for cooling the combustion of petroleum products of the combustion zone and to ensure its stability.

When determining the surface tension coefficient of a nanofluid, water surface with a nanomaterial (DW + MWCNT 1.0 % by vol.) has a surface tension reduction of 20 %, for hydrogels (DW + Carbopol 0.2 % by mass) — by 58 %. When impact occurs electrophysical additional reduction of surface tension by 10 % preferably for all samples. A significant decrease in the value of the surface tension of the nanofluid, due to the introduction of MWCNT and the gelling component, leads to a decrease in the droplet size by more than 20 % in comparison with the base liquid while maintaining the parameters of the spraying of the extinguishing agent. This helps to reduce the size of droplets in the fire extinguishing substance in the near-surface layer of the burning liquid, increases the efficiency of the process of extinguishing the flame of petroleum products.

During the experiments, it was found that the quenching time of water-based nanofluids with MWCNT nanomaterial 1.0 % by vol. on average 5.5 times less than the time of quenching the liquid with water. For hydrogels (DW + Carbopol 0.2 % by mass) with nanomaterial MWCNT 1 % by vol. the fire-fighting time was reduced to 10 times. The intensity of extinguishing water with nanomaterial MWCNT 1 % by vol. decreased by 2 times, and for hydrogels (DW + Carbopol 0.2 % by mass) with nanomaterial MWCNT 1 % by vol. — 3 times. In electrophysical conditions of exposure to the test is an additional nanofluids (10–15 %) reduction of the quenching time and the flow rate of the extinguishing agent.

Summarizing the obtained results, it can be concluded that the increase in the fire-extinguishing efficiency of modified extinguishing agents based on atomized water is achieved due to the high thermal stability of the nanomaterial, improved thermal diffusivity of the nanoparticle with MWCNT, stabilization of nanoparticles in the liquid and reducing the rate of their agglomeration, reducing the droplet size by reducing the surface tension and increasing the fluid density.

Keywords: nanofluid; multilayer carbon nanotubes; heat transfer; fire extinguishing agent; variable-frequency modulated signal.

REFERENCES

1. Gorshkov V. I. *Tusheniye plameni goryuchikh zhidkostey* [Extinguishing the flame of flammable liquids]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2007. 267 p. (in Russian).
2. Vodnev P. P. *Calculation of fire parameters, boiling time and release of oil products in the combustion process. Methodich. instructions for the performance of the test work*. Ulyanovsk, Ulyanovsk Higher Civil Aviation School Publ., 2008. 17 p. (in Russian).
3. Volkov R. S., Voytkov I. S., Vysokomornaya O. V. Features of extinguishing of the liquid fuels and organic flammable liquids by an atomized water flow. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 4, pp. 68–75 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2016.25.04.68-75.
4. Tarasevich S. E., Yakovlev A. B. Calculation of mean diameter of drops at disintegration of liquid jets and films. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Aviatsionnaya tekhnika / Russian Aeronautics*, 2004, no. 4, pp. 52–57 (in Russian).
5. Ivakhnjuk G. K., Matjukhin V. N., Klachkov V. A., Shevchenko A. O., Knjazev A. S., Ivakhnjuk K. G., Ivanov A. V., Rodionov V. A. *Method and apparatus for controlling physical-chemical processes in substance and on a phase boundary*. Patent RU, no. 2479005, publ. date 10.04.2013 (in Russian).
6. Alekseik E. B., Savenkova A. E., Gemish Z. The alternating electric fields on processes and stabilization of air and mechanical foam. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MChS Rossii. Nauchno-analiticheskiy zhurnal / Herald of St. Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia. Scientific and Analytical Magazine*, 2013, no. 4, pp. 44–48 (in Russian). Available at: <http://vestnik.igps.ru/wp-content/uploads/V54/8.pdf> (Accessed 15 April 2017).
7. Tarancev A. A., Chashin A. S. Application of modified water solutions for fire on the objects of railways. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MChS Rossii. Nauchno-analiticheskiy zhurnal / Herald of St. Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia. Scientific and Analytical Magazine*, 2015, no. 2, pp. 30–37 (in Russian). Available at: <http://vestnik.igps.ru/wp-content/uploads/V72/5.pdf> (Accessed 15 April 2017).

8. Stepanov V. P. *Minimization of smoke in building volumes of buildings and structures by the methods of condensation trapping and dispersion of electrophysically modified water*. Cand. tech. sci. diss. Saint Petersburg, 2007. 133 p. (in Russian).
9. Hajiyeve Sh. G., Ivanov A. V., Ivakhnyuk G. K., Kadochnikova E. N. Research extinguishing and thermal insulation properties of hydrogels prepared from modified nanofluids. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MChS Rossii. Nauchno-analiticheskiy zhurnal / Herald of St. Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia. Scientific and Analytical Magazine*, 2014, no. 2, pp. 31–37 (in Russian). Available at: <http://vestnik.igps.ru/wp-content/uploads/V62/4.pdf> (Accessed 15 April 2017).
10. Gadzhiev Sh. G., Ivanov A. V., Kondrashin A. V. Simulation of distance jet modified water-gel extinguishing agents. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere / Problems of Technosphere Risk Management*, 2015, no. 1(33), pp. 60–67 (in Russian).
11. Jiang H., Zhang Q., Shi L. Effective thermal conductivity of carbon nanotube-based nanofluid. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 2015, vol. 55, pp. 76–81. DOI: 10.1016/j.jtice.2015.03.037.
12. Terekhov V. I., Shishkin N. E. Experimental investigation of a nanoliquids drops evaporation in a stream of dry air. *Sovremennaya nauka: issledovaniya, idei, rezultaty, tekhnologii / Modern Science: Researches, Ideas, Results, Technologies*, 2011, no. 2(7), pp. 197–200 (in Russian).
13. Ding Y., Alias H., Wen D., Williams R. A. Heat transfer of aqueous suspensions of carbon nanotubes (CNT nanofluids). *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2006, vol. 49, no. 1-2, pp. 240–250. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2005.07.009.
14. Xie H., Lee H., Youn W., Choi M. Nanofluids containing multiwalled carbon nanotubes and their enhanced thermal conductivities. *Journal of Applied Physics*, 2003, vol. 94, no. 8, pp. 4967–4971. DOI: 10.1063/1.1613374.
15. Amiri A., Shanbedi M., Amiri H., Heris S. Z., Kazi S. N., Chew B. T., Eshghi H. Pool boiling heat transfer of CNT/water nanofluids. *Applied Thermal Engineering*, 2014, vol. 71, no. 1, pp. 450–459. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2014.06.064.
16. Avcinov I. A., Popov G. G. *Problems of carbon nanotubes synthesis*. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta / The Bulletin of Voronezh State Technical University*, 2010, vol. 6, no. 10, pp. 68–71 (in Russian).
17. Ivanov A. V., Ivakhnyuk G. K., Medvedeva L. V. Methods of control properties of hydrocarbon liquids in the problems of fire safety. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 9, pp. 30–37 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2016.25.09.30-37.
18. Bobrynetskiy I. I., Nevolin V. K., Simunin M. M. Technology of production of carbon nanotubes by the method of catalytic pyrolysis of ethanol from the gas phase. *Khimicheskaya tekhnologiya / Chemical Technology*, 2007, vol. 8, no. 2, pp. 58–62 (in Russian).
19. Kovalenko A. A., Eliseev A. A. *Spektroskopiya kombinatsionnogo rasseyaniya* [Spectroscopy of Raman scattering]. Moscow, Lomonosov Moscow State University Publ., 2011. 37 p. (in Russian).
20. Serebrennikov D. S., Dekterev A. A., Fennikov K. A., Lobasova M. S. *Teplomassoobmen* [Heat and mass exchange]. Krasnoyarsk, IPK SFU Publ., 2009. 105 p. (in Russian).
21. Sizov E. G., Bekhovych Yu. V. *Mekhanika i molekulyarnaya fizika. Laboratornyy praktikum* [Mechanics and molecular physics. Laboratory workshop]. Barnaul, Altai State Agricultural University Publ., 2011. 108 p. (in Russian).
22. Sharovarnikov A. F., Melnikov A. I. Experimental studies of fire extinguishing capacity of the water film forming solutions containing fluorinated surfactants. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 9, pp. 74–81 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2015.24.09.74-81.
23. Eizenberg D., Kautzman V. *Struktura i svoystva vody* [Structure and properties of water]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1975. 280 p. (in Russian).
24. Murli C., Song Y. Pressure-induced polymerization of acrylic acid: a raman spectroscopic study. *The Journal of Physical Chemistry B*, 2010, vol. 114, no. 30, pp. 9744–9750. DOI: 10.1021/jp1034757.
25. Tsukida N., Muranaka H., Ide M., Maeda Y., Kitano H. Effect of neutralization of poly(acrylic acid) on the structure of water examined by raman spectroscopy. *The Journal of Physical Chemistry B*, 1997, vol. 101, no. 34, pp. 6676–6679. DOI: 10.1021/jp971210+.
26. Udovitskiy V. G. Methods for estimating the purity and characterization of the properties of carbon nanotubes. *Fizicheskaya inzheneriya poverkhnosti / Physical Surface Engineering*, 2009, vol. 7, no. 4, pp. 351–373 (in Russian).

27. Khaleduzzaman S. S., Mahbubul I. M., Shahrul I. M., Saidur R. Effect of particle concentration, temperature and surfactant on surface tension of nanofluids. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 2013, vol. 49, pp. 110–114. DOI: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2013.10.010.
28. Ivakhnyuk G. K., Kartel N. T., Ivanov A. V., Kapitonenko Z. V. Adsorption and electrophysical methods of synthesis of nanomaterials. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo instituta (Tekhnicheskogo universiteta) / Bulletin of the Saint Petersburg State Institute of Technology (Technical University)*, 2011, no. 12, pp. 58–59 (in Russian).
29. Yu W., Xie H. A review on nanofluids: preparation, stability mechanisms, and applications. *Journal of Nanomaterials*, 2012. 17 p. DOI: 10.1155/2012/435873.
30. Ivanov A. V., Mikhaylova V. I., Ivakhnyuk G. K., Demekhin F. V. Investigation of the characteristics of modified hydrogels for thermal protection of petroleum products tanks. *Pozharovzryvobezопасnost / Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 4, pp. 58–67 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.04.58-67.

For citation: Ivanov A. V., Toropov D. P., Ivakhnyuk G. K., Fedorov A. V., Kuzmin A. A. Research of the extinguishing properties of water and hydrogel with carbon nanoparticles for liquidation burning of the petroleum products. *Pozharovzryvobezопасnost / Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 8, pp. 31–44 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.08.31-44.



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу

Д. Г. Пронин, Д. А. Корольченко

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

— М. : Издательство "ПОЖНАУКА", 2014. — 104 с. : ил.



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

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

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

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

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

Д. А. КОРОЛЬЧЕНКО, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: ICA kbs@mgsu.ru)

А. А. ВОЛКОВ, д-р техн. наук, профессор, член-корреспондент РААСН, ректор Национального исследовательского Московского государственного строительного университета (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: RECTOR@mgsu.ru)

УДК 614.84.664

ТУШЕНИЕ ГОРЮЧИХ ЖИДКОСТЕЙ ПЕНОЙ ИЗ ПЛЕНКООБРАЗУЮЩИХ ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Приведены результаты, полученные в ходе систематических экспериментальных исследований процесса тушения пламени нефтепродуктов подачей пены на горящую поверхность и в основание резервуара. Показано, что единственным способом объективно оценить эффективность пенообразователей является проведение комплексных испытаний, в ходе которых формируются кривые поверхностного и межфазного натяжения водных растворов пенообразователей на границе с углеводородом. В экспериментах использованы фторированные пенообразователи известных марок — Ansulite AFFF, Shtamex AFFF, Light WaterFS 201, CAPSTONE 1183 и Шторм-Ф, а в качестве горючих жидкостей — углеводороды, имеющие разную температуру вспышки. Выявлена общая закономерность зависимости удельного расхода пенообразователей от интенсивности подачи пены, представленная в виде кривых с наличием минимума на них при интенсивности, равной оптимальной. Установлены конкретные характеристики огнетушащей эффективности пены при тушении пламени горючих жидкостей, выраженные комплексом показателей, таких как критическая и оптимальная интенсивность подачи, а также минимальный удельный расход пенообразователя. Показано, что при тушении пламени нефтепродуктов пеной из пленкообразующих пенообразователей значения оптимальной интенсивности и минимального удельного расхода при подслоной подаче пены на 25–30 % ниже, чем при ее подаче на горящую поверхность углеводорода. Сделан вывод, что огнетушащая эффективность испытанных пленкообразующих пенообразователей выше при подслоном способе тушения. Показано также, что разница в показателях огнетушащей эффективности пены при выборе того или иного способа подачи объясняется разрушающим действием сопутствующих факторов: если при подслоном способе тушения пламени нефтепродуктов пена подвергается только воздействию потока тепла от факела пламени, то при подаче сверху она разрушается еще и от соприкосновения с горячей поверхностью нефтепродукта. На основе полученных данных разработана модель процесса тушения нефти путем подачи пены в основание резервуара, учитывающая снижение температуры горячей поверхности в процессе смешивания гомотермического слоя при всплытии пены.

Ключевые слова: тушение нефтепродуктов; подслоное тушение; огнетушащая эффективность; фторированный пленкообразующий пенообразователь; коэффициент растекания; оптимальная интенсивность; минимальный удельный расход.

DOI: 10.18322/PVB.2017.26.08.45-55

Введение

Среди большого количества новых разработок средств тушения пожаров нефти в резервуарах основное внимание уделяется огнетушащей пене. В первых устройствах подачи пены в основание резервуара с нефтепродуктами предусматривалось использование традиционных углеводородных пенообразователей, которые легко смешиваются с нефтью и в силу этого утрачивают огнетушащую эффективность [1, 2]. Для предотвращения контакта пены с горючей жидкостью была предусмотрена система, в которой пена поднимается на горящую поверхность через эла-

стичный рукав [3]. Пену получали с помощью высоконапорного генератора, работающего по принципу эжекции воздуха струей водного раствора. Однако наибольшая эффективность тушения пожара нефти и нефтепродуктов обеспечивается только путем применения пленкообразующих фторсинтетических пенных концентратов, пены на основе которых не смешиваются с углеводородами [4, 5]. Такие пены способны самопроизвольно покрывать поверхность нефтепродуктов водными пленками, стабилизированными фторсодержащими поверхностно-активными веществами (ПАВ) [6].

Противопожарная защита резервуаров с плавающей крышей предусматривает одновременную подачу пены на горящую поверхность и в слой нефтепродукта [7–9]. Пену низкой кратности производят пенные генераторы эжекционного типа. Кратность пены, получаемой с помощью таких генераторов, составляет 4–8 [10]. Для подачи пены в слой горючего и в основание резервуара рекомендуются пленкообразующие пенообразователи ([11], ГОСТ Р 53280.2–2010). Пена, полученная из таких пенообразователей, способна подниматься через слой горючего, не смешиваясь с нефтепродуктом и не утрачивая огнетушащей способности при тушении пламени [12]. На основании приведенных выше нормативных документов принимается, что пена, способная без потерь подниматься через толщу нефтепродукта, должна обладать большей эффективностью тушения пламени при ее подаче непосредственно на горящую поверхность. Однако экспериментальные исследования показали, что чаще всего наблюдается обратная картина, а именно: при подаче пены на горящую поверхность требуется большая интенсивность, а процесс тушения сопровождается повышенным удельным расходом пенообразующего раствора, полученного из пленкообразующих пенообразователей [13–15].

Целью данного исследования является установление конкретных характеристик огнетушащей эффективности пены при тушении пламени горючих жидкостей, выраженных комплексом показателей, таких как критическая и оптимальная интенсивность, а также минимальный удельный расход пенообразователя.

Для этого необходимо решить следующие задачи: определить минимальный удельный расход и оптимальную огнетушащую эффективность пленкообразующих пенообразователей при подаче пены на горящую поверхность и в слой углеводорода и разработать модель процесса тушения путем подачи пены в основание резервуара.

Методы исследования

Для экспериментов были использованы пленкообразующие пенообразователи: Ansulite AFFF, Shtamex AFFF, Light WaterFS 201, CAPSTONE 1183 и Шторм-Ф. Состав пенообразователей отличался как по составу, так и по химической природе фторированного ПАВ (ФПАВ). Единственным способом, по нашему мнению, объективно оценить качество ФПАВ является получение кривых поверхностного и межфазного натяжения водных растворов пенообразователей на границе с углеводородом экспериментальным путем [16, 17].

Перед огневыми испытаниями была измерена зависимость поверхностного и межфазного натяже-

ний от концентрации пенообразователей в водном растворе. Измерение поверхностного натяжения рабочего раствора пенообразователя и межфазного натяжения на границе рабочего раствора с н-гептаном проводилось с использованием метода Де-Нуи.

Время тушения при подаче пены в слой горючей жидкости определяли на лабораторной установке (рис. 1). Сначала приготавливали рабочий раствор пенообразователя. Затем в горелку заливали горючее, после чего жидкость в горелке зажигали. Время свободного горения горючей жидкости составляло (60 ± 5) с. Полученный раствор пенообразователя заливали в стакан электромеханического прибора (миксера), где в течение 30 с происходило образование пены. Полученную пену заливали в разъемный герметичный контейнер и взвешивали на весах, предварительно сняв крышку контейнера. Полученное значение массы заносили в журнал.

Под действием сжатого воздуха пена поступала через трубопровод в нижнюю часть горелки, непосредственно в горючую жидкость. Началом отсчета времени тушения служил момент, когда первая порция пены появлялась на поверхности горючего, а окончанием — полная ликвидация пламени, включая исчезновение его язычков вдоль борта. За результат измерения принималось среднее арифметическое трех значений времени тушения.

Для определения времени тушения и расхода пены применяли метод тушения н-гептана в противне с использованием пены низкой кратности. Испытание проводили на открытом воздухе при температуре $10\text{--}22\text{ }^{\circ}\text{C}$ и скорости ветра вблизи противня не более $1,5\text{ м/с}$. Перед каждым измерением осуществля-



Рис. 1. Экспериментальная установка для определения времени тушения гептана путем подачи пены в слой горючего
Fig. 1. The experimental installation for determining the time of heptane extinguishing by delivery of the foam into the combustible layer



Рис. 2. Процесс тушения пеной низкой (а) и высокой (б) кратности

Fig. 2. The process of fire extinguishing using low (a) and high (b) expansion factor foam

ли контроль температуры н-гептана и рабочего раствора пенообразователя, которая должна составлять $(17,5 \pm 2,5)^\circ\text{C}$. Для экспериментов было приготовлено по 100 дм³ рабочего раствора каждого испытуемого пенообразователя. Пену подавали в центр противня. За время тушения принималось время с момента начала подачи пены до момента прекращения горения (рис. 2).

Результаты и их обсуждение

На рис. 3 представлены результаты экспериментальных измерений поверхностной активности и расчета коэффициента растекания. Коэффициенты растекания водного раствора по гептану и гептана по раствору рассчитывались по соотношениям, приведенным в [1].

Величина поверхностного натяжения раствора пленкообразующего пенообразователя на границе с воздухом составляет 16–19 мН/м, величина межфазного поверхностного натяжения — 1,0–6,0 мН/м. Чтобы обеспечить растекание капли по углеводородам, которые имеют поверхностное натяжение 22,3 мН/м, поверхностное натяжение водного раствора должно быть 17 мН/м, а межфазное натяжение — 2,5 мН/м.

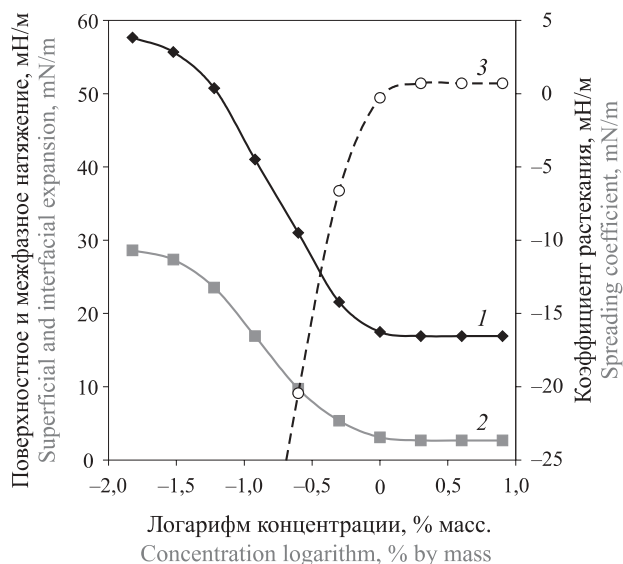


Рис. 3. Изотермы поверхностного (1) и межфазного (2) натяжений и коэффициент растекания (3) пенообразователя “Шторм-Ф” на границе с гептаном

Fig. 3. Isotherm of superficial (1) and interfacial (2) tension and spreading coefficient (3) of Shtorm-F foam generator on the interface with heptane

Пенообразователь “Шторм-Ф” использовался в виде рабочего раствора с концентрацией 6,0 % масс., при которой коэффициент растекания составил 0,9 мН/м, а остальные исследуемые пенообразователи — с такой концентрацией, при которой величина коэффициента растекания была больше нуля.

Для выяснения механизма контактного разрушения пены были проведены исследования зависимости поверхностного и межфазного натяжений от температуры. Как видно из рис. 4, значения поверхностного и межфазного натяжений снижаются по мере роста температуры раствора и гептана, уменьшается также межфазное натяжение на границе водного раствора с нагретым гептаном.

Результаты экспериментальных исследований процесса тушения пламени гептана пеной низкой кратности представлены на рис. 5–7.

Из рис. 4 видно, что скорость снижения поверхностного и межфазного натяжений в зависимости от температуры различна, поэтому коэффициент растекания, рассчитанный на их основе, меняет знак с положительного на отрицательный в условиях повышения температуры более 30°C . Полученные результаты показали, что водные растворы пенообразователя, относящегося к типично пленкообразующим, неспособны формировать водные пленки на поверхности гептана, разогретого до температуры более 35°C . Сравнение коэффициентов растекания раствора по горючему и горючего по водному раствору пенных пленок показывает, что растворы обладают преимущественным смачиванием углеводорода даже при температуре порядка 60°C . При по-

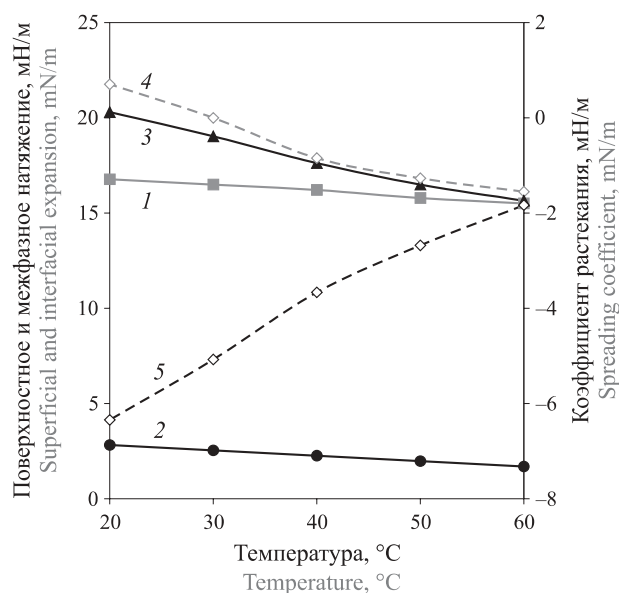


Рис. 4. Влияние температуры на поверхностное (1) и межфазное (2) натяжения пенообразователя “Light WaterFS 201” на границе с гептаном, поверхностное натяжение гептана (3) и на коэффициент растекания раствора по гептану (4) и гептана по раствору (5)

Fig. 4. The influence of temperature on the superficial (1) and interfacial (2) tensions of Light WaterFS 201 foam generator at the interface with heptane, superficial heptane tension (3), coefficient of spreading of solution over heptane (4) and of heptane over solution (5)

даче пены на горящую поверхность гептана разность поверхностных натяжений становится заметной, а поверхностное натяжение гептана будет меньше, чем холодного водного раствора пенообразователя. При этом коэффициент растекания водного раствора по гептану становится отрицательным, и пленка

на нагретой поверхности углеводорода не формируется.

В результатах испытаний всех представленных пленкообразующих пенообразователей прослеживается экстремальная зависимость удельного расхода пенообразующего раствора от интенсивности подачи пены. Положение минимума на кривых удельного расхода соответствует оптимальной интенсивности подачи пены. Оптимальная интенсивность подачи пены на горящую поверхность выше, чем при подаче пены в слой горящих жидкостей. Различие в показателях огнетушащей эффективности пены при различном способе подачи (на поверхность или под слой углеводорода) объясняется различием сопутствующих факторов, которые разрушительно действуют на пену. При любом из способов подачи на тушение происходит разрушение пены под воздействием потока тепла от факела пламени, а при подаче сверху — еще и от соприкосновения с горячей поверхностью нефтепродукта. При подслоной подаче пены нижние холодные слои нефтепродукта поднимаются к поверхности, в результате чего пена растекается по поверхностному слою, температура которого ниже установившейся при свободном горении жидкости. Поток тепла от факела пламени к горячей поверхности сокращается, что приводит к снижению скорости термического разрушения пены, поступающей из-под слоя нефтепродукта.

При подслоной подаче в резервуар пена длительное время контактирует с холодным нефтепродуктом, поднимаясь сквозь него к горячей поверхности. Если коэффициент растекания раствора по горючему близок к нулю, появляется вероятность

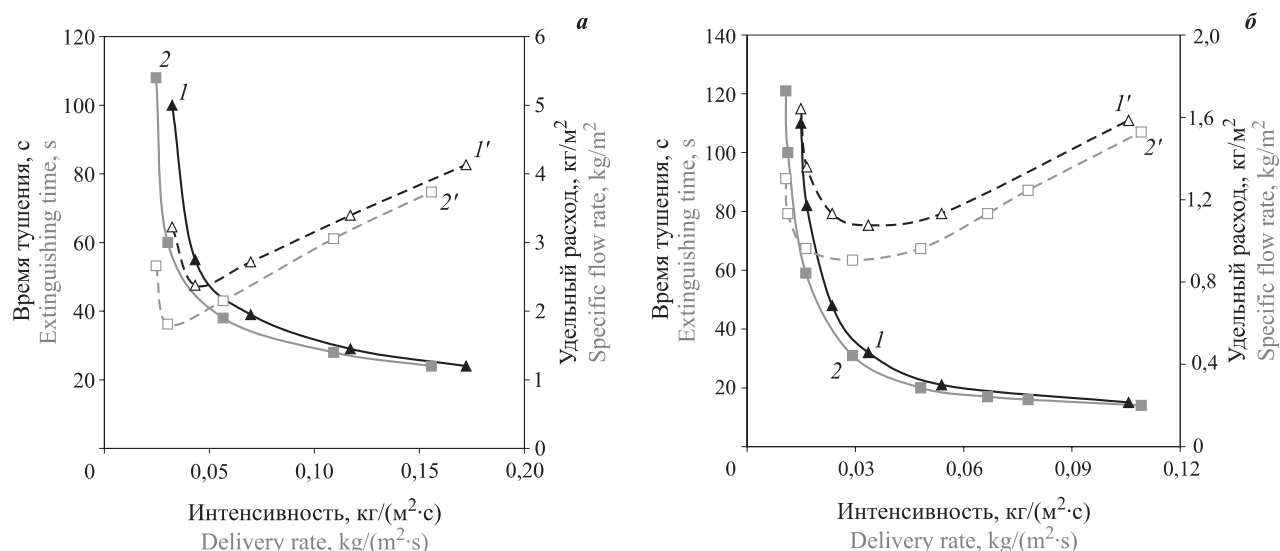


Рис. 5. Зависимость времени тушения пламени гептана (1, 2) и удельного расхода (1', 2') пенообразователя “CAPSTONE 1183” (a) и “Light WaterFS 201” (б) при подаче пены на горящую поверхность (1, 1') и в слой углеводорода (2, 2')

Fig. 5. Functional relationship of the duration of heptane flame extinguishing (1, 2) and specific flow rate (1', 2') of the foam generator CAPSTONE 1183 (a) and Light WaterFS 201 (b) at delivery of foam onto the surface (1, 1') and into the layer of hydrocarbon (2, 2')

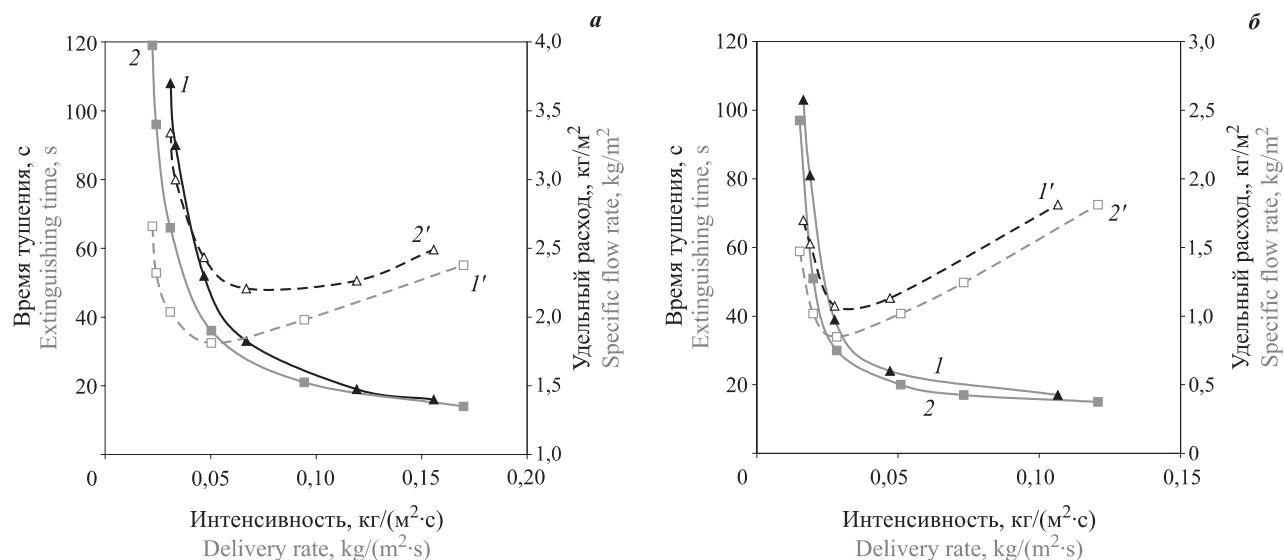


Рис. 6. Зависимость времени тушения пламени гептана (1, 2) и удельного расхода (1', 2') пенообразователя “Ansilite AFFF” (а) и “Shtamex AFFF” (б) при подаче пены на горящую поверхность (1, 1') и в слой углеводорода (2, 2')

Fig. 6. Functional relationship of the duration of heptane flame extinguishing (1, 2) and specific flow rate (1', 2') of the foam generator Ansilite AFFF (a) and Shtamex AFFF (b) at delivery of foam onto the burning surface (1, 1') and into the layer of hydrocarbon (2, 2')

загрязнения пены нефтепродуктом. В результате загрязненная пена частично утрачивает изолирующие свойства и разрушается с большей скоростью в процессе растекания по горячей поверхности.

Таким образом, при подаче пены на горящую поверхность существенным фактором является действие теплового потока и контактное разрушение от нагретого нефтепродукта, тогда как при подсло-

ной подаче наблюдается ослабленное воздействие факела пламени и загрязняющее действие контакта с углеводородом в процессе подъема пены на горящую поверхность.

Анализ процесса тушения пламени нефтепродуктов пеной приведен в работах [2, 7, 9, 15]. Новшеством в анализе процесса тушения, представленном в настоящей статье, стала попытка учесть снижение испарения гептана в результате охлаждения поверхностного слоя нефтепродукта посредством поднимающихся потоков пены, поданной в основание резервуара. В соответствии с [18–21] поток пузырей воздуха, поданный с пеной в основание резервуара, увлекает вверх холодные слои горючей жидкости. При тушении пламени гептана и бензина охлаждение поверхностного слоя даже до комнатной температуры не приводит к потуханию пламени, поскольку бензин имеет температуру вспышки минус 10 °С. В данном случае происходит снижение давления равновесного пара и скорости поступления горючего пара в зону горения, вследствие чего возникает два дополнительных эффекта — снижение температуры поверхностного слоя и сокращение теплового потока от факела пламени. Оба фактора сказываются на снижении удельной скорости термического разрушения пены.

В общем случае скорость испарения жидкости определяется суммой молекулярного и диффузионного потоков пара. С помощью формулы Стефана можно проанализировать влияние основных параметров, изменяющихся в процессе тушения, на скорость испарения горючих жидкостей (ГЖ): температуры поверхности, температуры газовой фазы, толщины диф-

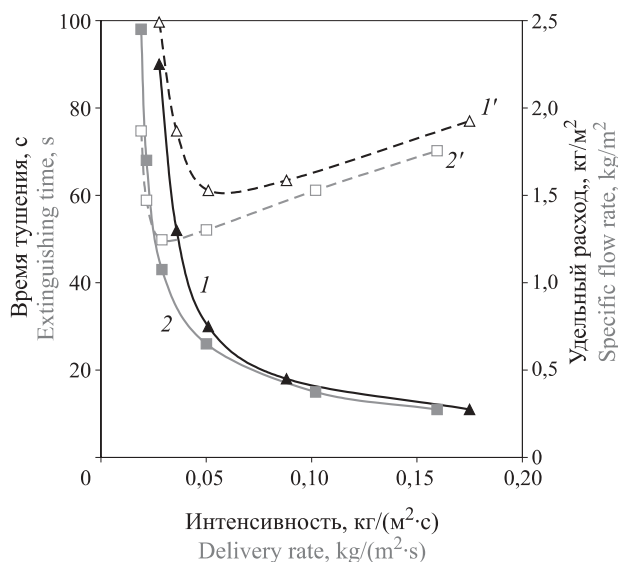


Рис. 7. Зависимость времени тушения пламени гептана (1, 2) и удельного расхода (1', 2') пенообразователя “Шторм Ф” при подаче пены на горящую поверхность (1, 1') и в слой углеводорода (2, 2')

Fig. 7. Functional relationship of the duration of heptane flame extinguishing (1, 2) and specific flow rate (1', 2') of the foam generator Shtorm F at delivery of foam onto the burning surface (1, 1') and into the layer of hydrocarbon (2, 2')

фузионного слоя, структуры молекул горючего, концентрации паров жидкости в окружающей среде:

$$u_m^0 = \frac{D_0}{RT_0} \left(\frac{T_F}{T_0} \right)^n \frac{P_a}{\delta} \ln \frac{P_a - P_1}{P_a - P_s}, \quad (1)$$

где u_m^0 — удельная скорость испарения, кг/(м²·с);
 D_0 — коэффициент диффузии молекул ГЖ в газовой фазе при нормальной температуре T_0 , м²/с;
 R — универсальная газовая постоянная, равная 8,314 Дж/(моль·К);
 T_F — температура газовой фазы, К;
 n — показатель степени, равный для углеводородов приблизительно двум;
 P_a — атмосферное давление, Па;
 δ — толщина диффузионного слоя, м;
 P_1 — давление пара ГЖ в окружающей среде на расстоянии δ от поверхности, Па;
 P_s — давление насыщенного пара ГЖ при температуре поверхности T_s , Па.

В соответствии с формулой Стефана скорость выгорания (испарения при горении) будет настолько высока, насколько велико давление пара жидкости P_s и температура в газовой фазе. При горении величина P_1 , как правило, очень мала, поскольку измеряется в зоне горения, а толщина диффузионного слоя измеряется от поверхности ГЖ до зоны горения. При ламинарном горении ГЖ в цилиндрических горелках величина P_1 равна высоте свободного борта, а при турбулентном горении — фактическому расстоянию до факела пламени. Снижение давления насыщенного пара, происходящее из-за подъема охлажденной жидкости, рассчитывается по уравнению Клаузиуса-Клапейрона:

$$\ln \frac{P_s}{P_0} = -\frac{\Delta H}{R} \left(\frac{1}{T_s} - \frac{1}{T_0} \right), \quad (2)$$

где P_0 — давление насыщенного пара при нормальной температуре, Па;
 ΔH — теплота испарения ГЖ, Дж/кг;
 T_s — температура поверхности при давлении P_s , К.

Снижение температуры поверхностного слоя происходит пропорционально величине потока жидкости, увлекаемого пеной. Расход потока жидкости q_g (кг/с) пропорционален интенсивности подачи воздушной струи [22, 23]. В данном случае поток пены низкой кратности q_F (кг/(м²·с)) определяется из формулы

$$q_g = \beta q_F^{1/3}, \quad (3)$$

где β — коэффициент пропорциональности.

Количество тепла q_o (Дж), поступающее от факела пламени к поверхности горючей жидкости площадью S_o (м²) в стационарном режиме горения, можно выразить через удельную массовую скорость ее

выгорания U'_m (кг/(м²·с)) и удельную теплоту, необходимую для нагревания жидкости до температуры кипения, Q_Γ (Дж/кг) [3]:

$$U'_m = q_o / (Q_\Gamma S_o). \quad (4)$$

Таким образом,

$$q_o = U'_m Q_\Gamma S_o. \quad (5)$$

Учитывая, что примерно такое же количество тепла отводится на прогрев жидкости в глубину, в формулу (5) введем коэффициент 2 и получим:

$$q_o = 2U'_m Q_\Gamma S_o. \quad (6)$$

Принимая, что причиной разрушения пены является нагревание верхнего слоя пенных пузырьков тепловым потоком от факела пламени до температуры кипения, получим формулу для оценки удельной скорости термического разрушения пены U_o (кг/(м²·с)) без учета понижения температуры поверхностного слоя:

$$U_o = 6U'_m Q_\Gamma / Q_B, \quad (7)$$

где Q_B — удельная теплота, необходимая для нагрева воды до температуры кипения, Дж/кг.

При подаче пены в основание резервуара скорость выгорания снижается по мере уменьшения температуры поверхностного слоя в соответствии с формулами (1) и (2). Температура поверхностного слоя при интенсивности подачи пены, равной критической или превышающей ее, равна половине суммы температуры кипения и температуры окружающей среды: $T = (T_k + T_0)/2$. Принимая, что скорость выгорания пропорциональна температуре, и используя формулы (1), (2) и (7), получим выражение для расчета удельной скорости термического разрушения пены при частичном охлаждении горящей поверхности, вызванном подъемом холодной жидкости:

$$U_o = \frac{6U'_m Q_\Gamma}{Q_B} \frac{T_k + T_0}{2}. \quad (8)$$

При анализе материального баланса, полученного в процессе тушения пламени путем подачи пены в основание резервуара, необходимо использовать формулу для расчета удельной скорости термического разрушения пены (8), а при подаче пены на горящую поверхность — формулу (7).

Материальный баланс пены при тушении пламени гептана может быть представлен в виде:

$$\underbrace{q d\tau_T}_{\text{поданная пена}} = \underbrace{\theta S_o (U_T + U_k) d\tau_T}_{\text{потери термические и контактные}} + \underbrace{\rho \bar{h} S_o d\theta}_{\text{накопление}} \quad (9)$$

где q — расход пены, кг/с;

τ_T — время тушения, с;

U_T — средняя удельная скорость термического разрушения, кг/(м²·с);

U_k — средняя удельная скорость контактного разрушения пены, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$;

ρ — средняя плотность пены, $\text{кг}/\text{м}^3$;

h — средняя толщина слоя пены, м;

θ — степень покрытия горячей поверхности пеной.

Из материального баланса можем определить время тушения пламени огнетушащим веществом:

$$\tau_T = -\frac{\rho \bar{h}}{U_T \pm U_k} \ln \left[1 - \frac{S_o (U_T + U_k)}{q} \right]. \quad (10)$$

Обозначим $q/S_o = J$. Разделив числитель и знаменатель выражения под логарифмом на S_o , проведем анализ формулы (10). При равенстве числителя и знаменателя в выражении под логарифмом возникает критическая ситуация, поскольку логарифм нуля равен бесконечности, т. е. время тушения становится бесконечно большим. Такая ситуация, когда $q/S_o \equiv S_o (U_T + U_k)$, называется критической, а выражение $q/S_o = S_o (U_T + U_k) \equiv J_{\text{кр}}$ называется критической интенсивностью подачи пены. Формулу (10) представим в виде, удобном для дальнейшего анализа результатов экспериментов:

$$\tau_T = -\frac{\rho h_0}{J_{\text{кр}}} \left[1 + \left(\frac{J}{J_{\text{кр}}} \right)^n \right] \ln \left(1 - \frac{J_{\text{кр}}}{J} \right). \quad (11)$$

Средняя толщина слоя пены определяется полусуммой минимальной толщины h_0 и толщиной слоя в месте появления (падения) пены h_q , причем $h_q = \beta J^n$. Показатель степени не определен, но, судя по экспериментам, находится в диапазоне от 0,5 до 1,0.

Для удельного расхода $Q = J \tau_T$ получим:

$$Q = -\frac{\rho h_0 J}{J_{\text{кр}}} \left[1 + \left(\frac{J}{J_{\text{кр}}} \right)^n \right] \ln \left(1 - \frac{J_{\text{кр}}}{J} \right). \quad (12)$$

Сопоставление результатов эксперимента с расчетом по формуле (12) показало их удовлетворительное совпадение, что указывает на правильность принятой модели тушения пламени ЛВЖ и ГЖ пеной из пленкообразующих пенообразователей. Выборочная демонстрация сопоставления результатов расчета с экспериментом представлена на рис. 8.

Судя по углу наклона восходящей ветви кривой удельного расхода на рис. 8, показатель степени n в формуле (12) оказался равным 1. При расчетах, сделанных для подслоного способа тушения, использовали формулу термического разрушения пены частично охлажденной, перемешанной, горячей жидкостью.

Закключение

1. В результате систематических экспериментальных исследований процесса тушения пламени нефте-

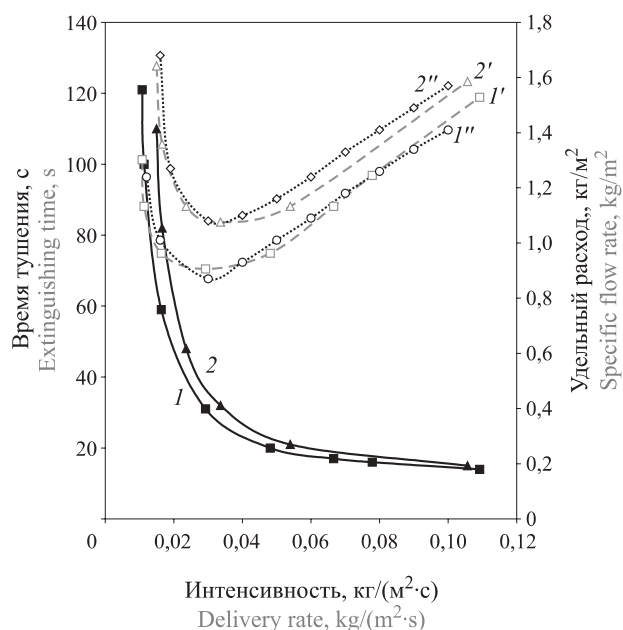


Рис. 8. Зависимость времени тушения гептана (1, 2) и удельного расхода (1', 2') пенообразователя "Light WaterFS 201" (1', 2', 1'', 2'') при подаче пены под слой (1, 1', 1'') и на поверхность гептана (2, 2', 2''): 1, 1', 2, 2' — эксперимент; 1'', 2'' — расчет по формуле (11)

Fig. 8. Functional relationship of the duration of heptane flame extinguishing (1, 2) and specific flow rate (1', 2') of the foam generator Light WaterFS 201 (1', 2', 1'', 2'') at delivery of foam onto the burning surface (1, 1', 1'') and into the layer of hydrocarbon (2, 2', 2''): 1, 1', 2, 2' — experiment; 1'', 2'' — calculation results based on formula (11)

продуктов путем подачи пены на горящую поверхность и в основание резервуара обнаружено наличие общей закономерности зависимости удельного расхода пенообразователей от интенсивности подачи пены. Эта зависимость отображается в виде кривых удельного расхода с наличием минимума на них при интенсивности, равной оптимальной.

2. В результате экспериментов установлены конкретные характеристики огнетушащей эффективности пены при тушении пламени горючих жидкостей, выраженные комплексом показателей, таких как критическая и оптимальная интенсивность, а также минимальный удельный расход пенообразователя.

3. При тушении пламени нефтепродуктов пеной, полученной из пленкообразующих пенообразователей, определили, что оптимальная интенсивность и минимальный удельный расход при подслоной подаче пены на 25–30 % ниже, чем при подаче ее на горящую поверхность углеводорода. Следовательно, огнетушащая эффективность испытанных пленкообразующих пенообразователей выше при подслоном способе тушения пламени углеводородов.

4. Разработанная модель процесса тушения путем подачи пены в основание резервуара учитывает снижение температуры горячей поверхности при пода-

че пены в слой нефтепродукта. Расчеты по выведенным соотношениям показали удовлетворительное

совпадение модельных представлений с результатами экспериментов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шароварников А. Ф., Молчанов В. П., Воевода С. С., Шароварников С. А. Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов. — М. : Изд. дом “Калан”, 2002. — 448 с.
2. Korzeniowski S., Cortina T. Firefighting foams — Reebok redux // *Industrial Fire Journal*. — April 2008. — P. 18–20.
3. Lang Xu-qing, Liu Quan-zhen, Gong Hong. Study of fire fighting system to extinguish full surface fire of large scale floating roof tanks // *Procedia Engineering*. — 2011. — Vol. 11. — P. 189–195. DOI: 10.1016/j.proeng.2011.04.646.
4. Cortina T. The safety & benefits of AFFF agents. Special analysis: Foam // *Industrial Fire Journal*. — June 2007. — P. 70–75.
5. Pabon M., Corpart J. M. Fluorinated surfactants: synthesis, properties, effluent treatment // *Journal of Fluorine Chemistry*. — 2002. — Vol. 114, No. 2. — P. 149–156. DOI: 10.1016/S0022-1139(02)00038-6.
6. Маркеев В. А., Воевода С. С., Корольченко Д. А. Противопожарная защита объектов резервуарного парка ОАО “НК “Роснефть” // *Нефтяное хозяйство*. — 2006. — № 9. — С. 83–85.
7. Korolchenko D. A., Degaev E. N., Sharovarnikov A. F. Determination of the effectiveness of extinguishing foaming agents in the laboratory // 2nd International Conference on Material Engineering and Application (ICMEA 2015). — 2015. — P. 17–22.
8. Nash P., Whittle J. Fighting fires in oil storage tanks using base injection of foam — Part I // *Fire Technology*. — 1978. — Vol. 14, Issue 1. — P. 15–27. DOI: 10.1007/bf01997258.
9. Shaluf I. M., Abdullah S. A. Floating roof storage tank boilover // *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. — 2011. — Vol. 24, Issue 1. — P. 1–7. DOI: 10.1016/j.jlp.2010.06.007.
10. Huang Yinsheng, Wencheng Zhang, Dai Xiaojing, Zhao Yu. Study on water-based fire extinguishing agent formulations and properties // *Procedia Engineering*. — 2012. — Vol. 45. — P. 649–654. DOI: 10.1016/j.proeng.2012.08.217.
11. NFPA 11. Standard for low, medium, and high-expansion foam. Edition 2002. URL: <http://pozhpriekt.ru/nsis/nfpa/NFPA11-2002.pdf> (дата обращения: 07.06.2017)
12. Bergeron V., Walstra P. Chapter 7. Foams // *Fundamentals of Interface and Colloid Science*. — 2005. — Vol. 5. — P. 7.1–7.38. DOI: 10.1016/S1874-5679(05)80011-X.
13. Korolchenko D., Tusnin A., Trushina S., Korolchenko A. Physical parameters of high expansion foam used for fire suppression in high-rise buildings // *International Journal of Applied Engineering Research*. — 2015. — Vol. 10, No. 21. — P. 42541–42548.
14. Schaefer T. H., Dlugogorski B. Z., Kennedy E. M. Sealability properties of fluorine-free fire-fighting foams (FfreeF) // *Fire Technology*. — 2007. — Vol. 44, No. 3. — P. 297–309. DOI: 10.1007/s10694-007-0030-8.
15. Lattimer B. Y., Trelles J. Foam spread over a liquid pool // *Fire Safety Journal*. — 2007. — Vol. 42, Issue 4. — P. 249–264. DOI: 10.1016/j.firesaf.2006.10.004.
16. Korolchenko D., Voevoda S. Influence of dispersion degree of water drops on efficiency of extinguishing of flammable liquids // *MATEC Web of Conferences*. — 2016. — Vol. 86, Art. No. 04056. DOI: 10.1051/matecconf/20168604056.
17. Kennedy M. J., Conroy M. W., Dougherty J. A., Otto N., Williams B. A., Ananth R., Fleming J. W. Bubble coarsening dynamics in fluorinated and non-fluorinated firefighting foams // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. — 2015. — Vol. 470. — P. 268–279. DOI: 10.1016/j.col-surf.2015.01.062.
18. Korolchenko D., Voevoda S. Influence of spreading structure in an aqueous solution-hydrocarbon system on extinguishing of the flame of oil products // *MATEC Web of Conferences*. — 2016. — Vol. 86, Art. No. 04038. DOI: 10.1051/matecconf/20168604038.
19. Абдурагимов И. М., Говоров В. Ю., Макаров В. Е. Физико-химические основы развития и тушения пожаров. — М. : ВИПТШ МВД СССР, 1980. — 255 с.
20. Zhang Qinglin, Wang Lu, Bi Yixing, Xu Dajun, Zhi Huiqiang, Qiu Peifang. Experimental investigation of foam spread and extinguishment of the large-scale methanol pool fire // *Journal of Hazardous Materials*. — 2015. — Vol. 287. — P. 87–92. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2015.01.017.
21. Nurimoto N. Fire extinguishing installations for oil storages injecting foam under the layer of oil product // *Kasay*. — 1977. — Vol. 27, No. 3. — P. 11–19.

22. *Ranjbar H., Shahraki B. H.* Effect of aqueous film-forming foams on the evaporation rate of hydrocarbon fuels // *Chemical Engineering and Technology*. — 2013. — Vol. 36, Issue 2. — P. 295–299. DOI: 10.1002/ceat.201200401.
23. *Kovalchuk N. M., Trybala A., Starov V., Matar O., Ivanova N.* Fluoro- vs hydrocarbon surfactants: Why do they differ in wetting performance? // *Advances in Colloid and Interface Science*. — 2014. — Vol. 210. — P. 65–71. DOI: 10.1016/j.cis.2014.04.003.

Материал поступил в редакцию 12 июня 2017 г.

Для цитирования: *Корольченко Д. А., Волков А. А.* Тушение горючих жидкостей пеной из пленкообразующих пенообразователей // *Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety*. — 2017. — Т. 26, № 8. — С. 45–55. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.08.45-55.

English

EXTINGUISHING OF FLAMMABLE LIQUIDS BY FILM FORMING FOAMING AGENTS

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

VOLKOV A. A., Doctor of Technical Sciences, Professor,
Corresponding Member of Russian Academy of Architecture
and Construction Science, Rector of National Research Moscow
State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26,
Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail: RECTOR@mgsu.ru)

ABSTRACT

This paper describes the results obtained during systematic experimental research of the oil product flame extinguishing process by injecting foam onto the burning surface and to the tank base. As a rule, the same foam generator, compound, chemical formula and proprietary component ratio are used for fire extinguishing using subsurface foam injection and by feeding foam onto the burning surface. The only way to estimate the foam generator efficiency objectively is carrying out comprehensive testing during which curves are plotted for superficial and interfacial tension at the interface of water foam generator solutions with a hydrocarbon. Fluorated foam generators of known brands were used in the experiments: Ansulite AFFF, Shtamex AFFF, Light WaterFS 201, CAPSTONE 1183 and Shtorm-F. Hydrocarbon with different flash temperature was used as combustible liquids. As a result of the conducted experiments, a general regularity was discovered. It is the functional relation between the specific flow rate of foam generators and foam delivery rate shown using curves, the specific flow rate being minimum at the optimum delivery rate. The specific foam extinguishing efficiency characteristics have been determined during combustible liquid flame extinguishing. They are expressed as a complex of indices: critical and optimum delivery rate, and the minimum specific flow rate of the foam generator. The experiment results have shown that during oil product flame extinguishing using film-forming foam generator foam the value of the optimum delivery rate and minimum specific flow rate in case of subsurface foam injection was lower than during feeding of the foam onto the burning hydrocarbon surface by 25 to 30 %. Consequently, the extinguishing efficiency of the tested film-forming foam generators appeared to higher in case of the subsurface extinguishing method. The difference of indices of foam extinguishing efficiency in case of a particular feeding method is due to destructive effect of some contributing factors. While foam is only exposed to flame jet heat flow during the subsurface oil product flame extinguishing, in case of feeding from above foam is also destroyed as a result of the contact with burning oil product surface. Based on the obtained data, a model of the process of oil extinguishing by feeding foam to the tank base was developed. This model takes into consideration decrease of the burning surface temperature during mixing of homothermal layer when the foam emerges.

Keywords: oil extinguishing; subsurface extinguishing; fire extinguishing efficiency; fluorinated film-forming foam generator; spreading coefficient; optimum delivery rate; minimum specific flow rate.

REFERENCES

1. Sharovarnikov A. F., Molchanov V. P., Voevoda S. S., Sharovarnikov S. A. *Tusheniye pozharov nefi i nefteproduktov* [Fire extinguishing of oil and oil products]. Moscow, Kalan Publ., 2002. 448 p. (in Russian).
2. Korzeniowski S., Cortina T. Firefighting foams — Reebok redux. *Industrial Fire Journal*, April 2008, pp. 18–20.
3. Lang Xu-qing, Liu Quan-zhen, Gong Hong. Study of fire fighting system to extinguish full surface fire of large scale floating roof tanks. *Procedia Engineering*, 2011, vol. 11, pp. 189–195. DOI: 10.1016/j.proeng.2011.04.646.
4. Cortina T. The safety & benefits of AFFF agents. Special analysis: Foam. *Industrial Fire Journal*, June 2007, pp. 70–75.
5. Pabon M., Corpart J. M. Fluorinated surfactants: synthesis, properties, effluent treatment. *Journal of Fluorine Chemistry*, 2002, vol. 114, no. 2, pp. 149–156. DOI: 10.1016/S0022-1139(02)00038-6.
6. Markeev V. A., Voevoda S. S., Korolchenko D. A. Fire protection of tank farm objects of Rosneft NK OAO. *Neftyanoye khozyaystvo / Oil Industry*, 2006, issue 9, pp. 83–85 (in Russian).
7. Korolchenko D. A., Degaev E. N., Sharovarnikov A. F. Determination of the effectiveness of extinguishing foaming agents in the laboratory. In: *2nd International Conference on Material Engineering and Application (ICMEA 2015)*, 2015, pp. 17–22.
8. Nash P., Whittle J. Fighting fires in oil storage tanks using base injection of foam — Part I. *Fire Technology*, 1978, vol. 14, issue 1, pp. 15–27. DOI: 10.1007/bf01997258.
9. Shaluf I. M., Abdullah S. A. Floating roof storage tank boilover. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 2011, vol. 24, issue 1, pp. 1–7. DOI: 10.1016/j.jlp.2010.06.007.
10. Huang Yinsheng, Wencheng Zhang, Dai Xiaojing, Zhao Yu. Study on water-based fire extinguishing agent formulations and properties. *Procedia Engineering*, 2012, vol. 45, pp. 649–654. DOI: 10.1016/j.proeng.2012.08.217.
11. NFPA 11. *Standard for low, medium, and high-expansion foam*. Edition 2002. Available at: <http://pozhpoeekt.ru/nsis/nfpa/NFPA11-2002.pdf> (Accessed 7 June 2017).
12. Bergeron V., Walstra P. Chapter 7. Foams. In: *Fundamentals of Interface and Colloid Science*, 2005, vol. 5, pp. 7.1–7.38. DOI: 10.1016/S1874-5679(05)80011-X.
13. Korolchenko D., Tusnin A., Trushina S., Korolchenko A. Physical parameters of high expansion foam used for fire suppression in high-rise buildings. *International Journal of Applied Engineering Research*, 2015, vol. 10, no. 21, pp. 42541–42548.
14. Schaefer T. H., Dlugogorski B. Z., Kennedy E. M. Sealability properties of fluorine-free fire-fighting foams (FfreeF). *Fire Technology*, 2007, vol. 44, issue 3, pp. 297–309. DOI: 10.1007/s10694-007-0030-8.
15. Lattimer B. Y., Trelles J. Foam spread over a liquid pool. *Fire Safety Journal*, 2007, vol. 42, issue 4, pp. 249–264. DOI: 10.1016/j.firesaf.2006.10.004.
16. Korolchenko D., Voevoda S. Influence of dispersion degree of water drops on efficiency of extinguishing of flammable liquids. *MATEC Web of Conferences*, 2016, vol. 86, art. no. 04056. DOI: 10.1051/mateconf/20168604056.
17. Kennedy M. J., Conroy M. W., Dougherty J. A., Otto N., Williams B. A., Ananth R., Fleming J. W. Bubble coarsening dynamics in fluorinated and non-fluorinated firefighting foams. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2015, vol. 470, pp. 268–279. DOI: 10.1016/j.col-surfa.2015.01.062.
18. Korolchenko D., Voevoda S. Influence of spreading structure in an aqueous solution-hydrocarbon system on extinguishing of the flame of oil products. *MATEC Web of Conferences*, 2016, vol. 86, art. no. 04038. DOI: 10.1051/mateconf/20168604038.
19. Abduragimov I. M., Govorov V. Yu., Makarov V. E. *Fiziko-khimicheskiye osnovy razvitiya i tusheniya pozharov* [Physico-chemical basis of development and extinguishing of fires]. Moscow, High Engineering Fire Technical School of Ministry of the Interior of USSR Publ., 1980. 255 p. (in Russian).
20. Zhang Qinglin, Wang Lu, Bi Yixing, Xu Dajun, Zhi Huiqiang, Qiu Peifang. Experimental investigation of foam spread and extinguishment of the large-scale methanol pool fire. *Journal of Hazardous Materials*, 2015, vol. 287, pp. 87–92. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2015.01.017.
21. Nurimoto N. Fire extinguishing installations for oil storages injecting foam under the layer of oil product. *Kasay*, 1977, vol. 27, no. 3, pp. 11–19.

22. Ranjbar H., Shahraki B. H. Effect of aqueous film-forming foams on the evaporation rate of hydrocarbon fuels. *Chemical Engineering and Technology*, 2013, vol. 36, issue 2, pp. 295–299. DOI: 10.1002/ceat.201200401.
23. Kovalchuk N. M., Trybala A., Starov V., Matar O., Ivanova N. Fluoro- vs hydrocarbon surfactants: Why do they differ in wetting performance? *Advances in Colloid and Interface Science*, 2014, vol. 210, pp. 65–71. DOI: 10.1016/j.cis.2014.04.003.

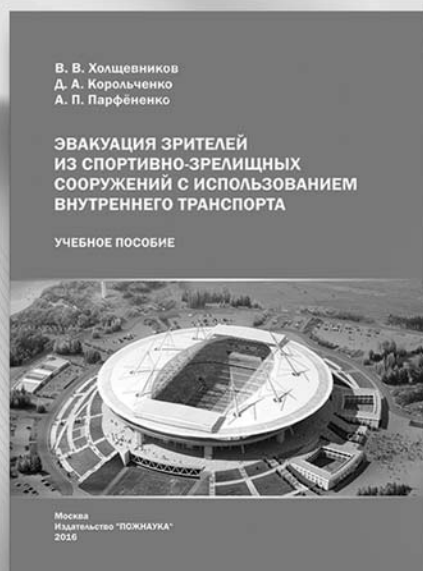
For citation: Korolchenko D. A., Volkov A. A. Extinguishing of flammable liquids by film forming foaming agents. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 8, pp. 45–55 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.08.45-55.



ООО «Издательство «ПОЖНАУКА»

предлагает Вашему вниманию

Учебное пособие



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

ЭВАКУАЦИЯ ЗРИТЕЛЕЙ ИЗ СПОРТИВНО-ЗРЕЛИЩНЫХ СООРУЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВНУТРЕННЕГО ТРАНСПОРТА

М. : Изд-во «ПОЖНАУКА», 2016. — 88 с.

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

Для заказа книги пишите нам по адресу:
121352, г. Москва, а/я 43,
или звоните по телефону
8 (495) 228-09-03.

Вы можете также оформить заказ через электронную почту:
mail@firepress.ru.

С. А. ЗЕЛЕНКОВ, эксперт, ООО “Бюро технологий безопасности”
(Россия, 125252, г. Москва, 3-я Песчаная ул., 2А; e-mail: ZelenkovS@mail.ru)

А. В. ПОДГРУШНЫЙ, канд. техн. наук, доцент, начальник отдела
Управления пожарной безопасности АО “Газпромбанк” (Россия, 117420,
г. Москва, ул. Нагатинская, 16, корп. 1)

А. Н. ДЕНИСОВ, канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры пожарной
тактики и службы, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва,
ул. Бориса Галушкина, 4)

Р. И. БОРДИК, заместитель начальника аварийно-спасательного
отряда № 6, ГКУ “Пожарно-спасательный центр” (Россия, 123103,
г. Москва, просп. Маршала Жукова, 79)

УДК 614.846:721.011.27

КОМБИНИРОВАННЫЙ МЕТОД ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ В ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАСОСНО-РУКАВНОЙ СИСТЕМЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Дан анализ существующих методов подачи огнетушащих веществ для тушения пожара на сверх-высоту — от 100 м и более. Выявлены положительные и отрицательные стороны существующих методов. Предложена принципиально новая насосно-рукавная система подачи воды или ее растворов на высоту более 200 м посредством комбинированного применения двухступенчатых насосов высокого давления и рукавов повышенной прочности, а также с использованием сухотрубов, стационарно установленных в зданиях. Полностью подтверждены теоретические предположения и расчеты в ходе опытно-экспериментальных учений на реальном объекте с наивысшей отметкой 213 м. Приведены результаты эксперимента в виде рабочих характеристик испытываемой насосно-рукавной системы с использованием рукавной линии повышенной прочности диаметром 66 мм и сухотруба 80 мм. Выполнен анализ полученных результатов и основных характеристик имеющихся пожарно-технических средств. Предложены основания для проведения комплексного эксперимента на больших высотах в целях подтверждения граничных условий применения комбинированного метода и выработки методических указаний по применению различных методов подачи воды и ее растворов в различных условиях оперативно-тактической обстановки на пожарах в высотных зданиях.

Ключевые слова: пожаротушение высотных зданий; насосно-рукавная система; двухступенчатые пожарные насосы; пожарные насосы высокого давления; комбинированный метод тушения; передвижная пожарная техника; алгоритм; рукава повышенной прочности.

DOI: 10.18322/PVB.2017.26.08.56-64

Введение. Проблемы тушения пожаров в небоскребах

Современные строящиеся города устремляются ввысь, что обусловлено экономическими соображениями и архитектурными изысками. В данной ситуации пожарная наука обязана внедрить в практику тушения действенный инструмент для решения задач пожаротушения и спасания людей на высотах [1]. При этом необходимо учитывать не только технические особенности подачи огнетушащих веществ на сверхвысоты, но и тактические методы применения современной техники в зависимости от динамически меняющихся условий на пожаре. Тушение пожаров на высоте 100 м и более значительно осложняется многими факторами, а время подачи первого ствола и общее время тушения увеличиваются [2, 3]. По состоянию на 2017 г. число зданий высотой бо-

лее 100 м только в Москве превысило 120, из них 33 — выше 150 м, 15 — выше 200 м и 5 — выше 300 м. И сегодня новые высотные здания вводятся в эксплуатацию регулярно.

Целью исследования является разработка комбинированного метода тушения пожаров и экспериментальное исследование насосно-рукавной системы, в состав которой входят двухступенчатый насос с рабочим давлением до 4 МПа и рукавные линии повышенной прочности сечением 66 мм с рабочим давлением до 3 МПа для доставки жидких огнетушащих веществ (ОТВ) для пожаротушения на высоте более 200 м.

В высотных зданиях основным способом подачи ОТВ считается система интегрированного пожарного водопровода с повышающими насосами и промежуточными емкостями, где это необходимо.

В случае если система сработала в штатном режиме, тушение пожара на больших высотах несильно отличается от пожара в обычном здании при условии наличия и исправной работы пожарных лифтов. Однако философия тушения пожара включает в себя такое понятие, как “автономность”, которое означает следующее: тактика, способы и методы пожаротушения должны обеспечивать выполнение основной задачи на пожаре независимо от интегрированных систем пожаротушения. Нередки случаи, когда стационарная система пожаротушения оказывалась неработоспособной или была разрушена в результате чрезвычайной ситуации, и тогда пожарно-спасательные подразделения вынуждены действовать автономно, используя только передвижную пожарную технику. Так, в 2000 г. при пожаре на Останкинской телебашне было недостаточно стационарных средств для пожаротушения. Вследствие этого тушение проводилось переносными огнетушителями, которые вручную доставлялись пожарными на большую высоту из-за невозможности подачи ОТВ на сверхвысоты [4].

Отдельно стоит вопрос об обеспечении пожарной безопасности на строящихся высотных объектах. Зачастую на таких объектах неработоспособны или вообще отсутствуют стационарные системы пожаротушения. Так, например, во время пожара на строящейся башне “Восток” комплекса “Федерация” ММДЦ “Москва-Сити” 2 апреля 2012 г. на высоте 240 м (65-й этаж) на горящих уровнях системы объектового пожаротушения отсутствовали, так как заканчивались в районе 60-го этажа, а мотопомпа для повышения давления не запустилась. В связи с этим тушение осложнялось тем, что для подачи ОТВ необходимо было разместить несколько мотопомп по высотам для обеспечения схемы работы в перекачку, что заняло более 2 ч [5]. Недавний пожар в июне 2017 г. в Greenfell Tower в Лондоне только по официальной статистике унес не менее 80 человеческих жизней, что в очередной раз доказывает актуальность совершенствования средств и методов пожаротушения в высотных зданиях. В августе 2017 г. в 79-этажном небоскребе The Torch Tower в Дубаи произошел очередной пожар, а первый случился в 2015 г. К сожалению, даже новые здания, построенные по современным нормативам пожарной безопасности, не застрахованы от пожаров.

Одним из современных методов тушения сегодня является подача на высотный пожар газифицированной пены за счет сжатого воздуха с помощью специальной установки. При этом происходит образование пены в насосной установке на пожарном автомобиле, расположенном на уровне земли. Такие установки способны подавать ОТВ на высоту до 400 м по стандартным рукавам благодаря значи-

тельно меньшему весу пены в сравнении с водой и, как следствие, значительному снижению гидростатического давления [6]. В случае остановки потока пены в рукавной системе происходит ее разрушение, поэтому для возобновления движения потока огнетушащего вещества требуется время. Высокая динамическая вязкость пены приводит к тому, что в некоторых случаях при остановке потока невозможен его запуск вновь, и тогда требуется замена линии. Особое внимание необходимо уделять прокладке рукавной линии. Это связано с тем, что при заломах рукава поток пены не может расправить его самостоятельно, что приводит к нарушению ламинарного течения и, как следствие, к разрушению пены [7]. Максимальная высота подачи пены с помощью сжатого воздуха, по заявлениям представителей Sky CAFS, составляет 396 м. При проведении пожарно-тактического учения на Останкинской телебашне 10 июля 2014 г. пену по рукавной линии диаметром 77 мм удалось подать на высоту 340 м. Однако через несколько минут работы произошел разрыв рукавной линии, после устранения которого максимальная высота подачи пены сократилась до 290 м [8].

Другим инновационным методом тушения является технология температурно-активированной воды (ТАВ). “Максимальная высота подачи ТАВ, которая была достигнута при практических испытаниях, составляет 298 м. Стоит учитывать, что для подачи ТАВ используются специальные рукава, способные выдерживать температуру до 300 °С и давление до 10,0 МПа. Эти рукава отличаются исполнением и значительно тяжелее, чем обычные, поэтому время на их прокладку будет выше, чем у обычных рукавов” [8].

Не менее инновационным способом является тушение пожара тонкораспыленной водой с гидробразивной резкой. Насосы в таких установках создают давление до 30 МПа. Вот, казалось бы, решение для тушения пожаров на больших высотах, но и тут есть свои особенности. Такие системы спроектированы таким образом, что для эффективной режущей и распыляющей способности на стволе должно поддерживаться высокое давление. Однако, в силу того что шланг сверхвысокого давления имеет малое сечение и, как следствие, высокое удельное динамическое сопротивление потоку воды, при значительном удалении эффективность таких систем снижается. Стандартная длина шланга таких установок не превышает 100 м [9]. Экспериментально доказано, что режущая способность сохраняется при общей длине линии 350 м.

Для зданий высотой до 150 м возможно применение способа, при котором два пожарных насоса включаются последовательно один за другим. Такой

метод подачи учитывает то, что давление двух центробежных насосов, соединенных последовательно, складывается. При такой схеме есть ограничение: во всасывающей полости насоса давление не может превышать 0,5–0,9 МПа (в зависимости от типа насоса). При большем давлении нарушается герметичность уплотняющих сальников центробежного насоса и в качестве защитной меры срабатывает предохранительный клапан. Исходя из рабочих характеристик первой ступени насоса (на примере Rosenbauer N(H)25), давление не может быть более 1,5 МПа. Таким образом, сложив давления последовательных насосов, получим, что максимальное давление на выходе может составить до 2,4 МПа. При этом важно учитывать, что производителями пожарных насосов не предусмотрены режимы работы первой ступени насоса при давлении выше 1,8 МПа на выходе, поэтому такие режимы используются как крайняя мера. И даже при работе на предельных режимах, при давлении на стволе 0,30–0,35 МПа, насоса — 2,4 МПа и падении давления в силу динамического сопротивления в линии, высота подачи ОТВ не может быть более 190 м, а при штатных режимах — более 150 м [2].

В тех случаях, когда высота здания превышает 150 м, необходимо применять способ перекачки. Для этого используются промежуточные мобильные насосные станции, устанавливаемые на разных этажах здания на расстояниях, не превышающих высоту создаваемого ими гидростатического давления. В случае применения разнотипных мотопомп для стабильной работы схемы необходимо использовать промежуточные емкости.

В любом случае при организации доставки воды на высоту методом перекачки возникает ряд задач, которые необходимо решать в оперативном порядке, на что уходит драгоценное время. При этом следует учитывать, что мобильные насосные установки не распространены в Московском гарнизоне и сосредоточены в основном в одном месте. Кроме того, необходимы средства для подъема мотопомп на высоту, поскольку реализация этой задачи вручную не всегда выполнима или требует недопустимо много времени [10].

Материалы и методы. Применение двухступенчатых насосов высокого давления

Двухступенчатые насосы высокого давления для пожаротушения предусматривается применять в комбинации со специальным жестким рукавом высокого давления на катушке с ограниченным радиусом действия и малым сечением. Это обстоятельство ограничивает использование потенциала насоса в связи с удаленностью позиции ствольщика. Важно

то, что большое удельное сопротивление рукава малого диаметра и, как следствие, значительное падение давления в линии не позволяют подавать воду на большие высоты. Стоит отметить, что в такой линии длиной 60 м потери давления составляют около 2 МПа и для ствола высокого давления остается всего половина от создаваемой насосом энергии. В силу большого удельного веса штатного рукава высокого давления прокладка его на высоту затруднительна, а в некоторых случаях без подъемных механизмов невыполнима [11]. В связи с этим применение второй ступени насосов высокого давления позволяет тушить лишь небольшие пожары при незначительном удалении от насоса автоцистерны, а также на малых высотах.

Давление, создаваемое двухступенчатыми насосами, превышает давление одноступенчатых в 2,5–4 раза, в связи с чем использование стандартных рукавов и рукавной арматуры совместно с насосами высокого давления представляется весьма сомнительным. Однако на современном этапе развития технологий промышленностью производятся надежные рукава повышенной прочности с отличными техническими характеристиками. На оснащении пожарно-спасательных подразделений имеются рукава с рабочим давлением до 3,0 МПа и разрывным давлением до 6,0 МПа. Такие рукава используются в основном для тушения пожаров в подземных сооружениях метрополитена, где давление воды в рукавах возрастает за счет гидростатического давления из-за большой разницы высотных отметок расположения насоса и ствола на позиции тушения пожара. В настоящий момент использование имеющихся рукавов повышенной прочности для подачи воды на высоту не представляется возможным в силу отсутствия возможности соединения с двухступенчатыми насосами высокого давления, а главное отсутствия методики организации таких насосно-рукавных систем и способов их применения.

В настоящей статье рассматривается методика подачи ОТВ в высотные здания и объекты, включающая в себя технические и тактические решения. С технической стороны необходима такая насосно-рукавная система, которая позволит использовать весь потенциал насоса высокого давления для преодоления гидростатического и динамического давления и обеспечить подачу ОТВ на высоту. Для решения этой задачи нужно создать интерфейс между разнотипными системами и подобрать рукавные линии, способные работать совместно с насосами высокого давления.

С тактической точки зрения необходима методика прокладки рукавной линии на высоту. Для качественной и быстрой прокладки линии требуется слаженная работа подразделений, проводящих раз-

вертывание, а где это возможно — параллельно согласованная работа на разных участках.

Теоретические основы. Обоснование выбора элементов для насосно-рукавной системы

Выбор типа линии является важным вопросом. Рукавную линию сечением 66 мм в данном случае можно считать “золотой серединой”. Рукава диаметром 51 мм обладают большим динамическим сопротивлением, что сильно снижает эффективность всей системы. Соединительные головки для 77-мм линий не производятся для давления свыше 1,6 МПа в соответствии с ГОСТ Р 53279–2009. Это связано с резким увеличением нагрузки на соединительные кльки из-за квадратичного увеличения площади сечения с ростом диаметра. В свою очередь, увеличение диаметра рукава с 66 до 77 мм при расходе до 10 л/с не дает значительного преимущества. Стоит учитывать, что вес самих рукавов диаметром 77 мм замедляет их прокладку, а большее количество воды для наполнения увеличивает время подачи первого ствола и нагрузку на рукавные задержки при работе. Не стоит забывать и про так называемый “мертвый объем”, который не может быть использован при тушении и всегда остается в линии. Для сравнения, в рукавах диаметром 77 мм он на 35 % больше, чем в 66-мм линии. Это актуально для тех случаев, когда автомобиль не установлен на водоисточник. На рис. 1 представлено семейство теоретически рассчитанных характеристик, показывающих максимально достижимую высоту подачи ОТВ при различных условиях. На графике наглядно видно обоснование выбора типа линии. На данный момент на

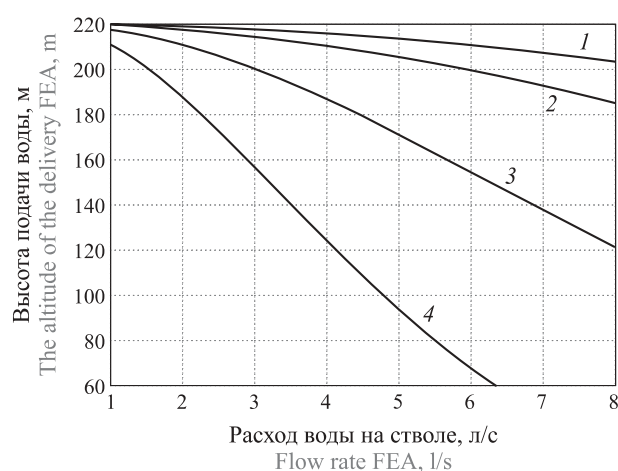


Рис. 1. Зависимость максимальной высоты подачи ОТВ от его расхода и диаметра рукавов (давление насоса 2,5 МПа и на стволе 0,3 МПа): 1 — 77 мм, сухотруб; 2 — 66 мм; 3 — 51 мм; 4 — 38 мм

Fig. 1. The maximum altitude of the delivery as function on flow rate FEA and the diameter of the hose: 1 — 77 mm, dry pipe; 2 — 66 mm; 3 — 51 mm; 4 — 38 mm

оснащении подразделений Московского пожарно-спасательного гарнизона рукава с рабочим давлением 30 МПа имеются в достаточном количестве и готовы к применению.

Важным связующим элементом комбинированного метода подачи воды на высоту является специально разработанный переходник между головкой STORZ 38 и головкой по ГОСТ Р 53279–2009 “Богдановская” диаметром 66 мм, выполненный из латуни с рабочим давлением до 4 МПа и испытанный при давлении до 6 МПа.

Для прокладки рукавной линии на высоту существует два основных способа — вертикальный и ползучий по лестничному маршу. Из расчетов видно, что ползучая прокладка проигрывает по эффективности вертикальной примерно в 1,5 раза. Вертикальная прокладка по внешней части на высотном здании затруднительна, опасна, да и маловероятна, поскольку большая часть высотных зданий полностью застеклена. Однако вертикальную схему можно обеспечить по лестничному маршу незадымляемой лестничной клетки (основной или аварийной), который в обязательном порядке присутствует в любом здании. Для этого необходимо пропустить линию между пролетами марша максимально прямолинейно, что в конечном счете будет сильно влиять на эффективность работы системы в целом. Во время прокладки необходимо учитывать удлинение рукавов при наполнении линии, иначе не избежать заломов и изгибов и, как следствие, снижения эффективности работы системы. Преимуществами данного способа являются скорость прокладки, доступный контроль работы линии и легкость замены рукава в случае прорыва. В современном строительстве обязательно предусматривается в каждой пожарной секции дома наличие специальных лифтов, работающих в режиме транспортировки пожарных подразделений. Это очень важно, поскольку наиболее быстро и качественно можно проложить линию именно сверху вниз, правда при этом важна слаженная работа подразделений.

Предложенная схема подачи ОТВ еще более эффективно может быть реализована при использовании ее совместно с интегрированным в здание сухотрубом. Такой способ дает существенные преимущества по скорости сборки схемы, поскольку нет необходимости в вертикальной прокладке, и по удобству забора ОТВ на различных этажах во время динамически меняющейся обстановки на пожаре. Важной особенностью является также наличие в нижней части сухотруба соединительной головки Ø66 мм. К сожалению, большинство сухотрубов имеют арматуру Ø77 мм, которая не обеспечивает необходимой прочности по давлению для работы на высотах более 120 м.

Результаты и их обсуждение. Рабочий водяной ствол на высоте более 200 м непосредственно от насоса

Первые практические испытания были проведены в октябре 2015 г. с использованием сухотруба на коленчатом подъемнике F 90 HLA. В ходе эксперимента была реализована подача ОТВ на отметку 85 м комбинированным методом и получено практическое подтверждение работоспособности теоретических предположений. Кроме того, созданы предпосылки для проведения опытно-экспериментальных учений на объектах с высотами более 200 м с испытанием рукавной линии повышенной прочности, а также сухотруба, интегрированного в здание.

Первые опытно-экспериментальные учения были проведены в Москве в августе 2016 г. в жилом здании высотой 213 м на Мосфильмовской улице (рис. 2). В эксперименте был использован двухступенчатый насос Rosenbauer N(H)25 с рабочими параметрами 4 МПа при расходе до 400 л/мин (или 6,6 л/с) и рукава повышенной прочности Ziegler Pioneer 500 Ø66 мм с рабочим давлением 2,5 МПа. Высота рабочего ствола на крыше составила 203 м от уровня насоса. В ходе учений были опробованы три схемы: с рукавной линией Ø66 мм; с использованием сухотруба Ø80 мм; традиционная схема из насоса в насос с использованием ступени нормального давления. Прокладка напорной рукавной линии осуществлялась по эвакуационному лестничному маршу прямолинейно между пролетами с выходом на крышу. При использовании сухотруба верхняя часть линии высотой 30 м была проложена рукавами Ø66 мм, поскольку сухотруб не доходил до крыши в силу особенностей планировки верхних этажей здания. В точке перехода сухотруба в рукавную линию был

установлен манометр для объективной оценки работы системы.

Расчет расхода ствола обеспечивался измерением времени наполнения емкости фиксированного объема, что в свою очередь дает хорошую точность измерения при времени наполнения от 30 до 180 с. В ходе эксперимента был получен ряд рабочих характеристик испытываемых насосно-рукавных систем по подаче ОТВ. Измерение давления проводилось с помощью интегрированного на автоцистерне манометра, не обладающего гидростабилизацией, что объясняет некоторый разброс полученных результатов. Математическая аппроксимация данных показала, что они соответствуют теоретическим закономерностям. На рис. 3 и 4 приведены результаты, полученные в ходе эксперимента. Сплошной линией представлены измеренные данные, пунктиром — математические аппроксимации.

Анализ полученных в экспериментах результатов (см. рис. 3 и 4) и сравнение их с характеристиками ранее использовавшихся методов показали следующие преимущества нового метода. Достигнутые значения высоты подачи ОТВ значительно превосходят показатели не только систем с последовательно включенными одноступенчатыми насосами, но и всех других схем, существовавших ранее, за исключением метода в перекачку. Однако новый метод в сравнении с перекачкой может быть реализован при меньшем количестве личного состава и техники, а также за меньшее время.

Полученные расходы ОТВ на высоте более 200 м при запитывании от насоса высокого давления составляют 4–6 л/с (см. рис. 3 и 4), что меньше производительности первой ступени, но достаточно для работы 1–2 стволов. К тому же современные мировые



Рис. 2. Жилой комплекс на Мосфильмовской улице

Fig. 2. Apartment complex on Mosfilmovskaya street



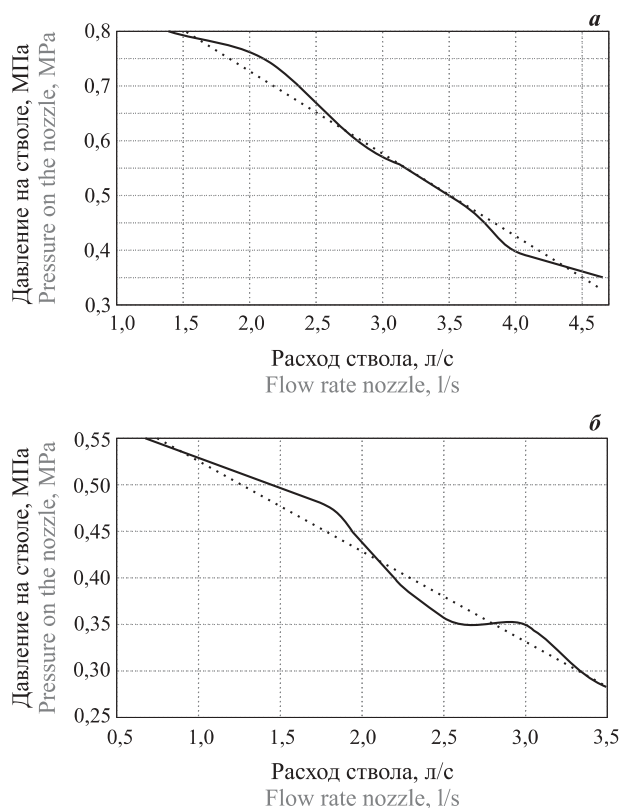


Рис. 3. Зависимость давления на стволе от расхода ОТВ при давлении насоса 2,5 МПа: а — рукавная линия Ø77 мм; б — сухотруб Ø80 мм

Fig. 3. A function of pump pressure and flow rate at constant pressure of nozzle 2.5 MPa: а — hoses Ø77 mm; б — dry pipe Ø80 mm

исследования пожаров в высотных зданиях показывают, что в большинстве случаев пожар может быть ликвидирован значительно меньшим количеством воды, чем в обычном здании, благодаря более жестким нормам пожарной безопасности строительства для высотных зданий и, как правило, меньшей горючей нагрузке [12, 13]. Учитывая нормативную интенсивность подачи ОТВ, можно говорить о том, что комбинированным методом от одного насоса может быть потушен пожар на площади от 40 до 100 м² в зависимости от категории здания [14].

Применение комбинированного метода с использованием сухотруба позволяет существенно сократить время до подачи первого ствола и затраты ресурса личного состава на прокладку линии, которые, в свою очередь, могут быть направлены на решение других задач на пожаре.

Выводы

Интенсивность высотного строительства в мегаполисах растет с каждым годом, а значит, и способы решения задач подачи воды для тушения пожаров должны совершенствоваться, чтобы обеспечить пожарные подразделения техническими средствами и

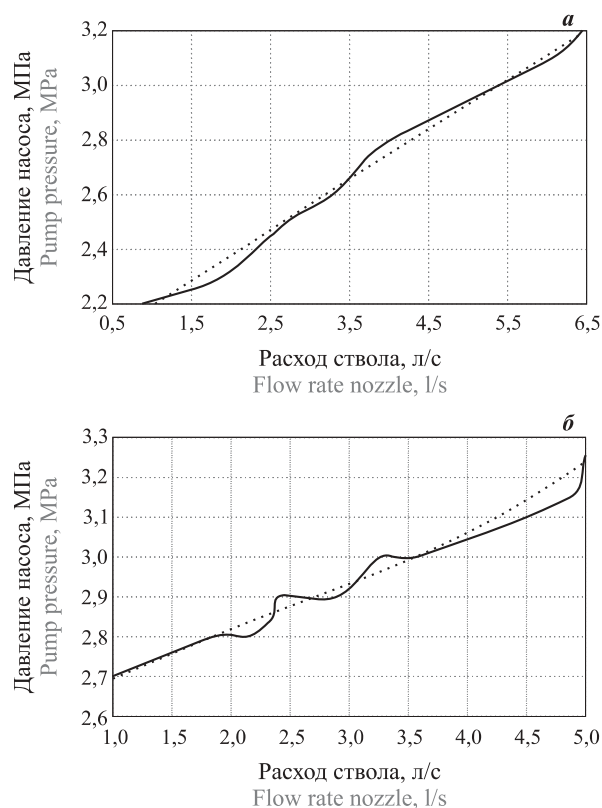


Рис. 4. Зависимость расхода ОТВ от давления насоса: а — давление на стволе 0,6 МПа, рукавная линия Ø77 мм; б — давление на стволе 0,7 МПа, сухотруб Ø80 мм

Fig. 4. A function of pump pressure and flow rate at constant pressure of nozzle: а — 0.6 MPa, hoses Ø77 mm; б — 0.7 MPa, dry pipe Ø80 mm

методами быстрого и эффективного тушения пожаров. Существующие методы устарели в современном мире небоскребов и либо не обеспечивают тушение на требуемых высотах, либо очень сложны и требуют много сил и средств для их реализации.

В настоящей работе предложена новая комбинированная насосно-рукавная система подачи ОТВ на высоту от двухступенчатого насоса высокого давления с использованием рукавов повышенной прочности и специального переходного соединения. Предложенная схема позволяет направить всю мощность двигателя пожарной автоцистерны посредством двухступенчатого насоса высокого давления на преодоление гидростатического и динамического давления, что при некотором снижении производительности в сравнении с одноступенчатым насосом обеспечивает доставку воды на недостижимые ранее высоты непосредственно от насоса. В случае необходимости повысить производительность данного метода можно параллельно масштабировать предложенный способ, что добавит надежность при переключениях или повреждениях на линии.

Одной из особенностей нового метода является то, что все элементы (в особенности дорогостоящие,

такие как насосы высокого давления и рукава повышенной прочности) уже имеются в достаточном количестве и используются в различных гарнизонах России. Для реализации данного метода при тушении пожаров необходим минимум дополнительно оборудования, а именно переходники для обеспечения интеграции разнотипных систем. Важной частью внедрения новой схемы является разработка методических указаний по использованию различных схем подачи ОТВ в разных условиях оперативно-тактической обстановки на пожарах в высотных зданиях. Не менее важна разработка указаний по проведению периодических испытаний элементов насосно-рукавной системы, которая должна надежно и безопасно работать при давлениях до 4 МПа. Анализ результатов и расчеты показали воз-

можность подачи жидких ОТВ на высоты свыше 200 м. Проведенные на реальном объекте испытания подтвердили теоретические предположения.

Анализ рабочих характеристик последних образцов пожарных двухступенчатых насосов высокого давления Rosenbauer NH 55 и предварительные расчеты дают предпосылки для проведения опытно-экспериментальных учений на высотах более 350 м в целях определения максимальных возможностей высотного способа подачи и выявления граничных условий его применения. По результатам очередных опытно-экспериментальных учений можно разработать методические указания для пожарно-спасательных подразделений по подаче ОТВ на высоты от 150 до 370 м для тушения пожаров в различных динамически меняющихся условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кирюханцев Е. Е., Иванов В. Н. О повышении эффективности тушения пожаров в высотных зданиях // Технологии техносферной безопасности. — 2013. — № 5(51). — 5 с.
2. Подгруппный А. В., Денисов А. Н., Хонг Ч. Д. Современные проблемы тушения пожаров в зданиях повышенной этажности и высотных зданиях // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2007. — Т. 16, № 6. — С. 53–57.
3. Xiuyu Liu, Hao Zhang, Qingming Zhu. Factor analysis of high-rise building fires reasons and fire protection measures // *Procedia Engineering*. — 2012. — Vol. 45. — P. 643–648. DOI: 10.1016/j.proeng.2012.08.216.
4. Теребнев В. В., Подгруппный А. В., Артемьев Н. С. Пожаротушение в зданиях повышенной этажности. — М.: Академия ГПС МЧС России, 2009. — 117 с.
5. Теленков А. М. Как мы тушили башню // Системы безопасности. — 2012. — № 3. — С. 118–120.
6. Xie Hao. Heavy compressed air foam truck applied to high-rise building fires // *Procedia Engineering*. — 2013. — Vol. 52. — P. 458–467. DOI: 10.1016/j.proeng.2013.02.169.
7. Wang Huai-bin, Xie Hao. Research on application of heavy compressed air foam truck applied in high-rise building fires // *Procedia Engineering*. — 2014. — Vol. 71. — P. 276–285. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.04.040.
8. Семенов Р. А. Исследование тушения пожаров в высотных зданиях на этапе строительства // Технологии техносферной безопасности. — 2015. — № 3(61). — С. 145–152.
9. Теленков А. М. Инновационные технологии пожаротушения. Возможности тонкораспыленной воды // Пожарная безопасность: каталог. — 2014. — С. 104.
10. Карама Е. А., Арканов П. В., Дьяков М. В. Способы подачи огнетушащих веществ по насосно-рукавным системам в высотные здания // Техносферная безопасность. — 2016. — № 2(11). — С. 61–66.
11. Усманов Р. А., Лавровский А. Н., Денисов А. Н. Обоснование проблемы моделирования оперативно-тактических действий при тушении пожаров в высотных зданиях // Технологии техносферной безопасности. — 2016. — № 5(69). — С. 87–93.
12. Drzymala T., Kieliszek S., Szutkowski M. An analysis of water supply system requirements to enhance fire safety in high rise residential accommodation // *Bezpieczenstwo i Technika Pozarnicza*. — 2016. — Vol. 43, Issue 3. — P. 275–284. DOI: 10.12845/bitp.43.3.2016.25.
13. Казакова В. А., Терещенко А. Г., Недвига Е. С. Пожарная безопасность высотных multifunctional зданий // Строительство уникальных зданий и сооружений. — 2014. — № 3(18). — С. 38–56.
14. Тербнев В. В., Артемьев Н. С., Грачев В. А. Справочник спасателя-пожарного. — М.: Центр пропаганды, 2006. — 527 с.

Материал поступил в редакцию 9 августа 2017 г.

Для цитирования: Зеленков С. А., Подгруппный А. В., Денисов А. Н., Бордик Р. И. Комбинированный метод тушения пожаров в высотных зданиях с использованием насосно-рукавной системы высокого давления // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2017. — Т. 26, № 8. — С. 56–64. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.08.56-64.

COMBINED METHOD OF EXTINGUISHING FIRES IN HIGH-RISE BUILDINGS USING HOSE-PUMP HIGH PRESSURE SYSTEM

ZELENKOV S. A., Expert, LLC "Safety Technologies Bureau"

(3-ya Peschanaya St., 2A, Moscow, 125252, Russian Federation;

e-mail: ZelenkovS@mail.ru)

PODGRUSHNYY A. V., Candidate of Technical Sciences, Associate

Professor, Head of Fire Safety Department of JSC "Gazprombank"

(Nametkina St., 16, Moscow, 117420, Russian Federation)

DENISOV A. N., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,

Professor of the Department of Fire Tactics and Service, State Fire

Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366,

Russian Federation)

BORDIK R. I., Deputy Chief of Rescue Unit 6, Moscow Fire Rescue

Center (Marshala Zhukova Avenue, 79, Moscow, 123103, Russian Federation)

ABSTRACT

The purpose of this research is to design and experimental testing of a prototype system, which combines the use of a high pressure pump and reinforced hose to deliver suitable flow rates of liquid fire extinguishing agents (FEA) to firefighters in high-rise buildings at altitudes in excess of 200 m. The main components consist of a high pressure fire pump, coupled with 66 mm diameter reinforced high-strength delivery hoses.

For altitudes up to 150 meters, it is permissible to use the traditional methods in which two centrifugal pumps connected in relay, the pressures achieved using relayed pumps in sync more than meet the needs of operations at this height. Issues are encountered, when it is necessary to push a column of water more than 150 meters, it is necessary to use alternative methods. To counter the issue, a holistic approach is required, encompassing a new strategy with modern equipment and methods of extinguishing fires at high altitudes.

The new researched method tested combines the use of hoses of high strength with a working pressure of 3–4 MPa in conjunction with the high-pressure pump, for the purpose of the research, the chosen is a Rosenbauer NH25 with a parameters of 4 MPa at 6.6 l/s. The choice of high tensile strength hose is an important issue. As a result of calculations and comparative analysis of equipment, hoses of 66 mm diameter were determined as being the "Golden mean". Another important element of the system is a specially designed adapter between the connections STORZ 38 and GOST R 53279–2009 66 mm "Bogdanovskaya".

In experimental exercises using an high rise with a height of 213 meters, a two-stage pump Rosenbauer N(H)25, and hoses of high strength Ziegler Pioneer 500 with a working pressure of 2.5 MPa, Ø66 mm was deployed and dry pipe Ø80 mm. It is also a very effective option if a dry pipe system can be intergrated into the method. There is no time for delivery of the vertical line and pic up of the FEA can be introduced on different floors. Theoretical estimates were confirmed in the conducted experiment, which proves the possibility of application. In comparison with existing methods, it as the obvious advantages of reduced time to deploy and much reduced manpower requirements. Analysis of working characteristics of the latter, samples high-pressure pumps Rosenbauer NH55, and the calculations, give the prerequisites for carrying out experimental exercises at altitudes of more than 350 meters to determine the maximum potential and development of recommendations for fire brigade use.

Keywords: high-rise firefighting; high pressure vertical multistage pumps; two-stage pumps in fire-fighting; high pressure firefighting pumps; combined method high-rise extinguishing; mobile high-rise firefighting equipment; algorithm; reinforced hoses.

REFERENCES

1. Kirukhancev E. E., Ivanov V. N. On improving the efficiency extinguishing fires in high-rise buildings. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti / Technology of Technosphere Safety*, 2013, no. 5(51). 5 p. (in Russian).
2. Podgrushnyy A. V., Denisov A. N., Hong C. D. Modern problems of fighting fires in high-rise buildings. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2007, vol. 16, no. 6, pp. 53–57 (in Russian).
3. Xiuyu Liu, Hao Zhang, Qingming Zhu. Factor analysis of high-rise building fires reasons and fire protection measures. *Procedia Engineering*, 2012, vol. 45, pp. 643–648. DOI: 10.1016/j.proeng.2012.08.216.
4. Terebnev V. V., Podgrushnyy A. V., Artemyev N. S. *Pozharotusheniye v zdaniyakh povyshennoy etazhnosti [Fire fighting in high-rise buildings]*. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russian Publ., 2009. 117 p. (in Russian).
5. Telenkov A. M. How we extinguished the tower. *Sistemy bezopasnosti / System of Safety*, 2012, no. 3, pp. 118–120 (in Russian).
6. Xie Hao. Heavy compressed air foam truck applied to high-rise building fires. *Procedia Engineering*, 2013, vol. 52, pp. 458–467. DOI: 10.1016/j.proeng.2013.02.169.
7. Wang Huai-bin, Xie Hao. Research on application of heavy compressed air foam truck applied in high-rise building fires. *Procedia Engineering*, 2014, vol. 71, pp. 276–285. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.04.040.
8. Semyonov R. A. Research of extinguishing of fires in high-rise building in the construction phase. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti / Technology of Technosphere Safety*, 2015, no. 3(61), pp. 145–152 (in Russian).
9. Telenkov A. M. The innovative fire extinguishing technology. Capability of fine-dispersed water. *Pozharnaya bezopasnost. Katalog / Fire Safety. Catalog*, 2014, p. 104 (in Russian).
10. Karama E. A., Arkanov P. V., Dyakov M. V. Ways of delivery of fire extinguishing substances by a pump and hose systems in high-rise buildings. *Tekhnosfernaya bezopasnost / Technosphere Safety*, 2016, no. 2(11), pp. 61–66 (in Russian).
11. Usmanov R. A., Lavrovsky A. N., Denisov A. N. The rationale of modeling of tactical actions when fighting fires in high-rise buildings. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti / Technology of Technosphere Safety*, 2016, no. 5(69), pp. 87–93 (in Russian).
12. Drzymała T., Kieliszek S., Szutkowski M. An analysis of water supply system requirements to enhance fire safety in high rise residential accommodation. *Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza*, 2016, vol. 43, issue 3, pp. 275–284. DOI: 10.12845/bitp.43.3.2016.25.
13. Kazakova V. A., Tereshchenko A. G., Nedviga E. C. The high-rise buildings fire safety. *Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy / Construction of Unique Buildings and Structures*, 2014, no. 3(18), pp. 38–56 (in Russian).
14. Terebnev V. V., Artemyev N. S., Grachev V. A. *Spravochnik spasatelya-pozharnogo [Guidebook rescuer-firefighter]*. Moscow, Tsentr Propagandy Publ., 2006. 527 p. (in Russian).

For citation: Zelenkov S. A., Podgrushnyy A. V., Denisov A. N., Bordik R. I. Combined method of extinguishing fires in high-rise buildings using hose-pump high pressure system. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 8, pp. 56–64 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.08.56-64.

ПАРАДОКСЫ ПЕРВОЙ РЕДАКЦИИ ПРОЕКТА СВОДА ПРАВИЛ "ЗДАНИЯ И КОМПЛЕКСЫ ВЫСОТНЫЕ. ТРЕБОВАНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ"

© В. Б. КОРОБКО

д-р техн. наук, профессор, специалист-эксперт

Эта статья была написана для "площадки" публичного обсуждения специалистами первой редакции проекта свода правил "Здания и комплексы высотные. Требования пожарной безопасности" (далее — проект СП), которую своевременно и любезно предоставил научно-технический журнал "Пожаровзрывобезопасность", за что автор выражает свою благодарность организаторам.

Удалось найти два уведомления о начале разработки проекта СП и один вариант первой редакции проекта СП на страницах официального сайта ФАУ ФЦС Минстроя России (http://www.faufcc.ru/technical-regulation-in-constuction/development-plan/?PAGEN_1=2) и Федерального агентства по техническому регулированию (<http://webportalsrv.gost.ru/portal/uvvednatstandwww.nsf/pByDate/C3B44681C7DF54A04325815900251447?OpenDocument>).

Изучение содержания проекта СП и обстоятельств его создания позволили выявить следующие парадоксы.

Парадокс 1. Существуют неустраняемые сомнения в том, что разработка проекта СП имеет надлежащие правовые основания. Минстрой России не наделен полномочием самостоятельно утверждать нормативные документы в сфере технического регулирования пожарной безопасности, а следовательно, и самостоятельно их разрабатывать.

1. Техническое регулирование пожарной безопасности осуществляется в соответствии с Федеральным законом "О техническом регулировании" (далее — ФЗ "О техническом регулировании") [1, ч. 1 ст. 7].

Ст. 3 ФЗ "О техническом регулировании" [1] установлен принцип технического регулирования: *"применение единых правил установления требований к продукции или к процессам проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнению работ или оказанию услуг"* (далее — первый принцип технического регулирования).

Суть этого принципа для сферы пожарной безопасности заключается в том, что техническое регулирование пожарной безопасности должно осуществляться по единым правилам, установленным соответствующим техническим регламентом.

Как известно, соответствующим техническим регламентом для сферы пожарной безопасности является "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" (далее — ТРПТБ) [2].

Для обеспечения единства измерения пожарной безопасности, в том числе для оценки соответствия,

требуются соответствующие методы и способы, полномочиями по установлению которых наделено Правительство РФ [1, ч. 11 ст. 7].

В соответствии с ч. 11 ст. 7 ФЗ "О техническом регулировании" [1] распоряжением Правительства Российской Федерации от 10.03.2009 г. № 304-р утвержден "Перечень национальных стандартов, содержащих правила и методы исследований (испытаний) и измерений, в том числе правила отбора образцов, необходимые для применения и исполнения Федерального закона "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" и осуществления оценки соответствия" (далее — Перечень методов измерения пожарной безопасности или Перечень).

В Перечень включен ГОСТ Р 12.3.047–98*, который имеет ссылку на ГОСТ 12.1.004–91*. ГОСТ Р 12.3.047–98* получил новую редакцию (ГОСТ Р 12.3.047–2012), которая не была включена в Перечень. ГОСТ Р 12.3.047–98* и ГОСТ 12.1.004–91* содержат рекомендуемые нормативно установленные методики для измерения пожарной безопасности и оценки соответствия. Аналогичные методики по оценке пожарных рисков утверждены приказами МЧС России, однако они не включены в вышеупомянутый Перечень, что позволяет усомниться в их надлежащем нормативном утверждении и создает ограничения для их применения.

2. Кроме ТРПТБ [2], существует второй технический регламент — "Технический регламент о безопасности зданий и сооружений" (далее — ТРБЗС) [3], который устанавливает иной порядок технического регулирования пожарной безопасности. А имен-

но, положениями ч. 1 ст. 6 и ст. 8 ТРoБЗС [3] предусмотрены обязательные для исполнения требования пожарной безопасности, включенные в своды правил. Такой порядок не соответствует порядку ч. 11 ст. 7 ФЗ “О техническом регулировании” [1] и ст. 6 ТРoТПБ [2].

3. При этом положения п. 5 ч. 1 и п. 5 ч. 2 ст. 4 ТРoБЗС [3] указывают на необходимость соблюдения единого порядка технического регулирования пожарной безопасности в соответствии с правилами ТРoТПБ [2], что отвечает требованиям ч. 11 ст. 7 ФЗ “О техническом регулировании” [1].

Таким образом, ТРoБЗС не содержит самостоятельных правил по установлению требований пожарной безопасности.

В связи с этим полномочия Минстроя России самостоятельно утверждать своды правил в сфере действия ТРoБЗС [4, п. 5. 2. 9] действуют в части, не противоречащей первому принципу технического регулирования [1, ч. 2 и 4], и не распространяются на самостоятельную разработку требований пожарной безопасности.

Таким же образом должен применяться “Порядок разработки, утверждения, изменения и отмены сводов правил, актуализации ранее утвержденных строительных норм и правил, сводов правил в сфере строительства в Министерстве строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации”, утвержденный приказом Минстроя России от 02.08.2016 г. № 536/пр.

Получается, что включение проекта СП в “План разработки и утверждения сводов правил и актуализации ранее утвержденных сводов правил, строительных норм и правил на 2017 год”, утвержденный приказом Минстроя России от 14.12.2016 № 940/пр, произведено с несоблюдением требований федерального законодательства, что создает нормативную коллизию, трактуемую как неустраняемые сомнения.

4. Положения ст. 5.1 ФЗ “О техническом регулировании” [1], которые, по мнению некоторых не квалифицированных или ангажированных комментаторов, устанавливают особый порядок технического регулирования в градостроительной деятельности, следует понимать и трактовать в рамках базовых положений ФЗ “О техническом регулировании” [1], в том числе в порядке ч. 2 ст. 4 и ч. 1 ст. 7 ФЗ “О техническом регулировании”, а не наоборот.

5. Из текста пояснительной записки к проекту СП и текста проекта СП следует, что проект СП разработан не в соответствии с техническим регламентом, регулирующим пожарную безопасность, — ТРoТПБ [2], а в соответствии с другим техническим регламентом — ТРoБЗС [3].

По всей видимости, на этом основании в разделе “Характеристика объекта стандартизации” проекта СП указано, что “объектом стандартизации являются здания и комплексы высотные”, а по факту содержание проекта СП посвящено стандартизации требований пожарной безопасности для высотных зданий и комплексов, а не самих зданий и высотных комплексов.

При этом в соответствии с требованиями ч. 12 ст. 2 Федерального закона “О стандартизации в Российской Федерации” [4] “свод правил — документ..., содержащий правила и общие принципы в отношении процессов в целях обеспечения соблюдения требований технических регламентов”. Таким образом, свод правил по стандартизации требований пожарной безопасности должен приниматься в развитие ТРoТПБ [2], а не ТРoБЗС [3].

6. Изучение обстоятельств появления проекта СП позволило установить, что на страницах официальных сайтов ФАУ ФЦС Минстроя России и Ростехрегулирования представлены разные сведения о разработчике проекта СП:

- АО НИЦ “Строительство” — на сайте ФАУ ФЦС Минстроя; Минстрой России и Департамент градостроительной деятельности и архитектуры Минстроя России — на сайте Ростехрегулирования;
- ФАУ ФЦС Минстроя России — в разделе “Основания для разработки свода правил” пояснительной записки к проекту СП;
- Межрегиональная межотраслевая строительная ассоциация саморегулируемых и профессиональных отраслевых организаций “Безопасность” (Ассоциация СРО “МОАБ”) — в разделе “Сведения о разработчике” пояснительной записки к проекту СП;
- АО НИЦ “Строительство” и Ассоциация СРО “МОАБ” — в тексте проекта СП.

Из этих сведений следует, что, по всей видимости, руководит разработкой проекта СП Департамент градостроительной деятельности и архитектуры Минстроя России, ответственный исполнитель — ФАУ ФЦС Минстроя России, а исполнители — АО НИЦ “Строительство” и Ассоциация СРО “МОАБ”.

Указанные организации не специализируются на разработке методов и способов обеспечения пожарной безопасности, что позволяет усомниться в их высоком профессионализме в сфере обеспечения пожарной безопасности.

Возникают сомнения в обоснованности выбора указанных организаций в качестве разработчиков новых методов и способов обеспечения пожарной безопасности.

7. В соответствии с положениями подп. 1 и 2 п. 8 и подп. 1 п. 9 Положения об МЧС России [6] полно-

мочиями по подготовке и изданию нормативных документов в сфере технического регулирования пожарной безопасности наделено МЧС России.

8. В соответствии с п. 2 Правил разработки сводов правил [7] проект СП должен содержать общие принципы процессов обеспечения пожарной безопасности. Однако такого раздела или вольного текста, который описывал бы особые принципы обеспечения пожарной безопасности высотных зданий и комплексов, проект СП не содержит.

При этом общие принципы обеспечения пожарной безопасности для любых объектов защиты раскрыты в ТРo ТПБ, например в ст. 9 ТРo ТПБ [2], положения которой не учитываются практически всеми положениями проекта СП.

9. Таким образом, при разработке проекта СП проявилась известная методологическая ошибка, которая заключается в практике двойного регулирования отношений по обеспечению пожарной безопасности от Правительства РФ: одно — от МЧС России, другое — от Минстроя России.

При этом очевидно, что регулирование отношений по обеспечению пожарной безопасности должно осуществляться по единым правилам. Градостроительная деятельность не имеет особых физико-химических основ, принципов и правил обеспечения пожарной безопасности.

Парадокс 2. Требования пожарной безопасности в проекте СП, по всей видимости, выдуманы, поскольку отсутствуют доказательства, отвечающие критериям допустимости и достоверности.

1. В пояснительной записке к проекту СП и в тексте проекта СП отсутствуют сведения о том, какие конкретно результаты каких конкретных изысканий (когда и кем проведенных) лежат в основе разработанных решений, которые оформлены в качестве требований пожарной безопасности (далее — требования-решения).

В пояснительной записке даны только общие сведения о характере проведенных исследований, которые очень похожи на слова, за которыми ничего не стоит:

“Для достижения поставленной цели при подготовке проекта СП:

- *выполнен анализ проектных решений существующих высотных зданий и комплексов;*
- *проведен анализ нормативных технических документов, регламентирующих требования пожарной безопасности зданий различных классов функциональной пожарной опасности;*
- *проанализирован опыт проектирования, строительства, эксплуатации и тушения пожаров в высотных зданиях;*

- *выявлены некоторые несоответствия, противоречия в действующих нормативных документах;*
- *намечены пути решения поставленной задачи”.*

Такой способ доказательства разработанных требований-решений пожарной безопасности не отвечает критерию допустимости.

2. Требования-решения проекта СП не разделены на требования, направленные на противопожарную защиту людей, и требования, направленные на противопожарную защиту имущества. Отсутствие такого разделения не позволяет осуществить применение этих требований по их принадлежности.

Такой способ изложения требований указывает на то, что доказательства, лежащие в основе этого решения, не отвечают критерию допустимости или их просто нет.

3. Требования-решения проекта СП не учитывают ограничения, установленного ч. 2 ст. 7 ФЗ “О техническом регулировании” [1], на право рисковать собственным имуществом в предпринимательских целях.

4. Требования-решения проекта СП не содержат модель пожара и оценку его влияния на людей и имущество, за исключением п. 8.1.

Отсутствие доказательств, учитывающих пожар, людей и имущество, в основе требований проекта СП не отвечает критерию достоверности. Прямое применение таких требований-решений также не будет отвечать критерию допустимости.

5. Разд. 8 проекта СП содержит сразу два взаимоисключающих способа получения доказательств обеспечения пожарной безопасности людей: на основе расчетной модели проверки допустимости путей эвакуации (п. 8.1 проекта СП) и на основе прямого применения требований к путям эвакуации без производства проверки допустимости путей эвакуации.

Такой странный подход к разработке проекта СП указывает на отсутствие достоверных доказательств, которые лежат в основе требований разд. 8 данного проекта.

6. Отсутствие доказательств, отвечающих критериям допустимости и достоверности, позволяет сделать предположение о том, что исследования для разработки проекта СП не проводились, а требования пожарной безопасности для проекта СП либо придумывались, либо переписывались из других документов. На последнее предположение указывает разд. 2 “Нормативные ссылки”, который содержит ссылки на 13 других нормативных документов. Допустимость применения правила “по аналогии” для разработки требований для новых уникальных объектов защиты вызывает сомнения.

7. Таким образом, имеются неустраняемые сомнения в том, что разработка проекта СП реализует научную базу в сфере строительства и направлена

на повышение уровня безопасности людей, как это указано в разделе “Основание для разработки свода правил” пояснительной записки к проекту СП.

Парадокс 3. Проблемы необходимости типовых мер для обеспечения пожарной безопасности индивидуальных высотных зданий и комплексов не существует.

1. В разделе “Цель разработки свода правил” пояснительной записки к проекту СП указано, что цель работы заключается в исключении необходимости разработки СТУ по обеспечению пожарной безопасности при проектировании и строительстве высотных зданий и комплексов. Процедура разработки СТУ сложна и затратна. Исключение этой процедуры из практики проектирования высотных зданий и комплексов, по мнению заказчика проекта СП, должно упростить градостроительную деятельность. Возникает сомнение, что разработка проекта СП является обязательным условием для исключения процедуры СТУ. Усовершенствовать процедуру СТУ можно иным способом, например использовать ее только в случае несоответствия объекта защиты условиям применения методов оценки пожарного риска.

2. Как показывает практика, строительство высотных зданий и комплексов ведется по индивидуальным проектам.

3. Типовые меры пожарной безопасности могут быть рассчитаны только для типовых объектов защиты: типовых зданий школ, поликлиник, больниц, автостоянок и т. п.

4. Проблема разработки типовых мер противопожарной защиты для типовых объектов в настоящее время решается в рамках административной реформы (в целях упрощения процедуры администрирования и исключения избыточных требований) путем введения процедуры чек-листов, которые должны содержать типовые требования-решения пожарной безопасности [8].

5. Проекты типовых форм, разработанные МЧС России [9], не выделяют высотные здания и комплексы в особую группу объектов противопожарной защиты, для которых планируется разрабатывать типовые требования-решения пожарной безопасности.

6. Индивидуальные решения всегда имеют приоритет перед типовыми решениями в качестве достижения поставленной цели. Введение в оборот типовых требований-решений по защите людей и имущества от пожара в высотных зданиях и комп-

лексах будет направлено не на повышение уровней противопожарной защиты людей и имущества, как это указано в разделе “Основание для разработки свода правил” пояснительной записки к проекту СП, а на снижение этих уровней.

7. Прямое применение типовых требований-решений, которые не адаптированы под индивидуальный объект защиты, в случае пожара может привести к гибели людей (или причинению им тяжкого вреда) и причинению вреда имуществу в особо крупных размерах, что создает риск уголовной ответственности.

Этот факт указывает еще на одну методологическую ошибку, допущенную инициаторами разработки проекта СП.

Такое упрощение проектирования уникальных зданий и сооружений нельзя признать эффективным и соразмерным решаемой проблеме.

Выводы

1. Градостроительная деятельность не имеет особых физико-химических основ, принципов и правил обеспечения пожарной безопасности. Минстрой России не уполномочен на разработку требований пожарной безопасности. Различное регулирование отношений по обеспечению пожарной безопасности от Минстроя России и МЧС России создает проблему для экономики. Эта проблема требует решения.

2. Требования пожарной безопасности проекта СП составлены без учета оценок степени риска причинения вреда людям и имуществу [1, ч. 1 ст. 7]. Отсутствие у разработанных типовых требований-решений доказательств — оценок рисков причинения вреда, которые отвечают критериям допустимости и достоверности, указывает на то, что у проекта СП нет научной основы.

3. Прямое применение требований проекта СП, составленных без учета оценок степени риска причинения вреда, будет приводить к недопустимым рискам для людей и имущества в случае пожара и, как следствие, к высоким рискам уголовной ответственности для применителей этих требований.

4. Разработка типовых мер для обеспечения пожарной безопасности индивидуальных высотных зданий и комплексов является методологической ошибкой, которая не упростит, а усложнит регулирование градостроительной деятельности.

5. Возникают сомнения, что средства на разработку проекта СП израсходованы на получение продукта надлежащего качества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О техническом регулировании : Федер. закон от 27.12.2002 № 184-ФЗ (ред. от 29.07.2017). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_40241/ (дата обращения: 07.08.2017).
2. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон РФ от 22.07.2008 № 123-ФЗ (в ред. от 29.07.2017). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения: 07.08.2017).
3. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений : Федер. закон РФ от 30.12.2009 № 384-ФЗ (ред. от 02.07.2013). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_95720/ (дата обращения: 07.08.2017).
4. О стандартизации в Российской Федерации : Федер. закон от 29.06.2015 № 162-ФЗ (ред. от 03.07.2016). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_181810/ (дата обращения: 07.08.2017).
5. О Министерстве строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации : Постановление Правительства РФ от 18.11.2013 № 1038. URL: http://www.consultant.ru/document/Cons_doc_LAW_154589/92d969e26a4326c5d02fa79b8f9cf4994ee5633b/ (дата обращения: 07.08.2017).
6. Вопросы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий : Указ Президента РФ от 11.07.2004 № 868 (ред. от 22.03.2017). URL: <http://docs.cntd.ru/document/901902347> (дата обращения: 07.08.2017).
7. Об утверждении Правил разработки, утверждения, опубликования, изменения и отмены сводов правил : Постановление Правительства РФ от 01.07.2016 № 624. URL: <http://docs.cntd.ru/document/420364602> (дата обращения: 07.08.2017).
8. Об утверждении общих требований к разработке и утверждению проверочных листов (списков контрольных вопросов) : Постановление Правительства РФ от 13.02.2017 № 177. URL: <http://docs.cntd.ru/document/420392421> (дата обращения: 07.08.2017).
9. Об утверждении форм проверочных листов, используемых должностными лицами федерального государственного пожарного надзора МЧС России при проведении плановых проверок по контролю за соблюдением требований пожарной безопасности : проект приказа МЧС России. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456081441> (дата обращения: 07.08.2017).
10. Кодекс Российской Федерации по административным правонарушениям. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34661/ (дата обращения: 07.08.2017).

Материал поступил в редакцию 14 августа 2017 г.

Для цитирования: Коробко В. Б. Парадоксы первой редакции проекта свода правил “Здания и комплексы высотные. Требования пожарной безопасности” // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2017. — Т. 26, № 8. — С. 65–69.

For citation: Korobko V. B. Paradoxes of the first edition of draft set of rules “High-rise buildings and complexes. Fire safety requirements”. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 8, pp. 65–69 (in Russian).

В ПОМОЩЬ РАЗРАБОТЧИКАМ СВОДА ПРАВИЛ “ЗДАНИЯ И КОМПЛЕКСЫ ВЫСОТНЫЕ. ТРЕБОВАНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ”

© В. В. ХОЛЩЕВНИКОВ

д-р техн. наук, заслуженный работник высшей школы РФ, профессор кафедры “Пожарная безопасность в строительстве”, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4); эксперт Научно-исследовательского института “Республиканский исследовательский научно-консультационный центр экспертизы” (НИИ РИНКЦЭ) (Россия, 123317, г. Москва, ул. Антонова-Овсеенко, 13, стр. 1; e-mail: reglament2004@mail.ru)

В разделе “Сведения о соответствии проекта свода правил международным (региональным) стандартам” пояснительной записки к опубликованной 12.07.2017 г. на официальном сайте Росстандарта первой редакции СП “Здания и комплексы высотные. Требования пожарной безопасности” (далее — проект СП) [1, 2] его разработчик — Межрегиональная межотраслевая строительная ассоциация саморегулируемых и профессиональных отраслевых организаций “Безопасность” (Ассоциация СРО “МОАБ”) указывает, что “аналогичных международных стандартов не обнаружено”.

Неужели в самом деле?

На сегодняшний день в мире количество небоскребов высотой более 400 м составляет около 20, от 300 до 400 м — около 50, от 200 до 300 м — около 150, от 100 до 200 м — несколько тысяч, и число таких зданий стремительно увеличивается.

По классификации CIB (International Council for Building Research), принятой в 1976 г. [3, 4], по высоте здания классифицируются следующим образом:

- многоэтажные I категории — от 30 до 50 м;
- многоэтажные II категории — от 50 до 75 м;
- многоэтажные III категории — от 75 до 100 м;
- высотные — свыше 100 м.

В России сложилась тенденция относить к высотным зданиям высотой более 75 м, но таких зданий в мире насчитывается более 20 тысяч.

Достаточно очевидно, что высотные и многоэтажные здания III категории по классификации CIB, возведенные во многих странах мира, не могли проектироваться и строиться без опоры на стандарты (правила) пожарной безопасности. Следовательно, сведения разработчика свода правил (Ассоциация СРО “МОАБ”) об отсутствии международных стандартов на их проектирование и строительство вводят в заблуждение (см. ст. 6 Федерального закона № 184 [5] о предупреждении действий, вводящих в заблуждение приобретателей, в том числе потребителей) как Федеральное автономное учреждение “Федеральный центр нормирования, стандартизации и технической оценки соответствия в строительстве”, которым “проводится” (см. первый абзац пояснительной записки) разработка данного СП, так и более широкий круг лиц, сформировавших “государственное задание на оказание услуг (выполнение работ) на

2017 год по реализации комплекса мероприятий по развитию нормативной технической и научной базы в области строительства”.

Общеизвестны международные стандарты, регламентирующие проектирование и строительство высотных зданий [6–8], а также строительные нормы по проектированию высотных зданий ТКП 45-3.02-108-2008 “Высотные здания. Строительные нормы проектирования”, разработанные нашим союзным государством — Республикой Беларусь еще в 2008 г. Кроме того, разработчики проекта самого высокого в мире здания “Бурдж-Халифа” (высота 828 м), строительство которого было завершено в 2010 г., указывают, что “пожарная безопасность и скорость эвакуации были определяющими факторами при проектировании здания”.

Без надлежащего учета международного опыта нормирования систем противопожарной защиты высотных зданий вызывает сомнение полнота и состоятельность результатов, полученных разработчиками при подготовке проекта СП, для чего, по заявлению разработчиков:

- выполнен анализ проектных решений существующих высотных зданий и комплексов;
- проведен анализ нормативных технических документов, регламентирующих требования пожарной безопасности зданий различных классов функциональной пожарной опасности;
- проанализирован опыт проектирования, строительства, эксплуатации и тушения пожаров в высотных зданиях.

В связи с этим представляется целесообразным опубликовать полученные результаты в журналах “Пожаровзрывобезопасность” и “Высотные здания”

в целях более глубокого анализа их широким кругом специалистов. Многие из этих специалистов принимали участие в разработке специальных технических условий, которые дополняют МГСН 4.19–2005 г. Москвы [9] и ТСН г. Санкт-Петербурга [10] и обеспечивают возможность возведения большинства современных высотных комплексов в этих крупнейших мегаполисах России. Результаты анализа, осуществленного этими специалистами, могут стать значительной помощью для разработчиков данного СП, потому что согласно статистике в России ежегодно в зданиях высотой более 10 этажей происходит около 10 тысяч пожаров, на которых гибнет порядка 300 человек, что в несколько раз выше среднего показателя по миру.

Приоритетные проблемы при обеспечении безопасности людей в высотных зданиях

Разработчики СП справедливо считают, что особенности их объекта “заключаются в нахождении значительного количества людей на высотных отметках (этажах) зданий и комплексов, что увеличивает время эвакуации, затрудняет действия подразделений пожарной охраны при спасении людей, устанавливает необходимость устройства безопасных зон с соответствующим оснащением инженерными системами” [1]. В связи с этим предлагаемые ими правила решения проблем, связанных с перечисленными особенностями высотных зданий, и привлекают первостепенное внимание. В представленном проекте СП они изложены прежде всего в разделах: 8 “Требования к обеспечению безопасной эвакуации людей”; 5 “Требования к объемно-планировочным решениям”; 7 “Требования к инженерным системам и системам противопожарной защиты”.

Сами названия этих разделов показывают, что свод правил подменяется перечнем требований. Подмена понятий — излюбленный прием древнегреческой демагогии. И в данном случае разработчики подменяют правила и способы достижения условий безопасности при организации эвакуации людей из высотных зданий требованиями ее обеспечения. При этом количественные критерии обеспечения безопасности отсутствуют, поэтому требуемые размеры отдельных геометрических параметров объемно-планировочных решений не мотивированы. К тому же они значительно отличаются от зарубежных нормативов. Так, например, согласно п. 8.10 “расстояние от дверей квартир до ближайшего эвакуационного выхода должно быть не более 12 м” (дословный повтор п. 14.22 МГСН 4.19–2005), что в 3 раза меньше (35 м) аналогичных показателей, принятых в Германии. Следует отметить, что п. 14.22

МГСН 4.19–2005 не раз был причиной разработки СТУ по высотным зданиям.

Требования п. 8.4, в соответствии с которыми “эвакуационные выходы с этажей высотных зданий следует предусматривать в незадымляемые лестничные клетки. Каждый пожарный отсек должен иметь не менее двух незадымляемых лестничных клеток, при этом одна из них должна быть типа Н1”, противоречат требованиям п. 5.18, согласно которому “каждая секция высотного здания должна оснащаться двумя незадымляемыми лестничными клетками с подпором воздуха до 50 Па и тамбуром, в котором также обеспечивается подпор воздуха при пожаре. Предпочтительны лестничные клетки с искусственным освещением, в которых исключается возможность тяги воздушного потока в сторону лестницы”. Формулировка этого пункта — дословный повтор п. 14.20 МГСН 4.19–2005.

Проблема же организации эвакуации людей по незадымляемым лестничным клеткам, вытекающая из обозначенной разработчиками особенности высотных зданий (нахождение “значительного количества людей на высотных отметках (этажах) зданий и комплексов, что увеличивает время эвакуации”) в представленной редакции не находит никакого решения. В связи с этим можно подсказать разработчикам СП, что сегодня за рубежом единственно верным решением при организации эвакуации людей из высотных зданий является использование лифтов [11–14]. Корректность таких решений была подкреплена данными, согласно которым при пожаре и обрушении высотных зданий Всемирного торгового центра в Нью-Йорке в результате террористической атаки 11 сентября 2001 г. около 3 тыс. чел. были эвакуированы с помощью лифтов.

Обращаясь к истории этой концепции, можно напомнить, что впервые она была опубликована в России в 1969 г. [15, 16]. Она состояла в том, что для безопасной эвакуации из высотных зданий необходимо “проведение поэтапной эвакуации с использованием механических средств внутреннего транспорта и вертикальных коммуникаций для пешеходного движения” и формирование зоны безопасности, которая “должна быть организована в пределах этажа и иметь достаточно большую площадь” [16, с. 239–240]. Данная концепция была реализована в СНиП 35-01–2001 [17], МГСН 4.19–2005 [9], конкретизирована в СТО 2.35.73–2012 [18], разработанном Национальным объединением строителей. И в редакции Федерального закона № 123 “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности” от 10.07.2012 г. (далее — ФЗ № 123) в ст. 89 появился п. 15: “Для эвакуации со всех этажей зданий групп населения с ограниченными возможностями передвижения допускается предусматривать на эта-

жах вблизи лифтов, предназначенных для групп населения с ограниченными возможностями передвижения, и (или) на лестничных клетках устройств безопасных зон, в которых они могут находиться до прибытия спасательных подразделений. При этом к указанным лифтам предъявляются такие же требования, как к лифтам для транспортировки подразделений пожарной охраны. Такие лифты могут использоваться для эвакуации групп населения с ограниченными возможностями передвижения во время пожара”.

Сегодня многочисленные данные ООН, Всемирной организации здравоохранения и различных групп исследователей (например, [19–24]) фиксируют рост количества людей “с ограниченными возможностями передвижения во время пожара” во всех промышленно развитых странах, в том числе в России [25]. Это — пожилые люди и инвалиды, люди, страдающие ожирением. Такое физическое состояние людей делает недоступной для основного функционального контингента строящихся высотных зданий пешеходную безопасную эвакуацию по лестницам, протяженность которых в большинстве высотных зданий составляет сотни метров, а в зданиях высотой более 250 м может превосходить и километр. Это тем более проблематично при разрешенном в разрабатываемом СП (п. 8.6) уклоне лестничных маршей 1:1,75 (вместо 1:2). В связи с этим организация безопасной эвакуации с помощью лифтов приобретает еще большую актуальность. Как показывают отечественные [26, 27] и зарубежные исследования, при организации поэтапной комбинированной эвакуации ее продолжительность удается сократить в 2–3 раза, избежав образования людских потоков плотностью 7–8 чел./м² на протяжении всей длины пути движения по лестнице в течение почти всего времени эвакуации по ней.

В связи с этим общие положения п. 9.19 СП 267.1325800.2016 [28], согласно которому “в высотном здании следует предусматривать поэтапную эвакуацию на случай пожара. Для жилых высотных зданий при соответствующем расчетном обосновании (расчет безопасной эвакуации) допускается предусматривать одновременную эвакуацию всего здания”, и п. 14.18, в соответствии с которым “при проектировании следует предусмотреть мероприятия, обеспечивающие возможность полной или частичной, одновременной или поэтапной беспрепятственной своевременной эвакуации”, требуют детализации в разрабатываемом своде правил. Однако в опубликованной редакции она полностью отсутствует.

Следует также учитывать, что многообразие функционального назначения высотных зданий требует дифференцированного учета демографического со-

става населения в каждом из видов высотных зданий и возможного состояния находящихся в них людей (сон, бодрствование) в процессе суточной эксплуатации зданий, а также продолжительности времени начала эвакуации. Несмотря на общий вид закономерностей связи между параметрами потоков [29] при эвакуации, количественные характеристики этих параметров для потоков различного демографического состава имеют различные числовые значения [30–34], что, естественно, определяет и различие итоговых показателей своевременности и беспрепятственности их эвакуации при общих схемах ее организации. Поэтому даже абстрактные указания п. 8.11 в представленной редакции СП о том, что “указанные расстояния следует уточнять на основании соответствующего расчета своевременной и беспрепятственной эвакуации людей”, оказываются нереализуемыми.

Результаты научно-исследовательской работы отечественных ученых позволяют в достаточной мере учесть эти существенные нюансы поведения людей в методике определения индивидуального пожарного риска [35], но почему-то они не нашли никакого отражения в разрабатываемом своде правил, что может привести к ложным результатам оценки обеспечения безопасности людей в высотных зданиях. В настоящее время создана достаточная информационная база числовых значений расчетных величин, используемых для оценки безопасности людей в начальной стадии пожара в высотных зданиях различных классов функциональной пожарной опасности. Она должна быть нормативно зафиксирована в своде правил, чтобы не создавать очередных поводов для разработки многочисленных СТУ. Тем самым будут сняты и претензии к наличию в законе (ФЗ № 123) “коррупциогенных факторов” [36].

Разработчикам проекта СП следует также напомнить, что продолжительность эвакуации определяет минимальное время живучести систем связи, сигнализации, автоматизации и диспетчеризации и положений п. 14.20 СП 253.1325800.2016 [28]: “Результаты расчетов вариантов эвакуации следует использовать для назначения живучести инженерных систем и систем обеспечения безопасности в ЧС”.

Рекомендации по структуре и содержанию разрабатываемого СП

Проведенный экспресс-анализ основных фрагментов разрабатываемого СП позволяет высказать несколько методических рекомендаций по их содержанию.

Во-первых, обеспечить требования СП экспресс-методиками по выполнению требований, для под-

тверждения которых необходимо расчетное обоснование, как, например, это сделано в СП “Здания и комплексы высотные. Правила проектирования”. Это необходимо сделать тем более, что представители инспекции считают, “что в России людей, способных качественно, с пониманием дела выполнить данные расчеты, можно посчитать по пальцам, и ни для кого не секрет, что их выполнение по утвержденным методикам требует весьма глубоких познаний в самых разных отраслях науки. ... Это, как известно, подталкивает правоприменителей к коррупционным действиям и не способствует формированию благоприятного инвестиционного климата в государстве” [36, с. 56].

Во-вторых, свод правил требует методологического единства реализации положений его разделов, а не слепого выполнения их разрозненных требований, поэтому желательно дать образец его воплощения на конкретном примере.

В-третьих, несмотря на многочисленность факторов, определяющих безопасность людей в начальной стадии пожара в высотном здании, каждый из этих факторов имеет ограниченную вариабельность. Так, например, существует всего лишь четыре схемы планировочных решений этажей зданий различного назначения [37] и соответствующая им общая схема организации эвакуации [38].

Варианты функционального назначения помещений в высотном здании и количественные показатели пожарной нагрузки в них также довольно ограничены. Варианты состава людских потоков в высотных зданиях рассматриваемого функционального назначения установлены [34]. Расчетные сценарии наиболее опасных ситуаций возникновения пожара известны [35]. Ограниченная вариабельность перечисленных факторов, определяющих своевременность и беспрепятственность эвакуации людей, и современные возможности компьютерного моделирования распространения опасных факторов пожара и динамики людских потоков позволяют разработчикам проекта СП провести численное моделирование условий, возникающих в начале пожара в высотном здании. Как показывает имеющийся опыт такого многовариантного [39] и стохастического моделирования [40], на его основании становится возможным наиболее обоснованно установить комплекс мер, требуемых для обеспечения своевременной и беспрепятственной эвакуации людей из высотных зданий. Результаты многовариантного моделирования определяют и требования к показателям надежности и эффективности функционирования автоматических систем противопожарной защиты и пожаротушения, которые позволяют выполнить следующие требования федеральных законов:

- ограничение образования и распространения опасных факторов пожара в пределах очага пожара (ст. 8 [41]);
- ликвидацию пожара в помещении до возникновения критических значений опасных факторов пожара (ст. 61 [42]).

В-четвертых, в СП должны быть отражены требования к функциональной безопасности (ГОСТ Р МЭК 61508, ГОСТ Р МЭК 61511, ГОСТ 53195) систем, связанных с пожарной безопасностью, поскольку без этого невозможно их надежное функционирование в период возникновения и развития пожара.

Заключение

Специальные технические условия как вид нормативных документов появился в апреле 2008 г. в соответствии с приказом Минрегиона РФ от 01.04.2008 г. № 36 “О порядке разработки и согласования специальных технических условий для разработки проектной документации на объект капитального строительства”. Задача СТУ — разработка норм для объектов капитального строительства, при проектировании и строительстве которых невозможно в полной мере выполнить действующие нормативные требования безопасности или из-за особенностей которых требуются дополнительные, не предусмотренные нормированием, решения. Согласно Градостроительному кодексу [43] высотные здания — уникальные и особо сложные объекты, поэтому разработка СТУ для них является правилом, а не исключением.

После череды реорганизаций министерств организация разработки и согласование СТУ были переданы в ведение Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (п. 5.4.8 постановления Правительства Российской Федерации от 18.11.2013 г. № 1038 “О Министерстве строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации”). Руководство этого министерства справедливо сочло, что обилие СТУ — свидетельство архаичности нормативной базы, реализующей требования технических регламентов к проектированию высотных зданий, и организовало разработку серии свода правил, призванных компенсировать недостаточность существующих решений, направленных на достижение первостепенной цели технического регулирования — “защиты жизни или здоровья граждан” (ст. 6 [5]).

Достижение этой цели при возникновении пожара в высотном здании любого назначения и класса функциональной пожарной опасности обеспечивается только при выполнении требований ст. 79 ФЗ № 123 [42], которая гласит:

“1. Индивидуальный пожарный риск в зданиях и сооружениях не должен превышать значение од-

ной миллионной в год при размещении отдельного человека в наиболее удаленной от выхода из здания и сооружения точке.

2. Риск гибели людей в результате воздействия опасных факторов пожара должен определяться с учетом функционирования систем обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений”.

В “Методике определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности” [35] приведена система факторов, определяющих достижение этой цели. Следовательно, содержание разрабатываемого СП должно быть ориентировано прежде всего на разработку правил (методов) получения значений параметров функционирования систем предотвращения пожара, противопожарной защиты и пожаротушения, способных обеспечить защиту жизни и здоровья граждан при их размещении во время пожара в высотном здании на большом удалении от земли. Постоянно расширяющийся круг знаний и разработки отече-

ственных производителей автоматических систем [44–48] дают возможность получить требуемые результаты, соответствующие передовому международному опыту, а не ограничивать технико-экономические показатели проектируемых отечественных высотных зданий архаичными требованиями разработчиков СП “Здания и комплексы высотные. Требования пожарной безопасности”.

Анализ текста разд. 5–7 представленной редакции СП показывает, что он является полной копией текстов пунктов разд. 14 “Мероприятия по обеспечению противопожарных требований” МГСН 4.19–2005. За плагиат, как известно, теряют свои посты министры. А при разработке СП он допускается? Тогда приличнее нанимать на эту работу студентов за копейки, а не тратить миллионы государственных средств на оплату разработчиков из СРО “МОАБ” и Федерального центра нормирования, стандартизации и технической оценки соответствия в строительстве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пояснительная записка к первой редакции проекта свода правил “Здания и комплексы высотные. Требования пожарной безопасности”. URL: http://www.gost.ru/wps/portal/pages/directions?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/gost/GOSTRU/directions/Standardization/notifications/notifications-nationalstandards (дата обращения: 04.08.2017).
2. Проект свода правил (изменения к своду правил) “Здания и комплексы высотные. Требования пожарной безопасности”. URL: http://www.gost.ru/wps/portal/pages/directions?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/gost/GOSTRU/directions/Standardization/notifications/notifications-nationalstandards (дата обращения: 04.08.2017).
3. Труды III Международного симпозиума. — М. : ЦНИИЭП жилища, 1976. — № 43.
4. Маклакова Т. Г. Высотные здания. Градостроительные и архитектурно-конструктивные проблемы проектирования. — М. : Ассоциация строительных вузов, 2008. — 161 с.
5. О техническом регулировании : Федер. закон от 27.12.2002 № 184-ФЗ (ред. от 29.07.2017). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_40241/ (дата обращения: 04.08.2017).
6. EN 1991-1-1:2002/AC:2009. Eurocode 1: Actions on structures — Part 1-1: General actions — Densities, self-weight, imposed loads for buildings. URL: <http://eurocodes.fi/1991/1991-1-1/SFS-EN1991-1-1-AC.pdf> (дата обращения: 04.08.2017).
7. NFPA 101. Code for Safety to Life from Fire in Buildings and Structures. — Washington, DC : U. S. Department of Commerce, 2012.
8. International Building Code. Edition 2015. — USA, International Code Council, Inc., 2014.
9. МГСН 4.19–2005. Временные нормы и правила проектирования многофункциональных высотных зданий и зданий-комплексов в городе Москве. URL: http://www.infosait.ru/norma_doc/46/46475/index.htm (дата обращения: 04.08.2017).
10. ТСН 31-332–2006. Санкт-Петербург. Жилые и общественные высотные здания. — Введ. 28.04.2006. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200043846> (дата обращения: 04.08.2017).
11. Semple J. B. Vertical exiting: are elevators another way out? // NFPA Journal. — 1993. — Vol. 87, No. 3. — P. 49–52.
12. ISO/TR 25743:2010. Lifts (elevators) — Study of the use of lifts for evacuation during an emergency. — International Organization for Standardization (Technical Report), 2010. — 30 с.
13. Kinsey M. J., Galea E. R., Lawrence P. J. Stairs or lifts? — A study of human factors associated with lift/elevator usage during evacuations using an online survey // Pedestrian and Evacuation Dynamics / Peacock R., Kuligowski E., Averill J. (eds.). — Boston, MA : Springer, 2011. — P. 627–636. DOI: 10.1007/978-1-4419-9725-8_56.

14. Kinsey M. J., Galea E. R., Lawrence P. J. Human factors associated with the selection of lifts/elevators or stairs in emergency and normal usage conditions // *Fire Technology*. — 2010. — Vol. 48, Issue 1. — P. 3–26. DOI: 10.1007/s10694-010-0176-7.
15. Великовский Л. Б., Холицевников В. В. Вопросы эвакуации из высотных зданий // *Архитектура СССР*. — 1969. — № 1. — С. 46–49.
16. Холицевников В. В. Оптимизация путей движения людских потоков. Высотные здания : дис. ... канд. техн. наук. — МИСИ, 1969.
17. СНиП 35-01-2001. Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения. — Введ. 01.09.2001. URL: <http://www.docload.ru/Basesdoc/8/8630/index.htm> (дата обращения: 04.08.2017).
18. СТО НОСТРОЙ 2.35.73-2012. Инженерные сети высотных зданий. Системы обеспечения комплексной безопасности высотных зданий и сооружений. URL: http://nostroy.ru/departament/departament_tehnicoskogo_regulir/sto/СТО%20НОСТРОЙ%202.35.73-2012.pdf (дата обращения: 04.08.2017).
19. World Population Ageing 2013 / Department of Economic and Social Affairs Population Division. — New York : United Nations, 2013. URL: <http://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/ageing/WorldPopulationAgeing2013.pdf> (дата обращения: 04.08.2017).
20. World Population Prospects: The 2012 Revision. Highlights and Advance Tables / Department of Economic and Social Affairs Population Division. — New York : United Nations, 2013. URL: https://africa-check.org/wp-content/uploads/2014/10/World-Population-Prospect-2012-revision_upload-to-AC.pdf (дата обращения: 04.08.2017).
21. OECD. Obesity Update 2012. URL: <http://www.oecd.org/health/49716427.pdf> (дата обращения: 04.08.2017).
22. Society at a glance: OECD social indicators. — Paris : OECD Publishing, 2006.
23. Fryar C. D., Carroll M. D., Ogden C. L. Prevalence of obesity among children and adolescents: United States, trends 1963–1965 through 2009–2010. — Hyattsville, MD : National Center for Health Statistics, 2012. — 6 p. URL: http://www.cdc.gov/nchs/data/hestat/obesity_child_09_10/obesity_child_09_10.htm (дата обращения: 04.08.2017).
24. Levy J., Segal L. M., Thomas K., Laurent R., Lang A., Rayburn J. F as in Fat: How Obesity Threatens America's Future 2012. — USA : Trust for America's Health, Robert Wood Johnson Foundation, 2013.
25. О социальной защите инвалидов в Российской Федерации : Федер. закон от 24.11.1995 № 181-ФЗ (с изм. и доп.). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_8559/ (дата обращения: 04.08.2017).
26. Холицевников В. В., Самошин Д. А. Поэтапная эвакуация из высотных зданий : отчет НИР. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2011.
27. Холицевников В. В. Эвакуация людей из высотных зданий : учебное пособие. — М. : МГСУ, Институт строительства и архитектуры, 2011.
28. СП 267.1325800.2016. Здания и комплексы высотные. Правила проектирования. — Введ. 01.07.2017. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456044284> (дата обращения: 04.08.2017).
29. Холицевников В. В. Закономерности связи между параметрами людских потоков : диплом № 24-S на открытие в области социальной психологии. — М. : Российская академия естественных наук, Международная академия авторов научных открытий и изобретений, Международная ассоциация авторов научных открытий, 2005.
30. Парфененко А. П. Нормирование требований пожарной безопасности к эвакуационным путям и выходам в зданиях детских дошкольных образовательных учреждений : дис. ... канд. техн. наук. — М. : АГПС МЧС РФ, 2012. — 153 с.
31. Кудрин И. С. Влияние параметров движения людских потоков при пожаре на объемно-планировочные решения высотных зданий : дис. ... канд. техн. наук. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2013. — 190 с.
32. Истратов Р. Н. Нормирование требований пожарной безопасности к эвакуационным путям и выходам в стационарах социальных учреждений по обслуживанию граждан пожилого возраста : дис. ... канд. техн. наук — М. : Академия ГПС МЧС России, 2014. — 160 с.
33. Фан Ань. Нормирование требований пожарной безопасности к эвакуационным путям и выходам в многоэтажных жилых зданиях во Вьетнаме : дис. ... канд. техн. наук. — М. : АГПС МЧС РФ, 2017.
34. Самошин Д. А. Состав людских потоков и параметры их движения при эвакуации. — М. : АГПС МЧС РФ, 2016. — 209 с.

35. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности : приказ МЧС России от 30.06.2009 № 382 (с изм. на 02.12.2015). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902167776> (дата обращения: 04.08.2017).
36. Красавин А. В. Анализ Технического регламента о требованиях пожарной безопасности на предмет наличия в законе коррупциогенных факторов // Пожарное и спасательное дело. — 2009. — № 5. — С. 50–57.
37. Архитектура гражданских и промышленных зданий. Гражданские здания : учебное пособие / Под ред. А. В. Захарова. — М. : Стройиздат, 1993. — 509 с.
38. Холщевников В. В., Самошин Д. А., Парфененко А. П., Кудрин И. С., Истратов Р. Н., Белосохов И. Р. Эвакуация и поведение людей при пожарах : учебное пособие. — М. : АГПС МЧС РФ, 2015. — 260 с.
39. Холщевников В. В., Кудрин И. С. Обеспечение безопасной эвакуации людей с учетом стохастичности процесса распространения опасных факторов пожара в высотных зданиях // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2013. — Т. 22, № 4. — С. 38–51.
40. Холщевников В. В., Присадков В. И., Костерин И. В. Совершенствование методологии определения расчетных величин пожарного риска в зданиях и сооружениях на основе стохастического описания определяющих их процессов и деревьев событий // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2017. — Т. 26, № 1. — С. 5–17. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.01.5-17.
41. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений : Федер. закон РФ от 30.12.2009 № 384-ФЗ (ред. от 02.07.2013). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_95720/ (дата обращения: 04.08.2017).
42. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон РФ от 22.07.2008 № 123-ФЗ (в ред. от 29.07.2017). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения: 04.08.2017).
43. Градостроительный кодекс Российской Федерации (в ред. от 07.03.2017). URL: <http://docs.cntd.ru/document/901919338> (дата обращения: 04.08.2017).
44. Холщевников В. В., Самошин Д. А., Галушка Н. Н. Обзор компьютерных программ моделирования эвакуации зданий и сооружений // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2002. — Т. 11, № 5. — С. 40–49.
45. Холщевников В. В., Самошин Д. А. Нормирование безопасной эвакуации людей из высотных зданий // Промышленное и гражданское строительство. — 2007. — № 2. — С. 50–52.
46. Холщевников В. В., Самошин Д. А., Белосохов И. Р., Истратов Р. Н., Кудрин И. С., Парфененко А. П. Парадоксы нормирования обеспечения безопасности людей при эвакуации из зданий и пути их устранения // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2011. — Т. 20, № 3. — С. 41–51.
47. Белоусов Л., Дауэнгауэр С. Спринклерные системы водяного пожаротушения с принудительным пуском // Алгоритм безопасности. — 2009. — № 6. — С. 24–27.
48. Саутин И. Концепция построения безопасной противопожарной автоматики // Алгоритм безопасности. — 2015. — № 4. — С. 68–70.

Материал поступил в редакцию 14 августа 2017 г.

Для цитирования: Холщевников В. В. В помощь разработчикам свода правил “Здания и комплексы высотные. Требования пожарной безопасности” // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2017. — Т. 26, № 8. — С. 70–76.

For citation: Kholshchevnikov V. V. To help developers of set of rules “High-rise buildings and complexes. Fire safety requirements”. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 8, pp. 70–76 (in Russian).

ОТ РЕДАКЦИИ:

данный материал был направлен заместителю министра строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации Х. Д. МАВЛИЯРОВУ и директору ФАУ “ФЦС” Д. В. МИХЕЕВУ.

**ВОПРОС:**

С введением в силу Федерального закона “О требованиях пожарной безопасности” (далее — ФЗ-123) изменилась система оценки взрывоопасных зон, при этом классификация пожароопасных зон практически не претерпела изменений. На заседании Технического комитета № 403 по стандартизации “Оборудование для взрывоопасных сред (Ex-оборудование)” в 2011 г. было представлено разъяснение по сопоставлению классов взрывоопасных зон по “Правилам устройства электроустановок” (ПУЭ) и ФЗ-123. Таким образом, для зон классов В-Ia и В-Iб (по ПУЭ) было решено применять оборудование, предназначенное для использования как минимум в зоне 2 (по ФЗ-123). В то же время в ПУЭ указано, что для класса зоны В-Iб в отношении электрических машин, аппаратов и стационарных светильников допускается применение оборудования без средств взрывозащиты со степенью защиты соответственно IP44, IP54 и IP53.

Возможно ли применение электрооборудования без средств взрывозащиты в зоне 2 по ФЗ-123?

ОТВЕТ:

Введение ФЗ-123 [1] в действие привело не только к изменению классификации зон, но и в некотором отношении к ужесточению требований по применению электрооборудования во взрывоопасных зонах. Ранее по ПУЭ [2] не только в зоне В-Iб, но и в зоне В-Ia допускалось применение оборудования без средств взрывозащиты для неискрящих и не подверженных нагреву свыше 80 °С аппаратов и приборов (см. табл. 7.3.11 ПУЭ [2]).

На сегодняшний день согласно п. 10 ст. 82 ФЗ-123 [1] электрооборудование без средств взрывозащиты не допускается использовать во взрывоопасных помещениях зданий и сооружений, не имеющих дополнительных мер защиты, направленных на исключение опасности появления источника зажигания в горючей среде. Кроме того, электроустановки зданий и сооружений должны соответствовать классу взрывоопасной зоны, в которой они установлены, а также категории и группе горючей смеси (см. п. 1 ст. 82 ФЗ-123 [1]).

В рубрике “Вопрос — Ответ” № 6 журнала за 2015 г. был проведен анализ возможности применения во взрывоопасных зонах оборудования без средств взрывозащиты. Он показал, что при использовании

оборудования с защитной оболочкой IP по ГОСТ 14254–2015 [3] без дополнительных средств взрывозащиты даже для самого низкого класса зоны 2 не обеспечивается требуемый уровень защиты. Этот уровень может быть достигнут только путем применения определенных видов взрывозащиты, что автоматически превращает любое оборудование во взрывозащищенное (Ex-оборудование). Такое оборудование при сохранении допустимых параметров защитной оболочки IP может применяться также в пожароопасных помещениях согласно п. 12 ст. 82 ФЗ-123 [1].

Следует также отметить, что во взрывоопасной зоне 2 электрооборудование должно соответствовать не только определенному виду и уровню защиты, но и категории и группе взрывоопасной смеси, обращающейся в технологическом процессе (см. п. 12 ст. 82 ФЗ-123 [1]). Оборудование, разработанное по ГОСТ 14254–2015 [3], позволяет обеспечить защиту от воздействия на него твердых предметов (в том числе пыли) и воды, но никак не от взрывоопасных смесей. Таким образом, для любого класса взрывоопасных зон следует применять оборудование со средствами взрывозащиты, удовлетворяющими требованиям российских и международных стандартов.

Это касается и классов зон 20, 21, 22, связанных с образованием взрывоопасных пылевых сред, речь о которых пойдет в следующем выпуске рубрики “Вопрос — Ответ”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). — 6-е изд. — М. : Энергоатомиздат, 1986.
2. 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.
3. ГОСТ 14254–2015 (IEC 60529:2013). Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (Код IP). — Введ. 01.03.2017. — М. : Стандартинформ, 2016.

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

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 в статье 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 250–300 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: подрисунковой подписи и всех текстовых надписей на самом рисунке;
- для схемы: подписи к ней и всего содержания самой схемы.

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

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

Состав источников должен быть актуальным и содержать не менее 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 науч-

ной специальности или группе специальностей. Для поиска рекомендуется использовать ресурс <http://www.disscat.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 (ФИО 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 (пристайные списки литературы на английском языке). Представление в References только транслитерированного (без перевода) описания недопустимо. Обращаем Ваше внимание, что перевод названия статьи следует давать так, как он проходил при их публикации, а перевод названий журналов должен быть официально принятым. Произвольное сокращение названий источников цитирования приведет к невозможности идентифицировать ссылку в электронных базах данных.

При составлении References необходимо следовать схеме:

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

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

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

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

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

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

Предпечатная подготовка статей оплачивается за счет средств подписчиков и третьих лиц, заинтересованных в публикации.

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

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

Продолжается
подписка
на журнал

2017

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 2-е полугодие 2017 г.
(6 номеров) — 6840 руб.

- Стоимость годовой подписки
(12 номеров) — 13680 руб.

ПОДПИСКА ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ:

- через ООО “Издательство “Пожнаука”;
- через агентство “РОСПЕЧАТЬ”,
индекс 81913 (полугодовой), 70753 (годовой);
- через агентство “АПР”,
индекс 83647 (полугодовой), 90121 (годовой)
(в любом почтовом отделении в каталоге
“Газеты и журналы”);
- через подписные агентства:
ООО “Урал-Пресс”, ООО “Информнаука”.



ИНСТИТУТ КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Национальный исследовательский
Московский государственный
строительный университет

Научно-
исследовательские
и сертификационные
испытания:

- ♦ железобетонных конструкций
- ♦ противопожарных преград
- ♦ легкосбрасываемых 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 испытательной лаборатории № РОСС RU.0001.21AM09 от 24.06.2014 г.
Аттестат аккредитации РМРС № 16.00385.120 от 28.12.2016 г.