

2-3'2018

ПОЖ Издательство
НАУКА

ПОЖАРОВЗРЫВО-

БЕЗОПАСНОСТЬ



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

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

КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

пожарная • промышленная • производственная • экологическая

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ
СОСТОЯНИЙ ПУСТОТЫХ
ПРЕДНАПРЯЖЕННЫХ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ
ПЕРЕКРЫТИЙ ПРИ ОГНЕВОМ
ВОЗДЕЙСТВИИ ПОД НАГРУЗКОЙ





29-30 мая 2018
Экспоцентр
Москва

Конференция
и выставка
по технологиям
и транспортировке
сыпучих материалов

РЕКЛАМА

www.solids-russia.ru

УЧРЕДИТЕЛЬ –

ООО "Издательство "ПОЖНАУКА"

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

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

РЕДАКЦИЯ:

Зав. редакцией Корольченко О. Н.

Шеф-редактор Соколова Н. Н.

Редактор Крылова Л. В.

Адрес редакции:

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

Адрес для переписки:

121352, Россия, г. Москва, а/я 43.

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

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

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

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

При цитировании ссылка обязательна.

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

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

Подписано в печать 15.03.2018.

Выход в свет 26.03.2018.

Формат 60x84 1/8. Тираж 2000 экз.

Бумага мелованная матовая.

Печать офсетная.

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

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

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

ЗАМ. ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

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

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

КАМЕНЕЦКАЯ Н. В., МЕДВЕДЕВА О. М.,
ХИТОВ С. Б., МАСЛАКОВ М. Д.
Методика оценки риска отказа в работе специальной
техники в ходе ликвидации чрезвычайной ситуации

5

КРАСАВИН А. В., КРЕПЫШЕВ С. А., МЕДЯНИК М. В.
Аналитический обзор специальных технических
условий для объектов нефтегазовой промышленности

14

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

ТАРАКАНОВ Д. В., БАКАНОВ М. О.,
КОЛБАШОВ М. А., МОИСЕЕВ Ю. Н.
Автоматизированная информационная система связи и
управления пожарно-спасательными подразделениями

20

БЕЗОПАСНОСТЬ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

ГРОХОТОВ М. А., БЕГИШЕВ И. Р.,
КОМАРОВ А. А., БЕЛИКОВ А. К.
Кинетический подход при расчете параметров
пожаровзрывоопасности газовых смесей
метана с хлором

27

БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ, ОБЪЕКТОВ

КОМАРОВ А. А., КОРОЛЬЧЕНКО Д. А., ФАН ТУАН АНЬ
Особенности определения коэффициента
динамичности при импульсных нагрузках

37

ПРУСАКОВ В. А., ГРАВИТ М. В., ТИМОФЕЕВ Н. С.,
СИМОНЕНКО Я. Б., ГУТОРОВ К. В., ШЕВЧЕНКО А. М. К. С.
Огнезащита деформационных и линейных швов
зданий и сооружений

45

ЕРЕМИНА Т. Ю., ФАДЕЕВ В. Е.
К оценке возможности внедрения экранных стен
на объектах с массовым пребыванием людей

57

КОСТЮЧЕНКО Е. Г., ЗАХМАТОВ В. Д.
Определение предельных состояний пустотных
преднапряженных железобетонных плит перекрытий
при огневом воздействии под нагрузкой

67

СТАТИСТИКА И СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

РАИМБЕКОВ К. Ж., КУСАИНОВ А. Б.
Анализ пожаров в Республике Казахстан
методами математической статистики

75

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ ПОЖАРНОЙ И КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ

ИЩЕНКО А. Д., КЛЮЙ В. В.,
ПОЛЫНЬКО С. В., ТАРАНЦЕВ А. А.
О построении уточненного совмещенного графика
для расчета сил и средств для тушения пожара

82

СРЕДСТВА И СПОСОБЫ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

МЕЛЬНИКОВ А. И.
Влияние межфазного натяжения на интенсивность
поддачи и удельный расход фторированного
пенообразователя с добавками хлорида аммония

93

ВОПРОС – ОТВЕТ

ХАРЛАМЕНКОВ А. С.
Оценка вероятности возникновения пожара
от электрооборудования для расчета пожарного риска

99

CONTENTS

GENERAL QUESTIONS OF COMPLEX SAFETY

KAMENETSKAYA N. V., MEDVEDEVA O. M.,
KHITOV S. B., MASLAKOV M. D.
Methodology of estimation of the failures's risks in
the work of special technical means in emergency situations

KRASAVIN A. V., KREPYSHEV S. A., MEDYANIK M. V.
Analytical review of special specifications for objects
of the oil and gas industry

MATHEMATICAL MODELING, NUMERICAL METHODS AND PROGRAM COMPLEXES

TARAKANOV D. V., BAKANOV M. O.,
KOLBASHOV M. A., MOISEEV Yu. N.
Fire and rescue team communication
and control automated information system

SAFETY OF SUBSTANCES AND MATERIALS

GROKHOTOV M. A., BEGISHEV I. R.,
KOMAROV A. A., BELIKOV A. K.
Kinetic approach when calculating parameters
of fire-and-explosion hazard of gas mixes
of methane with chlorine

SAFETY OF BUILDINGS, STRUCTURES, OBJECTS

KOMAROV A. A., KOROLCHENKO D. A., PHAN TUAN ANH
Features of determination of the dynamic amplification
factor under impulse loads

PRUSAKOV V. A., GRAVIT M. V., TIMOFEEV N. S.,
SIMONENKO Ya. B., GUTOROV K. V., SHEVCHENKO A. M. K. S.
Fire retardant coating for expansion and linear joints in
buildings

EREMINA T. Yu., FADEEV V. E.
To the assessment of the possibility of the introduction
of curtain walling on objects with mass stay of people

KOSTYUCHENKO E. G., ZAKHMATOV V. D.
Determination of the limit states of loaded
prestressed hollow core concrete floor slabs
under fire exposure

STATISTICS AND SYSTEM ANALYSIS

RAIMBEKOV K. Zh., KUSSAINOV A. B.
Analysis of fires in the Republic of Kazakhstan
by methods of mathematical statistics

ECONOMICS AND FIRE AND COMPLEX SAFETY CONTROLE

ISHCHENKO A. D., KLYUY V. V.,
POLYNKO S. V., TARANTSEV A. A.
About building a revised combined graphics the calculation
of forces and means to extinguish the fire

MEANS AND WAYS OF FIRE EXTINGUISHING

MELNIKOV A. I.
Influence of interfacial tension on flow rate and
specific consumption of fluorinated foaming agent,
containing added ammonium chloride

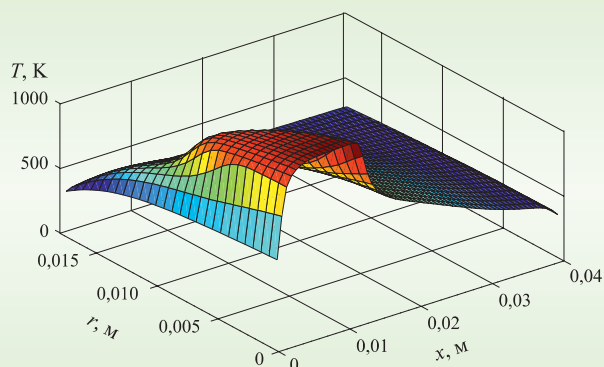
QUESTION – ANSWER

KHARLAMENKOV A. S.
Assessment of the probability of fire from electrical
equipment for calculating fire risk



Методика оценки риска отказа в работе специальной техники при ЧС

Стр. 5



Стр. 27

Расчет параметров пожаровзрывоопасности газовых смесей



Огнезащита деформационных и линейных швов

Стр. 45



Стр. 67

Предельные состояния пустотных плит перекрытий

Стр. 82



Уточненный совмещенный график для расчета сил и средств МЧС

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 15.03.2018.

Date of publication 26.03.2018.

Format is 60x84 1/8.

Printing is 2000 copies.

Chalk-overlay mat paper.

Offset printing.

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

EDITOR-IN-CHIEF:

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

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF:

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

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

EDITORIAL BOARD:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Н. В. КАМЕНЕЦКАЯ, канд. техн. наук, профессор кафедры высшей математики и системного моделирования сложных процессов, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: natkam53@mail.ru)

О. М. МЕДВЕДЕВА, канд. техн. наук, доцент кафедры высшей математики и системного моделирования сложных процессов, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: mom65@mail.ru)

С. Б. ХИТОВ, Западный военный округ Министерства обороны Российской Федерации (Россия, 191055, г. Санкт-Петербург, Дворцовая пл., 10; e-mail: khitoff_s@mail.ru)

М. Д. МАСЛАКОВ, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры пожарной безопасности технологических процессов и производств, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: kafedra_pbtp@mail.ru)

УДК 614.849

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РИСКА ОТКАЗА В РАБОТЕ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ В ХОДЕ ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ

Рассмотрена возможность исследования опасностей, связанных с отказами в работе специальной техники в ходе ликвидации чрезвычайных ситуаций. Предложена методика оценки рисков с применением теории очередей и систем массового обслуживания. Выработаны практические рекомендации для повышения надежности работы специальной техники. Приведены расчеты, которые позволяют на практике предварительно учитывать риски, связанные с временно не работающей и восстанавливаемой специальной техникой, и, следовательно, управлять этими рисками для поддержания постоянной высокой готовности сил и средств пожарно-спасательных подразделений Федеральной противопожарной службы МЧС России, повышения их надежности в ходе ликвидации ЧС и проведения аварийно-спасательных работ. Обоснован вывод формул, на которых базируется методика; приведены примеры ее практической реализации. Сформулирован круг задач оперативной деятельности МЧС России, решить которые можно с применением представленной методики.

Ключевые слова: оценка риска; теория очередей; надежность; системы массового обслуживания; пожарно-спасательные подразделения.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.02-03.5-13

Введение

Обеспечение постоянной готовности личного состава и технических средств управления силами и средствами к сложной обстановке в ходе ликвидации чрезвычайных ситуаций (ЧС) является важнейшим условием своевременного развертывания системы управления, эффективного и качественного ее функционирования в ходе выполнения аварийно-спасательных работ подразделениями МЧС России.

Для решения этой задачи разрабатывается и осуществляется комплекс действий организационного, технического и методологического характера.

Важнейшим организационным мероприятием, проводимым в целях обеспечения высокой постоянной готовности личного состава и специальной техники (далее — СТ) к работе, является определение необходимого состава сил и средств и анализ их

надежности в ходе ликвидации ЧС и выполнения аварийно-спасательных работ.

Применение значительного количества СТ ведет к неизбежным отказам, причем как технических средств, так и личного состава. Поэтому важным условием успешного решения задачи является обеспечение своевременного и безотказного функционирования специальной техники.

Выход из строя СТ, а также всех видов обслуживающих средств происходит по ряду причин, наиболее значимыми из которых являются неисправности, возникающие в процессе применения СТ по назначению, повреждения при транспортировке, воздействие неблагоприятных условий (метеоусловия, условия местности и т. п.).

Значительная доля отказов в работе СТ является результатом недостаточной подготовки личного со-

става (особенно в период освоения новых образцов), применения некачественно разработанной технической документации, а также сложности технических средств.

Специфику совместного влияния многих факторов на возможность своевременного, безотказного и безошибочного применения СТ обычно оценивают по количественным характеристикам, относящимся к показателям надежности [1–6], в виде комбинации нескольких частных показателей.

Цели и задачи исследования

Определение необходимого состава сил и средств для развертывания системы управления в ходе ликвидации ЧС должно базироваться на особенностях реальной обстановки. В связи с этим актуальной является задача предварительной оценки, учета и предупреждения рисков, связанных с применением “ненадежной”, т. е. временно находящейся в нерабочем состоянии или в состоянии ремонта, специальной техники в пожарно-спасательных подразделениях.

Современные методы математического моделирования являются весьма эффективным инструментарием в сфере управления рисками, что подтверждается отечественным и зарубежным опытом исследований [7–18].

Решение задачи оценки риска отказа в работе специальной техники в ходе ликвидации ЧС можно осуществить с использованием математического аппарата теории очередей, а именно систем массового обслуживания (СМО) [7, 8, 16, 19–21].

Действительно, эксплуатация пожарно-спасательными подразделениями МЧС России вооружения и специальной техники предполагает всестороннюю подготовку к применению разнообразных технических средств, которые в определенных условиях и различных сочетаниях могут рассматриваться как система массового обслуживания с отказами.

Определение показателей надежности СМО с отказами с учетом частных характеристик различных образцов специальной техники является достаточно трудоемким процессом, поэтому для оценки надежности функционирования системы можно воспользоваться косвенными способами.

Рассмотрим СМО с отказами, в которой допускается применение “ненадежных” условных средств обслуживания. В такой системе каждый вновь поступивший объект может получить отказ не только в случае занятости всех средств обслуживания, но и тогда, когда часть средств занята обслуживанием других объектов, а оставшаяся часть находится в нерабочем состоянии. При этом предполагается, что выход из строя средства одинаково возможен как на этапе применения, так и в период подготовки его к использованию.

При анализе СМО в большинстве случаев можно получить вполне удовлетворительные результаты, заменяя входящий поток любой структуры простейшим потоком объектов с той же плотностью. Важным свойством простейшего потока является то, что при суммировании большого числа ординарных стационарных потоков практически с любым последствием получается поток объектов, сколь угодно близкий к простейшему [20].

Перед проведением некоторых расчетов целесообразно убедиться в том, что входящий поток объектов в исследуемой СМО в первом приближении является простейшим [22].

Предположим, что СМО имеет n средств обслуживания одного и того же вида. Средства обслуживания являются изделиями многократного использования, следовательно, в процессе их эксплуатации появляются неисправности (отказы).

Таким образом, со стороны средств обслуживания будет наблюдаться поток отказов. Представим этот поток как простейший с параметром r , а время, затрачиваемое на восстановление работоспособности средства, как подчиняющееся показательному закону распределения с параметром γ .

В СМО поступает поток заявок (объектов) с параметром λ . Время обслуживания объектов также представляет собой случайную величину с показательным законом распределения. Параметр производительности средств обслуживания обозначим μ .

В случае попадания объекта в систему в момент времени, когда все средства заняты обслуживанием или ремонтируются, он получает отказ. Если средство обслуживания вышло из строя во время работы с объектом, он может быть снова возвращен в СМО.

В указанных условиях необходимо определить основные характеристики системы с учетом работы “ненадежных” средств и принять меры для улучшения этих характеристик и повышения эффективности и надежности работы системы в целом, т. е. устранить или скорректировать риски, связанные с возможными отказами СТ.

Методы исследования

Для решения поставленной задачи воспользуемся рядом известных формул [19].

Вычислим вероятность π_k нахождения k средств обслуживания в нерабочем состоянии в момент времени t :

$$\pi_k = \frac{n!}{k!(n-k)!} \left(\frac{r}{\gamma}\right)^k \pi_0 \quad \text{при } 1 \leq k \leq m, \quad (1)$$

где n — число средств обслуживания;

π_0 — вероятность того, что в момент времени t в системе не будет ни одного средства в нерабочем состоянии;

m — число специалистов, привлекаемых для восстановления вышедших из строя средств обслуживания.

Вероятность π_0 определяется из нормирующего условия:

$$\sum_{k=0}^n \pi_k = 1; \quad \pi_k = \frac{n!}{m! m^{k-m} (n-k)!} \left(\frac{r}{\gamma}\right)^k \pi_0 \quad \text{при } m < k \leq n. \quad (2)$$

Вероятность $P_{\text{отк1}}$ того, что объект не будет обслужен системой, так как все средства заняты или находятся в нерабочем состоянии, рассчитывается как:

$$P_{\text{отк1}} = \sum_{s=0}^n P_s \cdot \pi_{n-s}, \quad (3)$$

где s — текущий параметр;

P_s — вероятность того, что в момент времени t обслуживанием объектов заняты s средств;

π_{n-s} — вероятность того, что в момент времени t $n-s$ средств обслуживания находятся в нерабочем состоянии.

Вероятность $P_{\text{отк2}}$ того, что объект покинет систему необслуженным, так как средство обслуживания вышло из строя в процессе функционирования системы, вычислим как

$$P_{\text{отк2}} = \frac{r \sum_{k=1}^n P_k \cdot k}{\lambda}, \quad (4)$$

где P_k — вероятность того, что в момент времени t обслуживанием объектов заняты k средств.

Суммарная вероятность отказа в обслуживании объектов “ненадежной” системой может быть вычислена по формуле

$$P_{\text{отк}} = P_{\text{отк1}} + P_{\text{отк2}} = \sum_{s=0}^n P_s \cdot \pi_{n-s} + \frac{r \sum_{k=1}^n P_k \cdot k}{\lambda}. \quad (5)$$

Суммарная вероятность отказа (5) является риском, который будет влиять на эффективность работы системы в целом как совокупности единиц обслуживающей спецтехники, применяемой в ходе ликвидации ЧС пожарно-спасательными подразделениями. Эту вероятность, т. е. риск, необходимо уменьшать, желательно до нормативного значения, которое составляет $P_n = 0,001$ [1, 2].

Вероятность обслуживания в СМО вновь поступившего объекта $P_{\text{обсл}}$ найдем из соотношения

$$P_{\text{обсл}} = 1 - P_{\text{отк}}. \quad (6)$$

Определим математические ожидания:

а) числа занятых средств обслуживания M_3 :

$$M_3 = \sum_{k=1}^n P_k \cdot k; \quad (7)$$

б) числа средств, находящихся в нерабочем состоянии, M_n :

$$M_n = \sum_{s=1}^n s \cdot \pi_s; \quad (8)$$

в) числа исправных средств, не занятых обслуживанием, M_0 :

$$M_0 = n - M_3 - M_n. \quad (9)$$

Коэффициенты простоя K_n и занятости K_3 средств обслуживания вычислим как:

$$K_n = M_0/n; \quad (10)$$

$$K_3 = M_3/n. \quad (11)$$

Коэффициент надежности системы K_n , определяющий среднюю долю неисправных средств по отношению к общему числу средств, задействованных для обслуживания, найдем из выражения

$$K_n = M_n/n. \quad (12)$$

Для СМО с отказами при $n = 1$ и $m = 1$ основными формулами для выполнения расчетов будут [19]:

$$\pi_0 = \gamma/(r + \gamma); \quad (13)$$

$$\pi_1 = r/(r + \gamma), \quad (14)$$

где π_1 — вероятность того, что в нерабочем состоянии находится только одно средство.

Тогда можно рассчитать:

- вероятность того, что все средства обслуживания свободны:

$$P_0 = \frac{r + \mu}{r + \mu + \lambda \gamma / (r + \gamma)}; \quad (15)$$

- вероятность того, что обслуживанием объектов занято только одно средство:

$$P_1 = \frac{\lambda \gamma}{(r + \gamma)(r + \mu) + \lambda \gamma}. \quad (16)$$

Суммарная вероятность отказа объекту в обслуживании будет определяться выражением

$$P_{\text{отк1}} = \pi_1 + P_1 = \frac{r}{r + \gamma} + \frac{\lambda \gamma}{(r + \gamma)(r + \mu) + \lambda \gamma}. \quad (17)$$

Пример оценки надежности станции специальной обработки

Пусть к обслуживающему прибору ($n = 1$), расположенному на станции специальной обработки, поступают объекты (специальная техника) с плотностью $\lambda = 4$ объекта в час. Среднее время обработки (обслуживания) объекта $t_{\text{обсл}} = 0,25$ ч. Прибор может периодически выходить из строя.

Допустим, что среднее время между выходами прибора из строя (отказами) $t_{\text{отк}} = 10$ ч. Время, затрачиваемое на восстановление неисправности $t_{\text{восст}}$, случайное и в среднем равно 0,2 ч. Если объект поступит в тот момент, когда прибор проводит обслу-

Таблица 1. Значения показателей эффективности многоканальной СМО, $\lambda = 1$, $\bar{t}_{\text{обсл}} = 10$ мин

Table 1. Values of multichannel SMO performance indicators, $\lambda = 1$, $\bar{t}_{\text{serv}} = 10$ min

Число каналов обслуживания n Number of service channels n	Среднее время обслуживания заявки $\bar{t}_{\text{обсл}}$, мин Average service time of the application $\bar{t}_{\text{serv}}$, min	Вероятность того, что все каналы свободны P_0 The probability that all channels are free P_0	Вероятность отказа в обслуживании $P_{\text{отк}}$ The probability of denial of service P_{fail}	Число занятых каналов N_3 Number of busy channels N_{busy}	Число свободных каналов N_0 Number of free channels N_0	Коэффициент занятости средств обслуживания K_3 Coefficient of employment of facilities K_{busy}	Коэффициент простоя средств обслуживания $K_{\text{п}}$ Coefficient of downtime of facilities K_d
6	10,000	0,0003	0,4845	5,1549	0,8451	0,8591	0,1409
14	10,000	0,0000	0,0568	9,4318	4,5682	0,6737	0,3263
15	10,000	0,0000	0,0365	9,6350	5,3650	0,6423	0,3577
36	10,000	0,0000	0,0000	10,000	26,000	0,2778	0,7222
39	10,000	0,0000	0,0000	10,000	29,000	0,2564	0,7436
42	10,000	0,0000	0,0000	10,000	32,000	0,2381	0,7619
45	10,000	0,0000	0,0000	10,000	35,000	0,2222	0,7778
48	10,000	0,0000	0,0000	10,000	38,000	0,2083	0,7917
51	10,000	0,0000	0,0000	10,000	41,000	0,1961	0,8039
54	10,000	0,0000	0,0000	10,000	44,000	0,1852	0,8148
57	10,000	0,0000	0,0000	10,000	47,000	0,1754	0,8246
60	10,000	0,0000	0,0000	10,000	50,000	0,1667	0,8333

живание ранее поступившего объекта либо находится в нерабочем состоянии, то объект направляется для обработки на другой прибор, если он есть. Если станция одноканальная, то объект получает отказ в обслуживании.

Положим также, что возникшую неисправность устраняет один квалифицированный оператор ($m = 1$). Требуется определить основные характеристики системы массового обслуживания с учетом ненадежности одного прибора обслуживания.

Для решения данной задачи определим параметры r , μ и γ :

$$r = 1/\bar{t}_{\text{отк}} = 1/10 = 0,1;$$

$$\mu = 1/\bar{t}_{\text{обсл}} = 1/0,25 = 4;$$

$$\gamma = 1/\bar{t}_{\text{восст}} = 1/0,2 = 5.$$

По формуле (17) находим вероятность того, что объект не будет обработан, так как прибор либо неисправен, либо занят обслуживанием:

$$P_{\text{отк1}} = \frac{0,1}{5,1} + \frac{4 \cdot 5}{(0,1 + 5)(0,1 + 4) + 4 \cdot 5} = 0,0196 + 0,4889 = 0,5085. \quad (18)$$

Так как прибор может выходить из строя и во время работы с объектом, обслуживание некоторой части объектов (спецтехники) будет прервано до полного восстановления работы прибора.

Определим процент необработанных объектов из-за выхода прибора из строя во время обслуживания по формуле (4):

$$P_{\text{отк2}} = \frac{rP_1}{\lambda} = \frac{0,1 \cdot 0,4889}{4} = 0,0122.$$

На основании результатов, полученных при расчетах, можно сделать вывод о том, что с вероятностью 0,5085 обработка поступающего объекта (спецтехники) не состоится, так как обслуживающий прибор либо неисправен, либо занят обслуживанием другого объекта. При этом вероятность того, что прибор неисправен, равна первому слагаемому суммы (18), т. е. 0,0196. Вероятность того, что прибор занят обработкой одного из предшествующих объектов, равна второму слагаемому суммы (18), т. е. 0,4889.

Практические рекомендации

Результаты выполненных расчетов показывают, что обслуживающий прибор, который проводит обработку специальной техники, перегружен, так как суммарная вероятность отказа объектам в обслуживании оказалась равной 0,5085, что значительно превышает нормативное значение. В рамках приведенного примера это означает, что 51 % поступающей спецтехники не будет обслужен, что крайне неэффективно. Кроме того, в 1,2 % случаев часть объектов останется без обработки по причине выхода из строя прибора во время их обслуживания.

В связи с этим для повышения пропускной способности станции специальной обработки (при вышеприведенных исходных данных) необходимо увеличить число обслуживающих приборов n и число квалифицированных специалистов m , используя модель многоканальной СМО.

Для проведения тактических расчетов работы СМО (с учетом отказов технических средств, ошибок, допускаемых личным составом при использо-

вании этих средств, и биологических отказов) можно воспользоваться более общей методикой.

Надежность функционирования системы можно определить методом сопоставления сравниваемых величин $P_{отк}$ при заданных значениях исходных данных. При этом будем предполагать, что

$$P_{отк i} - P_{отк j} = P_{отк i-j},$$

где $P_{отк i}$ — вероятность отказа объектам в обслуживании при условии, что все n средств работоспособны;

$P_{отк j}$ — вероятность отказа объектам в обслуживании при условии, что часть средств неисправна;

$P_{отк i-j}$ — характеристика изменения степени надежности функционирования системы.

Рассмотрим пример оценки надежности функционирования системы массового обслуживания методом сопоставления сравниваемых величин $P_{отк}$ при заданных значениях исходных данных.

Пример оценки надежности системы, обеспечивающей переправу через реку в зону ЧС

При выполнении аварийно-спасательных работ, например при ликвидации последствий крупномасштабных ЧС (землетрясений, наводнений и т. п.), связанных с разрушениями объектов дорожной инфраструктуры, возникает задача своевременной доставки личного состава пожарно-спасательных подразделений и единиц специальной техники в зону ЧС.

В частности, рассмотрим задачу оценки надежности системы, обеспечивающей переправу через реку в зону ЧС в районе, отрезанном от кратчайшей

магистральной, по которой из мест постоянной дислокации прибывают пожарно-спасательные подразделения.

Предположим, что на участке форсирования реки развернуто 15 однотипных переправочных средств ($n = 15$). Поток поступления техники на переправу в среднем составляет 1 объект в минуту (интенсивность потока заявок $\lambda = 1$). Среднее время переправы одного объекта (время обслуживания) $\bar{t}_{обсл} = 10$ мин (в среднее время включено и время возвращения переправочного средства назад).

Определим основные характеристики системы и оценим надежность ее функционирования с учетом того, что из строя может выйти одно переправочное средство.

По табл. 1 [21] можно найти значения показателей эффективности многоканальной СМО для различных исходных данных при $n = 15$ и $n = 14$.

Определим, насколько изменится вероятность отказа (т. е. увеличится риск), если окажется неисправным одно переправочное средство:

$$P_{отк14} - P_{отк15} = 0,0568 - 0,0365 = 0,0203. \quad (19)$$

Практические рекомендации

В соответствии с равенством (19) при выходе из строя одного переправочного средства риск, т. е. вероятность отказа в обслуживании, возрастет с 0,0365 до 0,0568, а надежность работы всей системы уменьшится на 2 %. После восстановления переправочного средства надежность переправы снова возрастет на ту же величину.

Таблица 2. Значения показателей эффективности многоканальной СМО, $\lambda = 1$, $\bar{t}_{обсл} = 15$ мин

Table 2. Values of multichannel SMO performance indicators, $\lambda = 1$, $\bar{t}_{serv} = 15$ min

Число каналов обслуживания n Number of service channels n	Среднее время обслуживания заявки $\bar{t}_{обсл}$, мин Average service time of the application $\bar{t}_{serv}$, min	Вероятность того, что все каналы свободны P_0 The probability that all channels are free P_0	Вероятность отказа в обслуживании $P_{отк}$ The probability of denial of service P_{fail}	Число занятых каналов N_3 Number of busy channels N_{busy}	Число свободных каналов N_0 Number of free channels N_0	Коэффициент занятости средств обслуживания K_3 Coefficient of employment of facilities K_{busy}	Коэффициент простоя средств обслуживания $K_{п}$ Coefficient of downtime of facilities K_d
6	15,000	0,0000	0,6341	5,4883	0,5117	0,9147	0,0853
14	15,000	0,0000	0,2200	11,7003	2,2997	0,8357	0,1643
15	15,000	0,0000	0,1803	12,2953	2,7047	0,8197	0,1803
36	15,000	0,0000	0,0000	0,1500	21,000	0,4167	0,5833
39	15,000	0,0000	0,0000	0,1500	24,000	0,3846	0,6154
42	15,000	0,0000	0,0000	0,1500	27,000	0,3571	0,6429
45	15,000	0,0000	0,0000	0,1500	30,000	0,3333	0,6667
48	15,000	0,0000	0,0000	0,1500	33,000	0,3125	0,6875
51	15,000	0,0000	0,0000	0,1500	36,000	0,2941	0,7059
54	15,000	0,0000	0,0000	0,1500	39,000	0,2778	0,7222
57	15,000	0,0000	0,0000	0,1500	42,000	0,2632	0,7368
60	15,000	0,0000	0,0000	0,1500	45,000	0,2500	0,7500

Необходимо отметить, что значения показателей эффективности для многоканальной СМО с отказами при различных исходных данных можно найти в специальной литературе в виде таблиц [21]. Это значительно упрощает решение задачи по оценке рисков и надежности системы.

Пусть в условиях примера, кроме уменьшения на единицу количества переправочных средств — с 15 до 14, изменится и среднее время переправы одного объекта (время обслуживания) до $t_{\text{обсл}} = 15$ мин. По табл. 2 находим вероятности отказа для нового времени обслуживания.

Тогда вероятность отказа изменится на величину

$$P_{\text{отк}14} - P_{\text{отк}15} = 0,2200 - 0,1803 = 0,0397.$$

Расчеты показали, что незначительное изменение в исходных данных увеличило риск в 2 раза и уменьшило надежность системы на 4 %.

Таблицы значений показателей эффективности СМО, подобные табл. 1 и 2, могут быть использованы в системах управления базами данных, создаваемых в целях оптимизации процесса управления рисками [21].

Выводы

Актуальная проблема предварительной оценки рисков, связанных с применением “ненадежных” средств вооружения и специальной техники пожарно-спасательных подразделений, решена в настоящей статье с применением математического аппарата теории очередей и систем массового обслуживания с отказами.

Сформулируем ряд задач оперативной деятельности МЧС России, решение которых можно осуществить с применением представленной методики: обоснование структуры и организации функционирования мобильного госпиталя МЧС России [7], оценка эффективности функционирования поста радиационного, химического и биологического наблюдения в зоне ЧС [8], расчет показателей эффективности функционирования производственно-технического центра МЧС России, моделирование мероприятий технической эксплуатации средств электронно-вычислительной и оргтехники в системе МЧС России [16], моделирование процесса распределения финансовых средств в интересах эффективной организации радиосвязи в МЧС России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кривошинок В. В., Малыгин И. Г., Сай В. В. Система обеспечения безопасности от рисков при производстве пожарной техники // Проблемы управления рисками в техносфере. — 2008. — № 4(8). — С. 61–68.
2. Методические рекомендации по действиям подразделений Федеральной противопожарной службы при тушении пожаров и проведении аварийно-спасательных работ : утв. указанием МЧС России от 26.05.2010 № 43-2007-18. URL: <http://lawru.info/dok/2010/05/26/n220225.htm> (дата обращения: 10.01.2018).
3. Нефедьев С. А. Современные инструменты управления риском чрезвычайных ситуаций на транспорте // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2016. — Т. 25, № 9. — С. 60–69. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.09.60-69.
4. Черных А. К., Вилков В. Б. Управление безопасностью транспортных перевозок при организации материального обеспечения сил и средств МЧС России в условиях чрезвычайной ситуации // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2016. — Т. 25, № 9. — С. 52–59. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.09.52-59.
5. Guidelines for chemical transportation safety, security, and risk management. — New York – New Jersey : Center for Chemical Process Safety, John Wiley & Sons, Inc., 2008. 202 p. DOI: 10.1002/9780470924860.
6. Terrorism and international transport: towards risk-based security policy. — Paris : OECD Publishing, 2009. — 150 p. DOI: 10.1787/9789282102329-en.
7. Каменецкая Н. В., Медведева О. М., Хитов С. Б. Математическое моделирование при решении задач обоснования структуры и организации функционирования мобильного госпиталя МЧС России // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России : научно-аналитический журнал. — 2016. — № 1. — С. 62–67.
8. Каменецкая Н. В., Медведева О. М., Хитов С. Б. Применение методов математического моделирования при решении задачи выявления и оценки радиационной, химической и биологической обстановки в зоне чрезвычайной ситуации // Проблемы управления рисками в техносфере. — 2016. — № 2(38). — С. 64–69.
9. Akbar N. S., Beg O. A. (eds.). Modeling and simulation in engineering sciences. — New York : iTexLi, 2016. — 289 p. DOI: 10.5772/62109.
10. Fitzgibbon W., Kuznetsov Yu. A., Neittaanmäki P., Pironneau O. (eds.). Modeling, simulation and optimization for science and technology. — Amsterdam : Springer, 2014. — 248 p. DOI: 10.1007/978-94-017-9054-3.

11. Siddiqi A. H., Manchanda P., Bhardwaj R. Mathematical models, methods and applications. — New York : Springer, 2015. — 309 p. DOI: 10.1007/978-981-287-973-8.
12. Giordano F. R., Fox W. P., Horton S. B. A first course in mathematical modeling. — 5th ed. — Boston : Cengage Learning, 2013. — 704 p.
13. Habib M. (ed.). Empirical modeling and its applications. — New York : ExLi4EvA, 2016. — 146 p. DOI: 10.5772/61406.
14. Meerschaert M. M. Mathematical modeling. — 4th ed. — New York : Academic Press, 2013. — 368 p.
15. Yang Xin-She (ed.). Mathematical modeling with multidisciplinary applications. — New York : John Wiley & Sons, 2013. — 592 p. DOI: 10.1002/9781118462706.
16. Каменецкая Н. В., Корольков А. П., Хитов С. Б. Математическое моделирование мероприятий технической эксплуатации средств электронно-вычислительной и оргтехники в системе МЧС России // Проблемы управления рисками в техносфере. — 2017. — № 4(44). — С. 89–94.
17. Каменецкая Н. В., Медведева О. М., Хитов С. Б., Бардулин Е. Н. Обоснование выбора эффективных тактических приемов по тушению пожаров и проведению аварийно-спасательных работ методом последовательного анализа // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2017. — Т. 26, № 5. — С. 5–12. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.05.5-12.
18. Каменецкая Н. В., Медведева О. М., Хитов С. Б., Громов В. Н. Математическое моделирование сравнительного анализа двух тактических приемов по тушению пожаров и проведению аварийно-спасательных работ подразделениями МЧС России // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2017. — Т. 26, № 10. — С. 20–26. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.10.20-26.
19. Новиков О. А., Петухов С. И. Прикладные вопросы теории массового обслуживания. — М. : Советское радио, 1969. — 400 с.
20. Вагнер Г. Основы исследования операций / Пер. с англ. — М. : Мир, 1973. — Т. 3. — 504 с.
21. Лукин А. И. Системы массового обслуживания: анализ систем массового обслуживания с отказами в военной практике. — М. : Воениздат, 1980. — 189 с.
22. Каменецкая Н. В., Медведева О. М., Хитов С. Б. Анализ входящего потока объектов при математическом моделировании систем массового обслуживания // Приоритетные научные направления: от теории к практике : матер. XXXVIII Международной научно-практической конференции. — Новосибирск : Центр развития научного сотрудничества, 2017. — С. 156–162.

Материал поступил в редакцию 6 февраля 2018 г.

Для цитирования: Каменецкая Н. В., Медведева О. М., Хитов С. Б., Маслаков М. Д. Методика оценки риска отказа в работе специальной техники в ходе ликвидации чрезвычайной ситуации // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 2–3. — С. 5–13. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.02-03.5-13.

English

METHODOLOGY OF ESTIMATION OF THE FAILURES'S RISKS IN THE WORK OF SPECIAL TECHNICAL MEANS IN EMERGENCY SITUATIONS

KAMENETSKAYA N. V., Candidate of Technical Sciences, Professor of Higher Math and System Modeling of Complex Processes Department, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail: natkam53@mail.ru)

MEDVEDEVA O. M., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Higher Math and System Modeling of Complex Processes Department, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail: mom65@mail.ru)

KHITOV S. B., Western Military District of the Ministry of Defense of the Russian Federation (Dvortsovaya Square, 10, Saint Petersburg, 191055, Russian Federation; e-mail: khitoff_s@mail.ru)

MASLAKOV M. D., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Department of Fire Safety of Technological Processes and Production, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail: kafedra_pbtpt@mail.ru)

ABSTRACT

The most important condition for the timely deployment of the management system, its efficient and high-quality operation in the course of emergency rescue operations by the units of Emercom of Russia is to ensure the constant readiness of personnel and technical means of managing forces and assets in a complex fire situation.

For this purpose, it is required to determine in advance the necessary composition of forces and assets and to analyze their reliability in work during the liquidation of emergencies. Activities of technical operation should ensure the timely and trouble-free operation of special technical means (STM).

The use of a significant number of STM leads to inevitable failures, both of technical means and personnel. The failure of the STM, as well as of all types of servicing facilities, occurs for a number of reasons, the main of which are: malfunctions arising in the course of application as intended; damage during transportation; exposure to adverse conditions. The specificity of the joint influence of many factors on the possibility of timely, trouble-free and error-free application of STM is usually assessed by quantitative characteristics relating to indicators of reliability and risk.

Therefore, the task of preliminary assessment of risks, their accounting and further elimination, connected with the use of “unreliable”, that is temporarily in a non-working condition or in the state of repair, special equipment of fire-rescue units, is urgent.

The purpose of this study is to demonstrate the possibility of assessing the risks caused by failures in the work of special technical means during the liquidation of emergencies.

The article proposes a methodology for risk assessment using queuing theory and queuing systems with failures. Practical recommendations have been developed to increase the reliability of the STM operation. There are calculations that allow in practice to take into account the risks associated with a temporarily idle and recoverable STM, and therefore, manage risks to maintain a constant high readiness of the forces and means of fire and rescue units of the Federal Fire Fighting Service of Emercom of Russia, increase their reliability in the process of liquidation of emergencies and carrying out rescue operations. The conclusion of formulas on which the method is based is proved; examples of its practical implementation are given.

Keywords: risk assessment; queuing theory; reliability; queuing systems; fire-rescue units.

REFERENCES

1. Krivosheonok V. V., Malygin I. G., Say V. V. Safety system in fire equipment manufacturing. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere / Problems of Technosphere Risk Management*, 2008, no. 4(8), pp. 61–68 (in Russian).
2. *Methodical recommendations on the actions of units of the Federal firefighting service for extinguishing fires and conducting emergency rescue operations*. Approved by the order of Emercom of Russia on 26.05.2010 No. 43-2007-18 (in Russian). Available at: <http://lawru.info/dok/2010/05/26/n220225.htm> (Accessed 10 January 2018).
3. Nefedev S. A. Modern tools of risk management of emergency situations on transport. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 9, pp. 60–69 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2016.25.09.60-69.
4. Chernykh A. K., Vilkov V. B. Management of transportation safety at the organization of material maintenance of forces and means Emercom of Russia in emergencies. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 9, pp. 52–59 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2016.25.09.52-59.
5. *Guidelines for chemical transportation safety, security, and risk management*. New York, Center for Chemical Process Safety; New Jersey, John Wiley & Sons, Inc., 2008. 202 p. DOI: 10.1002/9780470924860.
6. *Terrorism and International transport: towards risk-based security policy*. Paris, OECD Publishing, 2009. 150 p. DOI: 10.1787/9789282102329-en.
7. Kamenetskaya N. V., Medvedeva O. M., Khitov S. B. Mathematical modeling in problem of solving situation of explanation of the structure and functioning of the field hospital of Emercom of Russia. *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*, 2016, no. 1, pp. 62–67 (in Russian).

8. Kamenetskaya N. V., Medvedeva O. M., Khitov S. B. Application of methods of mathematical modelling at the solution of the problem of identification and the assessment of radiation, chemical and biological situation in zone of emergency. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere / Problems of Technosphere Risk Management*, 2016, no. 2(38), pp. 64–69 (in Russian).
9. Akbar N. S., Beg O. A. (eds.). *Modeling and simulation in engineering sciences*. New York, iTeXLi, 2016. 289 p. DOI: 10.5772/62109.
10. Fitzgibbon W., Kuznetsov Yu. A., Neittaanmäki P., Pironneau O. (eds.). *Modeling, simulation and optimization for science and technology*. Amsterdam, Springer, 2014. 248 p. DOI: 10.1007/978-94-017-9054-3.
11. Siddiqi A. H., Manchanda P., Bhardwaj R. *Mathematical models, methods and applications*. New York, Springer, 2015. 309 p. DOI: 10.1007/978-981-287-973-8.
12. Giordano F. R., Fox W. P., Horton S. B. *A first course in mathematical modeling*. 5th ed. Boston, Cengage Learning, 2013. 704 p.
13. Habib M. (ed.). *Empirical modeling and its applications*. New York, ExLi4EvA, 2016. 146 p. DOI: 10.5772/61406.
14. Meerschaert M. M. *Mathematical modeling*. 4th ed. New York, Academic Press, 2013. 368 p.
15. Yang Xin-She (ed.). *Mathematical modeling with multidisciplinary applications*. New York, John Wiley & Sons, 2013. 592 p. DOI: 10.1002/9781118462706.
16. Kamenetskaya N. V., Korolkov A. P., Khitov S. B. Mathematical modeling of technical exploitation's activities of electronic computers and office equipment in the system of Emercom of Russia. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere / Problems of Technosphere Risk Management*, 2017, no. 4(44), pp. 89–94 (in Russian).
17. Kamenetskaya N. V., Medvedeva O. M., Khitov S. B., Bardulin E. N. Justification of effective tactical procedure choice fire-fighting wrecking by means of sequential analysis method. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 5, pp. 5–12 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.05.5-12.
18. Kamenetskaya N. V., Medvedeva O. M., Khitov S. B., Gromov V. N. Comparative analysis of two tactical procedures of fire exercise and carrying out emergency rescue operations by the fire divisions of the MES of Russia. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 10, pp. 20–26 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.10.20-26.
19. Novikov O. A., Petukhov S. I. *Prikladnyye voprosy teorii massovogo obsluzhivaniya* [Applied questions of queuing theory]. Moscow, Sovetskoye radio Publ., 1969. 400 p. (in Russian).
20. Wagner H. M. *Principles of operations research*. New Jersey, Prentice-Hall, 1969 (Russ. ed.: Wagner H. M. Osnovy issledovaniya operatsiy. Moscow, Mir Publ., 1972, vol. 3, 504 p.).
21. Lukin A. I. *Sistemy massovogo obsluzhivaniya: analiz sistem massovogo obsluzhivaniya s otkazami v voyennoy praktike* [Queuing systems: Analysis of queuing systems with rejections in military practice]. Moscow, Voenizdat Publ., 1980. 189 p. (in Russian).
22. Kamenetskaya N. V., Medvedeva O. M., Khitov S. B. The objects incoming flow analysis in the queuing systems mathematical modeling. In: *Prioritetnyye nauchnyye napravleniya: ot teorii k praktike* [Priority scientific areas: from theory to practice]. Proceeding of XXXVIII International Scientific-Practical Conference. Novosibirsk, Center for the Development of Scientific Cooperation Publ., 2017, pp. 156–162 (in Russian).

For citation: Kamenetskaya N. V., Medvedeva O. M., Khitov S. B., Maslakov M. D. Methodology of estimation of the failures's risks in the work of special technical means in emergency situations. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 2–3, pp. 5–13 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.02-03.5-13.

А. В. КРАСАВИН, канд. техн. наук, начальник управления промышленной, ядерной, радиационной, пожарной безопасности и ГОЧС, ФАУ "Главгосэкспертиза России" (Россия, 101000, г. Москва, Фуркасовский пер., 6; e-mail: a.krasavin@gge.ru)

С. А. КРЕПЫШЕВ, главный специалист отдела экспертизы пожарной безопасности и ГОЧС, ФАУ "Главгосэкспертиза России" (Россия, 101000, г. Москва, Фуркасовский пер., 6; e-mail: s.krepyshev@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: mihalmed@yandex.ru)

УДК 614.842.41:006.03

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СПЕЦИАЛЬНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Выявлены основные проблемные вопросы нормативной базы в части обеспечения пожарной безопасности объектов нефтегазового комплекса. Приведен примерный перечень объектов нефтегазового комплекса, прошедших процедуру государственной экспертизы проектной документации. Рассмотрены основания для разработки специальных технических условий в части обеспечения пожарной безопасности применительно к объектам нефтегазового комплекса. Приведены основные технические решения и компенсирующие мероприятия, наиболее часто встречающиеся в специальных технических условиях по обеспечению пожарной безопасности объектов нефтегазового комплекса. Приведены предложения по оптимизации и повышению качества нормативно-правовой базы.

Ключевые слова: специальные технические условия; пожарная безопасность; компенсирующие мероприятия; технические решения; противопожарная защита; объекты нефтегазового комплекса.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.02-03.14-19

Введение

Проектирование объектов нефтегазового комплекса в настоящее время, как правило, осуществляется в соответствии с требованиями ведомственных нормативных документов, которые были разработаны еще во времена СССР и многие положения которых устарели и нуждаются в существенной корректировке и актуализации.

В связи с этим в настоящее время при проектировании противопожарной защиты объектов нефтегазового комплекса достаточно часто разрабатываются в установленном порядке специальные технические условия (СТУ).

Большое количество СТУ, разработанных именно для объектов нефтегазового комплекса, свидетельствует о наличии проблемных вопросов, негативно влияющих на сроки проектирования объектов нефтегазового комплекса и прохождения процедуры государственной экспертизы проектной документации.

Целью настоящей статьи является формулирование предложений по совершенствованию существующей нормативной базы в части обеспечения

пожарной безопасности объектов нефтегазового комплекса, что в дальнейшем будет способствовать, по мнению авторов, значительному сокращению административных барьеров и, как следствие, уменьшению сроков проектирования, экспертизы и ввода объектов в эксплуатацию.

Для достижения поставленной цели авторами предлагается решить несколько задач, в частности провести анализ существующих нормативных положений, касающихся обеспечения пожарной безопасности объектов нефтегазового комплекса, а также анализ проблемных вопросов, которые предстоит урегулировать в нормативной базе.

Основания для СТУ, типовые решения и компенсирующие мероприятия по обеспечению пожарной безопасности

Порядок разработки и согласования СТУ для разработки проектной документации на объект капитального строительства [1] основывается на положениях ч. 8 ст. 6 Технического регламента о безопасности зданий и сооружений (Федеральный закон

№ 384-ФЗ) (далее — ФЗ № 384) [2] и определяет порядок требований к разработке и согласованию СТУ с учетом следующих случаев:

1) требуется отступление от обязательных требований нормативных документов, содержащихся в перечне национальных стандартов и сводов правил (частей таких стандартов и сводов правил) [3];

2) требований к надежности и безопасности, установленных национальными стандартами и сводами правил, недостаточно;

3) требования к надежности и безопасности отсутствуют.

Кроме того, ч. 1 ст. 78 Технического регламента о требованиях пожарной безопасности (Федеральный закон № 123-ФЗ) (далее — ФЗ № 123) [4] установлено, что для зданий и сооружений, для которых отсутствуют нормативные требования пожарной безопасности, на основе требований [4] должны быть разработаны в установленном порядке СТУ. Административный регламент МЧС предоставления государственной услуги по согласованию СТУ утвержден приказом МЧС России от 28.11.2011 г. № 710 [5].

Проектирование множества различных объектов нефтегазового комплекса осуществлялось на основании требований СТУ по обеспечению пожарной безопасности, например:

- нефтехимических предприятий (АО “Восточная нефтехимическая компания”, ОАО “Орскнефтеоргсинтез” и др.);
- объектов хранения и технологического розлива нефтепродуктов (объекты компаний “Газпром-нефть”, “Лукойл”, “Роснефть” и др.);
- производственных площадок производства сжиженного углеводородного газа (СУГ), сжиженного природного газа (СПГ), причальных комплексов их погрузки (объекты компании “Сахалин Энерджи Инвестмент Компани Лтд”, ООО “Газпром инвест”, ООО “НОВАТЭК-Юрхаровнефтегаз” и др.);
- объектов с обращением полярных водорастворимых горючих жидкостей (Западно-Сибирский комплекс глубокой переработки углеводородного сырья в полиолефины, ООО “Сибур-Тобольск” и др.).

Данные обстоятельства в первую очередь связаны с отсутствием требований пожарной безопасности для указанных объектов в нормативных документах. Следует отметить, что в настоящее время в действующих сводах правил по пожарной безопасности, разработанных в развитие ФЗ № 123 [4], например СП 4.13130.2013 [6], не находят отражение отдельные положения, содержащиеся в ведомственных нормативных документах и отраслевых рекомендациях, таких как ВНТП 03/170/567–87 [7]. В частности, не определены требования:

- к автоматической пожарной сигнализации, способам и средствам противопожарной защиты и пожаротушения сооружений и наружных установок нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий (ВУПП-88 [8], ВУП СНЭ–87 [9]);
- по противопожарной защите причальных комплексов для перегрузки нефти, нефтепродуктов, сжиженных углеводородных газов и сжиженного природного газа (ВСН 12–87 [10]);
- по противопожарной защите производств, объектов хранения с обращением полярных жидкостей [11, 12];
- пожарной безопасности к автоматизированным установкам тактового налива жидких нефтепродуктов; пожарной безопасности к сливоналивным железнодорожным эстакадам сжиженных углеводородных газов [13];
- пожарной безопасности к объектам хранения сжиженных углеводородных газов (РД 39-138–95 [14]).

Безусловно, разработка и введение в действие таких нормативных документов, как СП 231.1311500.2015 [15], СП 240.1311500.2015 [16], СП 155.13130.2014 [17], отчасти способствовали сокращению количества СТУ, однако “узких мест” и проблемных вопросов, которые предстоит урегулировать и отразить в нормативной базе для проектирования объектов нефтегазового комплекса, еще достаточно много.

Разработанные и согласованные СТУ на проектирование противопожарной защиты объектов нефтегазовой отрасли включают широкий спектр требований, касающихся в том числе:

- противопожарных расстояний, включая элементы территориального планирования;
- противопожарного водоснабжения (наружный и внутренний противопожарные водопроводы, системы орошения, водяные завесы и пр.);
- объемно-планировочных и конструктивных решений зданий и сооружений;
- устройства технологических узлов и систем противопожарной защиты.

В рамках мероприятий для обеспечения требуемых противопожарных разрывов в СТУ, как правило, предлагается:

- зонирование территорий предприятий;
- устройство дополнительных противопожарных преград (противопожарные экраны, стены и противопожарные водяные завесы);
- устройство дополнительных стационарных систем орошения оборудования;
- изменение соотношения ширины и высоты оборудования в секциях наружных установок;
- устройство дополнительных лафетных стволов.

В качестве компенсирующих и дополнительных мероприятий СТУ в части противопожарного водо-

снабжения обычно предлагаются следующие решения:

- определение расходов воды для нужд пожаротушения исходя из рассматриваемого возможного пожара (применительно для нефтеперерабатывающих производств малой мощности);
- устройство систем автоматического пожаротушения резервуаров с водорастворимыми горючими (полярными) жидкостями раствором синтетических фторсодержащих пленкообразующих пенообразователей;
- увеличение интенсивности подачи (расхода) огнетушащих веществ.

Дополнительные требования в части объемно-планировочных и конструктивных решений в основном регламентируют:

- повышение требуемой степени огнестойкости и класса конструктивной пожарной опасности зданий и сооружений;
- повышение пределов огнестойкости и характеристик огнестойкости противопожарных преград (например, предъявление дополнительных требований к дымогазонепроницаемости стен и перегородок и пр.) и заполнения проемов в этих преградах;
- устройство дополнительных эвакуационных выходов из зданий, дополнительных лестниц для наружного оборудования.

Дополнительными требованиями в СТУ в части проектирования технологических узлов и систем, а также технических систем противопожарной защиты, как правило, являются:

- применение безопасного оборудования (печей нагрева с закрытым контуром, резервуаров с контролем междустенного пространства);
- устройство пожарной сигнализации на наружных установках с применением тепловых линейных пожарных извещателей, аспирационных извещателей и извещателей пламени;
- устройство системы газовой флегматизации в технологических емкостях;
- устройство систем орошения (пожаротушения) оборудования, находящегося внутри технологической установки, при превышении ее площади по сравнению с регламентируемой нормативными требованиями;

- применение систем аварийного отключения при разгерметизации трубопроводов и оборудования.

Вышеуказанные мероприятия применяются как по отдельности, так и комплексно и содержат обосновывающие положения, установленные ст. 8 ФЗ № 384 [2].

Зачастую мероприятия, предусмотренные в СТУ, не содержат новизну в проектировании противопожарной защиты, а необходимость разработки СТУ является формальным признаком отсутствия соответствующей нормативной базы.

Кроме того, во многих случаях действующее законодательство позволяет обосновывать принимаемые проектные решения (альтернативные установленным в документах добровольного применения) иными способами, не прибегая к разработке и согласованию на федеральном уровне индивидуальных нормативов для конкретного объекта капитального строительства.

Положениями ФЗ № 384 [2] установлено, что согласованные в установленном порядке СТУ могут являться основанием для включения содержащихся в них требований к зданиям и сооружениям, а также к связанным со зданиями и сооружениями процессам проектирования (включая изыскания), строительства, монтажа, наладки в национальные стандарты и своды правил, применение которых будет обеспечивать соблюдение требований ФЗ № 384 [2].

Заключение

Представляется целесообразным с широким привлечением профессионального сообщества, бизнес-сообщества, экспертных и надзорных органов провести анализ требований, содержащихся в согласованных СТУ, по результатам которого осуществить актуализацию и/или разработку необходимых нормативных документов по пожарной безопасности.

Апробированные технические решения, согласованные в рамках СТУ и подтвердившие свою эффективность на реализованных объектах, накопленный отечественный и зарубежный опыт [18–20] обязательно должны найти отражение в соответствующих сводах правил (актуализированных редакциях ведомственных нормативных документов), что в значительной степени будет способствовать сокращению административных барьеров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Порядок разработки и согласования специальных технических условий для разработки проектной документации на объект капитального строительства : приказ Минстроя России от 15.04.2016 № 248/пр // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. — 03.10.2016. — № 40.
2. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений : Федер. закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ (ред. от 02.07.2013). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902192610> (дата обращения: 10.01.2018).

3. Перечень национальных стандартов и сводов правил (частей таких стандартов и сводов правил), в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона “Технический регламент о безопасности зданий и сооружений” : постановление Правительства РФ от 26.12.2014 № 1521 // Собр. законодательства РФ. — 12.01.2015. — № 2, ст. 465.
4. 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: 15.01.2018).
5. Административный регламент Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий предоставления государственной услуги по согласованию специальных технических условий для объектов, в отношении которых отсутствуют требования пожарной безопасности, установленные нормативными правовыми актами Российской Федерации и нормативными документами по пожарной безопасности, отражающих специфику обеспечения их пожарной безопасности и содержащих комплекс необходимых инженерно-технических и организационных мероприятий по обеспечению их пожарной безопасности (ред. от 04.10.2017) // Российская газета. — 20.01.2012. — № 11.
6. 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. : ВНИИПО МЧС России, 2013.
7. ВНТП 03/170/567–87. Противопожарные нормы проектирования объектов Западно-Сибирского нефтегазового комплекса. — Введ. 01.09.1987. — М. : ВНИИПКтехоргнефтегазстрой, 1987.
8. ВУПП-88. Ведомственные указания по противопожарному проектированию предприятий, зданий и сооружений нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. — Введ. 01.12.1988. — М. : Миннефтехимпром СССР, 1989.
9. ВУП СНЭ–87. Ведомственные указания по проектированию железнодорожных сливноналивных эстакад легковоспламеняющихся и горючих жидкостей и сжиженных углеводородных газов. — Введ. 01.03.1987. — М. : Миннефтехимпром СССР, 1987.
10. ВСН 12–87. Причалные комплексы для перегрузки нефти и нефтепродуктов. Противопожарная защита. Нормы проектирования. — Введ. 01.06.1987. — М. : Мортехинформреклама, 1988.
11. Цариченко С. Г., Былинкин В. А., Пешков В. В., Шариков А. В., Архипов Е. Е. Рекомендации по тушению полярных жидкостей в резервуарах. — М. : ВНИИПО МЧС России, 2007.
12. Копылов С. Н., Цариченко С. Г., Былинкин В. А., Пешков В. В., Архипов Е. Е., Жидовленков В. В. Порядок применения пенообразователей для тушения пожаров. Рекомендации. — М. : ВНИИПО МЧС России и ГУ УОП МЧС России, 2007.
13. Шебеко Ю. Н., Навценя В. Ю., Костюхин А. К., Васина О. В., Дешевых Ю. И., Гилетич А. Н., Бондарев А. А., Макеев А. А., Панов А. А. Сливоналивные эстакады для легковоспламеняющихся, горючих жидкостей и сжиженных углеводородных газов. Требования пожарной безопасности. Рекомендации. — М. : ВНИИПО МЧС России, 2007.
14. РД 39-138–95. Нормы технологического проектирования резервуарных парков сжиженных углеводородных газов. — Введ. 01.06.1995. — М. : АООТ НИПИГазпереработка, 1995.
15. СП 231.1311500.2015. Обустройство нефтяных и газовых месторождений. Требования пожарной безопасности. — Введ. 01.07.2015. — М. : ВНИИПО МЧС России, 2015.
16. СП 240.1311500.2015. Хранилища сжиженного природного газа. Требования пожарной безопасности. — Введ. 31.08.2015. — М. : МЧС России, 2015.
17. СП 155.13130.2014. Склады нефти и нефтепродуктов. Требования пожарной безопасности. — Введ. 01.01.2014. — М. : МЧС России, 2014.
18. NFPA 59A. Standard for the production, storage and handling of liquefied natural gas (LNG). — Quincy, Massachusetts : NFPA, 2016.
19. Davenport J. A. A study of vapour cloud incidents // 83rd National Meeting of American Institute of Chemical Engineers. — Houston, 1977. — 288 p.
20. Guidelines for chemical process quantitative risk analysis. — 2nd ed. — New York : Wiley-AIChE, 2000. — 748 p. DOI: 10.1002/9780470935422.

Материал поступил в редакцию 20 января 2018 г.

Для цитирования: Красавин А. В., Крепышев С. А., Медяник М. В. Аналитический обзор специальных технических условий для объектов нефтегазовой промышленности // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 2–3. — С. 14–19. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.02-03.14-19.

ANALYTICAL REVIEW OF SPECIAL SPECIFICATIONS FOR OBJECTS OF THE OIL AND GAS INDUSTRY

KRASAVIN A. V., Candidate of Technical Sciences, Head of Management of Industrial, Nuclear, Radiation, Fire Safety, Glavgosexpertiza of Russia (Federal Autonomous Institution "Main Department of State Expertise") (Furkasovskiy Side-St., 6, Moscow, 101000, Russian Federation; e-mail: a.krasavin@gge.ru)

KREPYSHEV S. A., Senior Specialist of Management of Industrial, Nuclear, Radiation, Fire Safety, Glavgosexpertiza of Russia (Federal Autonomous Institution "Main Department of State Expertise") (Furkasovskiy Side-St., 6, Moscow, 101000, Russian Federation; e-mail: s.krepyshev@gge.ru)

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

ABSTRACT

At the moment provisions of the normative documents regulating design of objects of the oil and gas sphere need cardinal updating.

The existing regulatory base of objects of an oil and gas complex is submitted mostly by the departmental normative documents accepted and which are put into operation even at the time of existence of the USSR. In process of development of technologies of fire extinguishing and fire-prevention rationing, already in the twenty first century, a number of recommendations issued by the leading scientific organizations of our country and directed to optimization and increase in fire-prevention protection of objects of an oil and gas complex has been accepted.

At the same time it should be noted especially the fact that the above-stated departmental norms and recommendations, despite their practical importance, cannot be reference documents according to provisions of the Federal Law No. 384 and subordinate acts adopted to it.

Owing to the available perspective of design and passing of state examination of the specified objects, development of the project documentation is preceded almost everywhere by the procedure of development and coordination in accordance with the established procedure of special specifications on design of fire-prevention protection.

The feature of special specifications consists first of all in need of representation of those on a concrete capital construction project that negatively influences terms of design and passing of the state examination.

It is advisable to reflect the approved technical solutions coordinated within special specifications and which have confirmed the efficiency on the realized objects in the corresponding sets of rules (the updated versions of departmental normative documents) that will promote substantially reduction of administrative barriers.

Keywords: special specifications; fire safety; compensating measures; technical solutions; fire protection; objects of an oil and gas complex.

REFERENCES

1. An order of development and coordination of special specifications for development of the project documentation on a capital construction project. Order of Ministry of Construction of Russia on 15.04.2016 No. 248/pr. *Byulleten normativnykh aktov federalnykh organov ispolnitelnoy vlasti / Bulletin of Regulations of Federal Executive Authorities*, 03.10.2016, no. 40 (in Russian).
2. *Technical regulation of buildings and structures safety*. Federal Law on 30.12.2009 No. 384-FZ (ed. on 02.07.2013) (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902192610> (Accessed 10 January 2018).

3. List of national standards and sets of rules (parts of such standards and sets of rules) as a result of which application on an obligatory basis observance of requirements of the Federal law “Technical regulation of buildings and structures safety” is provided. Resolution of the Government of the Russian Federation on 26.12.2014 No. 1521. *Sobraniye zakonodatelstva RF / Collection of Laws of the Russian Federation*, 12.01.2015, no. 2, art. 465 (in Russian).
4. *Technical regulations for fire safety requirements*. Federal Law on 22.07.2008 No. 123 (ed. 29.07.2017) (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (Accessed 15 January 2018).
5. Administrative regulations of Emercom of Russia of providing the state service in coordination of special specifications for objects concerning which there are no requirements of fire safety established by regulations of the Russian Federation and normative documents on fire safety, reflecting specifics of ensuring their fire safety and containing a complex of necessary technical and organizational actions for ensuring their fire safety. Order of Emercom of Russia on 28.11.2011 No. 710 (ed. on 04.10.2017). *Rossiyskaya gazeta / Russian Newspaper*, 20.01.2012, no. 11 (in Russian).
6. 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).
7. Departmental norms of technological design 03/170/567–87. *Fire protection standards for design work involving facilities of the western Siberian oil and gas complex*. Moscow, VNIIPKtekhorgneftegazstroy Publ., 1987 (in Russian).
8. VUPP–88. *Industry-specific guidelines for fire-safe design of petroleum refining and petrochemical industry facilities, buildings and structures*. Moscow, Ministry of Oil Refinery and Petrochemical Industry of USSR Publ., 1989 (in Russian).
9. VUP SNE–87. *Departmental instructions on the design of loading-unloading racks for highly flammable and combustible liquids and liquified petroleum gases*. Moscow, Ministry of Oil Refinery and Petrochemical Industry of USSR Publ., 1987 (in Russian).
10. Departmental Construction Rules 12–87. *Crude oil and oil products handling berth facilities. Fire protection. Design practice*. Moscow, Mortechnikinformreklama, 1988 (in Russian).
11. Tsarichenko S. G., Bylinkin V. A., Peshkov V. V., Sharikov A. V., Arkhipov E. E. *Rekomendatsii po tusheniyu polyarnykh zhidkostey v rezervuarakh* [Guidelines for extinguishing polar liquids in tanks]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2007 (in Russian).
12. Kopylov S. N., Tsarichenko S. G., Bylinkin V. A., Peshkov V. V., Arkhipov E. E., Zhidovlenkov V. V. *Poryadok primeneniya penoobrazovateley dlya tusheniya pozharov. Rekomendatsii* [The order of application of foam to extinguish fires. Recommendations]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2007 (in Russian).
13. Shebeko Yu. N., Navtsenya V. Yu., Kostyukhin A. K., Vasina O. V., Deshevykh Yu. I., Giletich A. N., Bondarev A. A., Makeev A. A., Panov A. A. *Slivonalivnyye estakady dlya legkovosplamenyayushchikhsya, goryuchikh zhidkostey i szhizhennykh uglevodorodnykh gazov. Trebovaniya pozharney bezopasnosti. Rekomendatsii* [Unloading and loading racks for flammable, combustible liquids and liquefied carbon hydrogen gases. Fire safety requirements. Recommendations]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2007 (in Russian).
14. Management Document 39-138–95. *Norms of technological design of liquefied petroleum gas tank farms*. Moscow, NIPigaspererabotka Publ., 2007 (in Russian).
15. Set of rules 231.1311500.2015. *Arrangement oil and gas fields. Fire safety requirements*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2015 (in Russian).
16. Set of rules 240.1311500.2015. *Storages of liquefied natural gas. Fire safety requirements*. Moscow, Emercom of Russia Publ., 2015 (in Russian).
17. Set of rules 155.13130.2014. *Warehouses of oil and oil products. Fire safety requirements*. Moscow, Emercom of Russia Publ., 2014 (in Russian).
18. NFPA 59A. *Standard for the production, storage and handling of liquefied natural gas (LNG)*. Quincy, Massachusetts, NFPA, 2016.
19. Davenport J. A. A study of vapour cloud incidents. In: *83rd National Meeting of American Institute of Chemical Engineers*. Houston, 1977. 288 p.
20. *Guidelines for chemical process quantitative risk analysis*. 2nd ed. New York, Wiley–AIChE, 2000. 748 p. DOI: 10.1002/9780470935422.

For citation: Krasavin A. V., Krepyshv S. A., Medyanik M. V. Analytical review of special specifications for objects of the oil and gas industry. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 2–3, pp. 14–19 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.02-03.14-19.

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

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

М. А. КОЛБАШОВ, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры эксплуатации пожарной техники, средств связи и малой механизации (в составе УНК "Пожаротушение"), Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России (Россия, 153040, г. Иваново, просп. Строителей, 33; e-mail: kolbashow@mail.ru)

Ю. Н. МОИСЕЕВ, начальник кафедры эксплуатации пожарной техники, средств связи и малой механизации (в составе УНК "Пожаротушение"), Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России (Россия, 153040, г. Иваново, просп. Строителей, 33; e-mail: fireman13@mail.ru)

УДК 614.842.4,614.849

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА СВЯЗИ И УПРАВЛЕНИЯ ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНЫМИ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯМИ

Предложена функциональная структура и на ее основе разработана автоматизированная информационная система связи и управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении крупных пожаров. Рассмотрена специфика применения модульной технологии при формировании алгоритмической составляющей структуры информационной системы. Сформирована и апробирована в виде программы для ЭВМ совокупность трех информационно-аналитических модулей информационной системы: модуль документации по организации связи и управления; модуль автоматизированного формирования схем по организации связи; модуль дистанционного мониторинга состояния пожара на объекте защиты. Поставлена и аналитически решена задача ранжирования задач управления в информационной системе; предложены алгоритмы и методика упорядочивания в порядке предпочтительности для практической реализации задач управления в рассматриваемой системе. Сделаны выводы по дальнейшему развитию и совершенствованию информационной системы в части повышения адаптивности к стилям управления должностных лиц при тушении крупных пожаров.

Ключевые слова: информационная система; информационные модули данных; функциональная структура системы управления; алгоритмы ранжирования информационных данных; специфика организации связи и управления; тушение пожаров.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.02-03.20-26

Введение

Информационное сопровождение в значительной степени способствует улучшению процесса управления и взаимодействия пожарно-спасательных подразделений при выполнении оперативно-тактических действий [1–3]. Однако избыточность и противоречивость информации зачастую приводит к снижению оперативности принятия решений. С учетом ряда требований, предъявляемых к информационному обеспечению руководителей оперативных служб, таких как полнота, объективность, оптимальность и достоверность информации при тушении

крупных пожаров, необходимо также обеспечить своевременность получения и оперативность обработки информации. Для выполнения данных требований может быть использована автоматизированная система управления (далее — АСУ) [4].

На современном этапе развития АСУ для их проектирования и практической реализации выбран декомпозиционный подход, позволяющий представить систему в виде совокупности подсистем — модулей. При тушении крупных пожаров, в условиях информационного кризиса, связанного в первую очередь с избыточностью и противоречивостью посту-

пающей информации, система управления может состоять из конечного числа модулей с возможностью структурирования информационных ресурсов, путем ранжирования их по предпочтению управленческих задач.

Специфика управления действиями по тушению крупных пожаров позволяет предположить, что для эффективного функционирования АСУ необходимо и достаточно внедрить в функциональную структуру системы три основных модуля:

- модуль исполнительной документации, отражающий ход реализации действий по тушению пожаров и принятые управленческие решения [4];
- модуль организации взаимодействия, связи и оповещения участников тушения пожара о принятых решениях и специфике их исполнения, а также о соблюдении мер безопасности при реализации оперативно-тактических действий [3];
- модуль дистанционного мониторинга состояния пожара, позволяющий в удобном для восприятия виде представить должностным лицам на пожаре результаты мониторинга основных параметров оперативной обстановки [2].

Таким образом, целью настоящей статьи является совершенствование информационного обеспечения руководителей оперативных служб при тушении крупных пожаров на основе структурирования информации в порядке ее предпочтительности для практической реализации.

Для достижения поставленной цели необходимо решить две взаимоувязанные задачи, а именно: 1) разработка модели ранжирования информационных задач управления в порядке предпочтительности для практической реализации; 2) внедрение модели в виде метода в структуру автоматизированной информационной системы связи и управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении крупных пожаров.

Концептуальная модель АСУ

В основе концептуальной модели АСУ находится модульная структура, схематично изображенная на рис. 1. С учетом требований, предъявляемых к управлению при тушении крупных пожаров, и функционального наполнения системы управления в структуре системы представлен набор, состоящий из трех информационных модулей.

Первый модуль позволяет получить быстрый доступ к базе нормативно-правовой информации федерального и местного уровня. Для удобства работы должностных лиц системы управления на пожаре предусматривается возможность навигации по полным текстам документов, а также оперативный просмотр аннотаций документов и заметок, сделанных должностными лицами ранее.

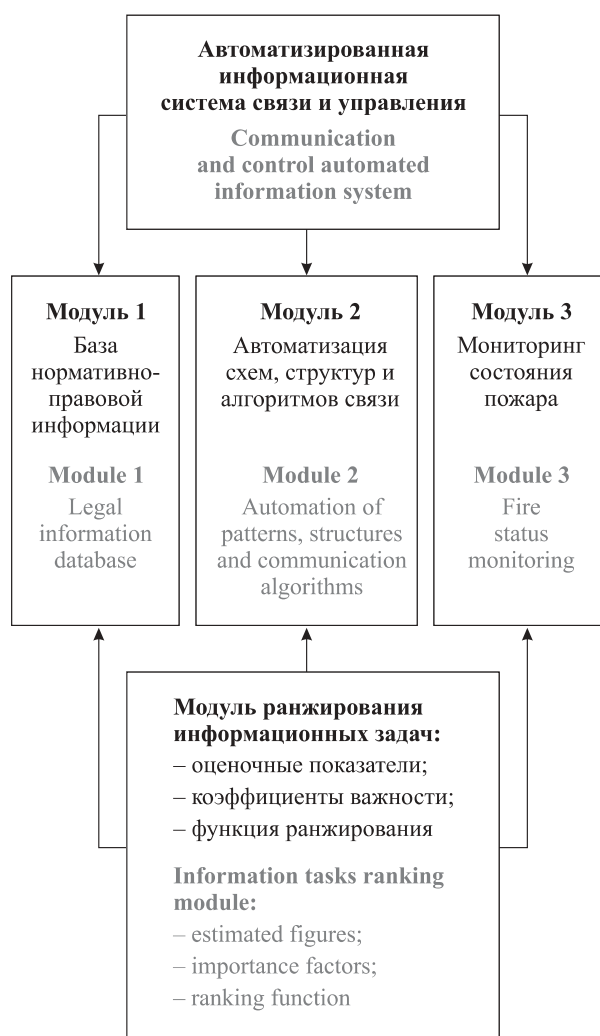


Рис. 1. Структура автоматизированной системы связи и управления при тушении крупных пожаров

Fig. 1. The structure of the automated communication and control system when extinguishing large fires

Второй модуль предназначен для автоматизированного формирования схем, структур и алгоритмов связи, в соответствии с которыми можно наилучшим образом организовать функционирование и взаимодействие сил и средств пожарно-спасательных подразделений. В качестве дополнительного элемента в данном модуле представлены планы и схемы оповещения личного состава при тушении пожаров на пожаровзрывоопасных объектах.

Третий модуль обеспечивает взаимодействие с системами мониторинга состояния пожара. В качестве источников информации при мониторинге выступают информационные компоненты автоматических систем обнаружения пожара, систем оповещения и управления эвакуацией при пожаре, систем визуального контроля и поддержки управления, в том числе систем поддержки принятия решений.

Апробация предложенной структуры автоматизированной системы связи и управления проводи-

лась с использованием программы для ЭВМ [3] в процессе подготовки специалистов для противопожарной службы [5–8]. Результаты апробации показали, что информационно-аналитическая составляющая структуры системы нуждается в совершенствовании в части структурирования информационных ресурсов системы, для чего необходима разработка и внедрение в структуру системы модели ранжирования информационных задач управления.

Разработка модели ранжирования задач управления в АСУ

Подходы к построению структур информационных ресурсов в общей своей совокупности сводятся к парному сравнению задач управления в целях построения доминантной структуры или же к упорядочиванию задач с использованием методов ранжирования на основе представлений об их предпочтительности. Исходя из содержательной постановки задачи структурирования информационных ресурсов в АСУ первый подход к построению структуры информационных ресурсов не удовлетворяет требованиям оперативности принятия решений на пожаре.

В работе [9] выдвинута и доказана гипотеза о том, что в качестве основы для разработки АСУ может выступать количественный подход к описанию проблемных ситуаций, связанных с выбором задач по предпочтению.

Для ранжирования информационных ресурсов предлагается многопараметрическая математическая модель [9, 10], включающая в себя:

- множество вариантов задач управления:

$$x^i \in X, i = 1, 2, \dots, n, n \geq 2;$$

- набор оценочных параметров задач управления:

$$E_s \in E, s = 1, 2, \dots, m, m \geq 2;$$

- множество комплексных оценок задач управления:

$$E(X) = E_1(X) \times E_2(X) \times \dots \times E_m(X),$$

где $E_1(X)$ — область допустимых значений вариантов $x^i \in X$ по параметру E_1 ;

$E(x^i) = (E_1(x^i), E_2(x^i), \dots, E_m(x^i))$ — комплексная оценка варианта x^i ;

$E_s(x^i)$ — оценка варианта x^i по параметру E_s .

Функция для ранжирования задач управления по предпочтению реализуется на основе аддитивной функции [11–14], включающей в себя все оценочные параметры с учетом их важности:

$$F = \sum_{i=1}^m \omega_i \cdot E_i, \quad (1)$$

где ω_i — “вес” i -го параметра E_i ; $\sum_{i=1}^m \omega_i = 1$;

m — общее количество оценочных параметров.

Весовые коэффициенты ω_i для каждой компоненты вычисляются по формулам:

- с номером $i \in I_A$:

$$\omega_i = \frac{1 + \sum_j \theta_{ij}}{a(1+b)}, \quad \forall j \in I_B; \quad (2)$$

- с номером $j \in I_B$:

$$\omega_j = \frac{a - \sum_i \theta_{ij}}{a(1+b)}, \quad \forall i \in I_A, \quad (3)$$

где I_A — множество номеров i оценочных показателей;

I_B — множество номеров j оценочных показателей;

θ_{ij} — нормированная шкала превосходства в важности показателя с номером i над показателем с номером j ;

a — количество оценочных показателей с номерами i ;

b — количество оценочных показателей с номерами j ;

$m = a + b$.

Ранжирование в порядке предпочтительности осуществляется методом, включающим в себя следующие этапы:

1) формирование комплексных оценок задач управления и выявление важности оценочных показателей с использованием нормированной шкалы важности;

2) для каждой задачи управления определение значения функции (1) с учетом того, что для каждого оценочного показателя по формулам (2) и (3) определены коэффициенты важности;

3) выбор задач управления в порядке их предпочтительности для практической реализации по формуле

$$C(X) \subset \arg \max_{x \in X} F(x). \quad (5)$$

Совокупность предложенных этапов реализации метода позволяет с использованием минимального количества вычислительных операций построить структуру информационных ресурсов в автоматизированной системе связи и управления, а также получить результаты, которые хорошо согласуются с результатами использования многопараметрической модели при управлении в чрезвычайных ситуациях [15–20]. Однако стоит отметить, что одним из перспективных направлений совершенствования информационной системы является учет системы предпочтений должностных лиц — пользователей системы. Это служит побудительным мотивом для внедрения в структуру системы как одного из необходимых компонентов базы данных с коэффициента-

ми важности параметров ранжирования задач управления.

Выводы

В работе для решения задачи, состоящей в совершенствовании информационного обеспечения руководителей оперативных служб при тушении крупных пожаров, разработана модель и метод структурирования информационных ресурсов АСУ в порядке предпочтительности для практической реализации.

1. Разработана структура автоматизированной системы управления действиями по тушению круп-

ных пожаров, представляющая собой совокупность трех информационных модулей.

2. Для структурирования информации в АСУ на основе ранжирования задач управления в порядке предпочтительности для практической реализации решения разработана информационно-аналитическая модель и метод.

Комплекс полученных результатов позволяет сократить время на принятие управленческого решения при тушении крупных пожаров и тем самым повысить качество управления оперативными подразделениями пожарной охраны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Теребнев В. В., Семенов А. О., Тараканов Д. В.* Теоретические основы принятия решений при управлении силами и средствами на пожаре // *Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety*. — 2012. — Т. 21, № 10. — С. 14–17.
2. *Баканов М. О., Тараканов Д. В., Анкудинов М. В.* Модель мониторинга для оперативного управления при ликвидации пожаров и чрезвычайных ситуаций // *Мониторинг. Наука и технологии*. — 2017. — № 3(32). — С. 77–80.
3. *Гладков С. В., Колбашов М. А., Волков А. В.* Совершенствование информационного сопровождения руководителей дежурных смен при срабатывании систем автоматического вызова пожарных подразделений // *Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов : материалы IV Всероссийской научно-практической конференции, посвященной Году гражданской обороны*. — Иваново : Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2017. — С. 38–41.
4. *Теребнев В. В., Семенов А. О., Смирнов В. А., Тараканов Д. В.* Анализ и поддержка решений при тушении крупных пожаров // *Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety*. — 2010. — Т. 19, № 9. — С. 51–57.
5. *Малый И. А., Потемкина О. В., Ермилов А. В.* Методы развития профессионально значимых качеств у курсантов вуза МЧС России с применением программного обеспечения // *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение*. — 2016. — № 1(45). — С. 144–149.
6. *Ермилов А. В.* Деловая игра как метод в комплексном формировании личностных качеств курсантов вузов МЧС России // *Alma mater (Вестник высшей школы)*. — 2015. — № 12. — С. 106–109.
7. *Ермилов А. В., Дормидонтов А. В.* Формирование профессионально значимых личностных качеств курсантов вузов МЧС России на основе алгоритма действий руководителя тушения пожара // *Дистанционное и виртуальное обучение*. — 2017. — № 2(116). — С. 102–110.
8. *Ермилов А. В.* Модель формирования профессионально значимых личностных качеств курсантов на занятиях по дисциплине “Пожарная тактика” в учебных и спасательных центрах МЧС России // *Вестник Владимирского государственного университета им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых. Серия: Педагогические и психологические науки*. — 2015. — № 20(39). — С. 60–68.
9. *Топольский Н. Г., Тараканов Д. В.* Алгоритм ранжирования управленческих задач в системе поддержки принятия решений по ликвидации чрезвычайных ситуаций // *Технологии техносферной безопасности*. — 2014. — № 2(54). — 7 с.
10. *Семенов А. О., Лабутин А. Н., Тараканов Д. В.* Методика определения показателей предпочтительности вариантов действий по ликвидации чрезвычайных ситуаций на потенциально опасных объектах // *Вестник Ивановского государственного энергетического университета*. — 2012. — № 3. — С. 51–54.
11. *Shikhalev D., Khabibulin R., Wagoum A. U. K.* Development of a safest routing algorithm for evacuation simulation in case of fire // *Proceedings of the 6th International Conference on Agents and Artificial Intelligence*. — 2014. — P. 685–690. DOI: 10.5220/0004919706850690.
12. *Shikhalev D., Khabibulin R., Kemloh U., Gudin S.* Evacuation simulation under different conditions using a safest path routing algorithm // *Proceedings of the 18th International Conference on Enterprise Information Systems*. — 2016. — P. 62–69. DOI: 10.5220/0005834800620069.

13. *Gudin S., Khabibulin R., Shikhalev D.* Searching the optimal combination of fire risks reducing measures at oil and gas processing facilities with the use of genetic algorithm // *Proceedings of 9th International Conference on Agents and Artificial Intelligence.* — 2017. — P. 489–496. DOI: 10.5220/0006188904890496.
14. *Shikhalev D., Khabibulin R., Kemloh U., Gudin S.* Development of escape route system for emergency evacuation management based on computer simulation // *Enterprise Information Systems. ICEIS 2016. Lecture Notes in Business Information Processing / Hammoudi S., Maciaszek L., Missikoff M., Camp O., Cordeiro J. (eds.).* — 2017. — Vol. 291. — P. 122–139. DOI: 10.1007/978-3-319-62386-3_6.
15. *Tiejun Cheng, Fengping Wu, Yanping Chen.* A group decision making methodology for emergency decision // *International Journal of Computer Science Issues (IJCSI).* — January 2013. — Vol. 10. — Issue 1, No. 3. — P. 151–157.
16. *Minkin D. Yu., Sineshchuk Yu. I., Terekhin S. N., Yusherov K. S.* A method of constructing a structured database of the typical objects of protection on the basis of cluster analysis // *Journal of Theoretical and Applied Information Technology.* — 2017. — Vol. 95, No. 20. — P. 5331–5339.
17. *Markus Scholz, Dawud Gordon, Leonardo Ramirez, Stephan Sigg, Tobias Dyrks, Michael Beigl.* A concept for support of firefighter frontline communication // *Future Internet.* — 2013. — Vol. 5, Issue 4. — P. 113–127. DOI: 10.3390/fi5020113.
18. *Xing Zhi-xiang, Gao Wen-li, Zhao Xiao-fang, Zhu De-zhi.* Design and implementation of city fire rescue decision support system // *Procedia Engineering.* — 2013. — Vol. 52. — P. 483–488. DOI: 10.1016/j.proeng.2013.02.172.
19. *Sung Ye Kim, Ross Maciejewski, Karl Ostmo, Edward J. Delp, Timothy F. Collins, David S. Ebert.* Mobile analytics for emergency response and training // *Information Visualization.* — 2008. — Vol. 7, Issue 1. — P. 77–88. DOI: 10.1057/palgrave.ivs.9500168.
20. *Lauras M., Benaben F., Truptil S., Charles A.* Event-cloud platform to support decision-making in emergency management // *Information Systems Frontiers.* — 2015. — Vol. 17, Issue 4. — P. 857–869. DOI: 10.1007/s10796-013-9475-0.

Материал поступил в редакцию 7 февраля 2018 г.

Для цитирования: *Тараканов Д. В., Баканов М. О., Колбашов М. А., Моисеев Ю. Н.* Автоматизированная информационная система связи и управления пожарно-спасательными подразделениями // *Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety.* — 2018. — Т. 27, № 2–3. — С. 20–26. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.02-03.20-26.

English

FIRE AND RESCUE TEAM COMMUNICATION AND CONTROL AUTOMATED INFORMATION SYSTEM

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

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

KOLBASHOV M. A., Candidate of Technical Sciences, Docent, Associate Professor of Department of Fire Equipment Operation, Communications and Small-Scale Mechanization, Ivanovo Fire and Rescue Academy of State Firefighting Service of Emercom of Russia (Stroiteley Avenue, 33, Ivanovo, 153040, Russian Federation; e-mail: kolbashov@mail.ru)

MOISEEV Yu. N., Head of Department of Fire Equipment Operation, Communications and Small-Scale Mechanization, Ivanovo Fire and Rescue Academy of State Firefighting Service of Emercom of Russia (Stroiteley Avenue, 33, Ivanovo, 153040, Russian Federation; e-mail: fireman13@mail.ru)

ABSTRACT

The work is devoted to the topical issues of improving the information support for leaders of operational services when extinguishing large fires. The models are considered dealing with ranking of information control tasks for the practical implementation, taking into account the characteristics of their introduction in the structure of the fire and rescue team communication and control automated information system when extinguishing large fires.

The automated system modular structure is proposed, which represents the aggregate of information modules allowing to receive real time access to the legal information control database, to form the communication structure and algorithms, as well as to interact with the fire monitoring instruments.

The testing of the proposed structure showed that its information-analytical component needs to be improved through the introduction of the information control tasks ranking. Such a control tasks ranking model has been developed and a method has been proposed that implements it in the form of consistent implementation of the following stages:

- the formation of integrated assessments of control tasks and identification of the importance of estimated figures using the normalized importance scale;
- development of a linear combination of estimated figures, taking into account the additional information about their importance for each control task;
- the distribution of control tasks in the order of their practical implementation.

The prospective directions of further improvement of the control tasks ranking model in the structure of the information system have been determined. The introduction of the database in the structure of the system with additional information relating to the importance of estimated figures of control tasks ranking.

The results of the improvement of information support of officials when extinguishing large fires will increase the efficiency and quality of the forces and facilities of fire and rescue teams.

Keywords: information system; data modules; management system functional structure; data ranking algorithms; particular characteristics of the communication and control; fire extinguishing.

REFERENCES

1. Terebnev V. V., Semenov A. O., Tarakanov D. V. Decision making theoretical basis of management on fire. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 10, pp. 14–17 (in Russian).
2. Bakanov M. O., Tarakanov D. V., Ankudinov M. V. The model of monitoring for operational management at the liquidation of emergency situations. *Monitoring. Nauka i tekhnologii / Monitoring. Science and Technology*, 2017, no. 3(32), pp. 77–80 (in Russian).
3. Gladkov S. V., Kolbashov M. A., Volkov A. V. Improvement of information support of the managers on duty when triggered, the system will automatically call fire departments. In: *Aktualnyye voprosy sovershenstvovaniya inzhenernykh sistem obespecheniya pozharnoy bezopasnosti obyektov* [Actual issues of improvement of engineering security systems of fire safety objects]. Collection of Materials of the IV All-Russian Scientific and Practical Conference. Ivanovo, Ivanovo Fire and Rescue Academy of State Fire Service of Emercom of Russia Publ., 2017, pp. 38–41 (in Russian).
4. Terebnev V. V., Semenov A. O., Smirnov V. A., Tarakanov D. V. Analysis and support solutions that arise when putting out large fires. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2010, vol. 19, no. 9, pp. 51–57 (in Russian).
5. Malyi I. A., Potemkina O. V., Ermilov A. V. Development methods of professionally significant qualities of cadets of the university of Emercom of Russia with application software. *Sovremennyye naukoymkiye tekhnologii. Regionalnoye prilozheniye / Modern High Technologies. Regional Application*, 2016, no. 1(45), pp. 144–149 (in Russian).
6. Ermilov A. V. Business game as method in complex formation of personal qualities of military students of high school of Emercom of Russia. *Alma mater (Vestnik vysshey shkoly) / Alma Mater (High School Herald)*, 2015, no. 12, pp. 106–109 (in Russian).
7. Yermilov A. V., Dormidontov A. V. Formation of professionally significant personal qualities of students of universities of the Ministry of Emergency Measures of Russia based on the algorithm of actions of the head of the fire fighting. *Distsionnoye i virtualnoye obucheniye / Distance and Virtual Learning*, 2017, no. 2(116), pp. 102–110 (in Russian).

8. Ermilov A. V. The model of professionally significant personal qualities of cadets formation at the training lessons of "Fire tactics" discipline in training and rescue centers of Emercom of Russia. *Vestnik Vladimirovskogo gosudarstvennogo universiteta im. Aleksandra Grigoryevicha i Nikolaya Grigoryevicha Stoletovskh. Seriya: Pedagogicheskiye i psikhologicheskiye nauki / Vestnik of Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs*, 2015, no. 20(39), pp. 60–68 (in Russian).
9. Topolsky N. G., Tarakanov D. V. Algorithm ranking of management tasks in a decision support system at liquidation of emergency situations. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti / Technology of Technosphere Safety*, 2014, no. 2(54). 7 p. (in Russian).
10. Semenov A. O., Labutin A. N., Tarakanov D. V. Calculation method of preference parameters of action versions for disaster response on potentially dangerous objects. *Vestnik Ivanovskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta / Vestnik of Ivanovo State Power Engineering University*, 2012, no. 3, pp. 51–54 (in Russian).
11. Shikhalev D., Khabibulin R., Wagoum A. U. K. Development of a safest routing algorithm for evacuation simulation in case of fire. In: *Proceedings of the 6th International Conference on Agents and Artificial Intelligence*, 2014, pp. 685–690. DOI: 10.5220/0004919706850690.
12. Shikhalev D., Khabibulin R., Kemloh U., Gudín S. Evacuation simulation under different conditions using a safest path routing algorithm. In: *Proceedings of the 18th International Conference on Enterprise Information Systems*, 2016, pp. 62–69. DOI: 10.5220/0005834800620069.
13. Gudín S., Khabibulin R., Shikhalev D. Searching the optimal combination of fire risks reducing measures at oil and gas processing facilities with the use of genetic algorithm. In: *Proceedings of 9th International Conference on Agents and Artificial Intelligence*, 2017, pp. 489–496. DOI: 10.5220/0006188904890496.
14. Shikhalev D., Khabibulin R., Kemloh U., Gudín S. Development of escape route system for emergency evacuation management based on computer simulation. In: Hammoudi S., Maciaszek L., Missikoff M., Camp O., Cordeiro J. (eds.). *Enterprise Information Systems. ICEIS 2016. Lecture Notes in Business Information Processing*, 2017, vol. 291, pp. 122–139. DOI: 10.1007/978-3-319-62386-3_6.
15. Tiejun Cheng, Fengping Wu, Yanping Chen. A group decision making methodology for emergency decision. *International Journal of Computer Science Issues (IJCSI)*, January 2013, vol. 10, issue 1, no. 3, pp. 151–157.
16. Minkin D. Yu., Sineshchuk Yu. I., Terekhin S. N., Yusherov K. S. A method of constructing a structured database of the typical objects of protection on the basis of cluster analysis. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 2017, vol. 95, no. 20, pp. 5331–5339.
17. Markus Scholz, Dawud Gordon, Leonardo Ramirez, Stephan Sigg, Tobias Dyrks, Michael Beigl. A concept for support of firefighter frontline communication. *Future Internet*, 2013, vol. 5, issue 4, pp. 113–127. DOI: 10.3390/fi5020113.
18. Xing Zhi-xiang, Gao Wen-li, Zhao Xiao-fang, Zhu De-zhi. Design and implementation of city fire rescue decision support system. *Procedia Engineering*, 2013, vol. 52, pp. 483–488. DOI: 10.1016/j.proeng.2013.02.172.
19. Sung Ye Kim, Ross Maciejewski, Karl Ostmo, Edward J. Delp, Timothy F. Collins, David S. Ebert. Mobile analytics for emergency response and training. *Information Visualization*, 2008, vol. 7, issue 1, pp. 77–88. DOI: 10.1057/palgrave.ivs.9500168.
20. Lauras M., Benaben F., Truptil S., Charles A. Event-cloud platform to support decision-making in emergency management. *Information Systems Frontiers*, 2015, vol. 17, issue 4, pp. 857–869. DOI: 10.1007/s10796-013-9475-0.

For citation: Tarakanov D. V., Bakanov M. O., Kolbashov M. A., Moiseev Yu. N. Fire and rescue team communication and control automated information system. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 2–3, pp. 20–26 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.02-03.20-26.

М. А. ГРОХОТОВ, адъюнкт факультета подготовки научно-педагогических кадров, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: migrokhotov@yandex.ru)

И. Р. БЕГИШЕВ, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры процессов горения, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4)

А. А. КОМАРОВ, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры гидравлики и водных ресурсов, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: ICA_kbs@mgsu.ru)

А. К. БЕЛИКОВ, канд. техн. наук, доцент кафедры процессов горения, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4)

УДК 614.841.41

КИНЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД ПРИ РАСЧЕТЕ ПАРАМЕТРОВ ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТИ ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ МЕТАНА С ХЛОРОМ

Представлен метод расчета показателей пожаровзрывоопасности газовых смесей, базирующийся на уравнении теплопроводности и учитывающий кинетику и механизм химического взаимодействия. Показано, что данный метод, апробированный на газовых смесях метана и его хлорпроизводных с хлором, позволяет определять для них сразу несколько показателей пожаровзрывоопасности. Для смесей хлора с метаном, хлорметаном и дихлорметаном определены концентрационные пределы фотовоспламенения и критические интенсивности УФ-излучения. Рассчитаны температура самовоспламенения смеси метана с хлором и минимальная флегматизирующая концентрация четыреххлористого углерода в смеси хлорметана и хлора. Показано, что расчетные значения параметров в основном хорошо согласуются с экспериментальными.

Ключевые слова: модель фотовоспламенения; хлорирование углеводородов; пожарная безопасность; пожаровзрывоопасность метана; пожаровзрывоопасность хлорметана; пожаровзрывоопасность дихлорметана.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.02-03.27-36

Введение

Мероприятия по обеспечению пожарной безопасности промышленного объекта, на котором обращаются горючие вещества, базируются на расчетах, в которых используются показатели пожарной опасности (ППО), такие как концентрационные пределы распространения пламени, температура самовоспламенения, минимальная энергия зажигания, скорость распространения пламени, минимальная флегматизирующая концентрация негорючего газа или ингибитора и др. Для многих горючих веществ они экспериментально установлены и приведены в справочной литературе [1]. Большой массив экспериментальных данных позволил разработать расчетные методы определения ППО по эмпирическим формулам, учитывающим элементный состав горючего и в некоторых случаях структуру его молекулы [2–12]. Эти формулы дают возможность определять с различной степенью точности численные значения ППО для горючих веществ, для которых они неизвестны. Как правило, большая сходимость результатов расчета и эксперимента наблюдается в пределах гомо-

логического ряда. Дальнейшее развитие расчетных методов, по-видимому, должно учитывать данные по кинетике и механизму химического взаимодействия горючего с окислителем, что, по сути, и определяет способность вещества к воспламенению и горению.

Цель настоящей работы — показать возможность расчета показателей пожаровзрывоопасности горючих газовых смесей с помощью модели теплового воспламенения, базирующейся на уравнении теплопроводности и кинетике радикально-цепного химического взаимодействия.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи:

- разработать математическую модель, описывающую изменение температуры в системе при протекании в ней газофазной радикально-цепной реакции, для определения параметров пожаровзрывоопасности горючей газовой смеси;
- сравнить результаты расчетов показателей пожаровзрывоопасности, выполненных с помощью математической модели, с их значениями, полученными экспериментально.

Метод исследования

Возможность увязать показатели пожарной опасности с химической кинетикой процесса продемонстрируем на примере смесей хлора с метаном и с его хлорпроизводными (хлорметаном и дихлорметаном). Такие взрывоопасные смеси могут образовываться при термическом или фотохимическом хлорировании метана, хлорметана или дихлорметана в химическом реакторе. Для смесей, содержащих в качестве окислителя хлор, расчетные методы определения параметров пожаровзрывоопасности не разработаны. Реакция хлорирования, так же как и реакция окисления, является радикально-цепной, однако цепи в ней либо не разветвлены, либо разветвлены очень слабо. Начальными активными центрами реакции в таких смесях являются атомы хлора, образующиеся в результате диссоциации молекул хлора, в которых химическая связь слабее, чем связи в метане и в его хлорпроизводных. Диссоциация молекулы хлора может происходить при нагреве и в результате действия УФ-излучения. При невысоких температурах ($T < 300\text{ }^{\circ}\text{C}$) скорость термического инициирования слишком низка и воспламенение смеси может происходить только благодаря действию УФ-излучения. Так, при действии УФ-излучения, комнатной температуре и атмосферном давлении происходит воспламенение смесей хлора с метаном, хлорметаном и дихлорметаном. В работах [13–16] были установлены критические параметры фотовоспламенения: критическая интенсивность УФ-излучения, концентрационные пределы фотовоспламенения, а также минимальная флегматизирующая концентрация хлороформа и четыреххлористого углерода в смеси хлорметана и хлора. Эксперименты проводили в стальном цилиндрическом реакционном сосуде. Смесь через кварцевое стекло, установленное в торце сосуда, облучали УФ-светом. О воспламенении смеси судили по зависимости температуры реакционной смеси, регистрируемой микротермопарами, от времени.

Теоретически условия, при которых происходит воспламенение, можно установить с помощью модели фототеплового воспламенения, базирующейся на уравнении теплопроводности с источником тепла в виде экзотермической реакции:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{c\rho} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} \right) + \frac{q(1-\eta)}{c\rho}, \quad (1)$$

где T — термодинамическая температура;

τ — время;

λ, c, ρ — коэффициент теплопроводности, молярная теплоемкость и плотность реакционной смеси;

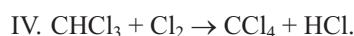
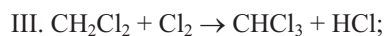
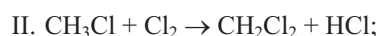
x, r — координаты точки в цилиндрическом реакционном сосуде;

q — скорость тепловыделения;

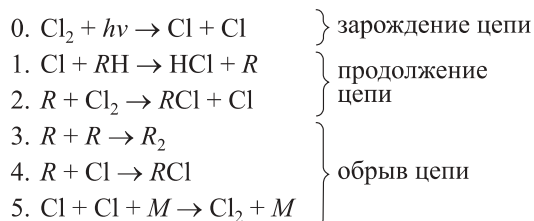
η — коэффициент теплопотерь.

При известной скорости тепловыделения уравнение (1) позволяет находить изменение температуры реагирующей смеси во времени в любой точке реакционного сосуда и по этой зависимости судить, при каких условиях смесь будет воспламеняться.

Реакция хлорирования метана протекает в четыре (I–IV) последовательные стадии замещения атомов водорода на хлор, каждая из которых протекает с участием атомов и радикалов и образованием продуктов: хлорметана (CH_3Cl), дихлорметана (CH_2Cl_2), хлороформа (CHCl_3), тетрахлорметана (CCl_4) и хлористого водорода (HCl):



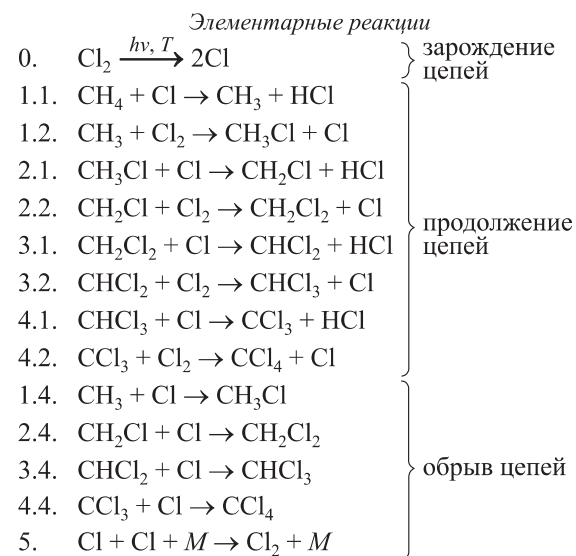
Механизм каждой из стадий можно представить в общем виде с элементарными реакциями продолжения и обрыва цепей:



где R — метильный или хлорметильный радикал;

M — третья частица (любая).

Обрыв цепей в таких системах преимущественно перекрестный, так как в широком диапазоне изменения концентраций реагирующих веществ скорость реакции 4 выше, чем реакций 3 и 5. Поэтому для упрощения расчетов исключим из рассмотрения квадратичные обрывы цепей при рекомбинации метильных и хлорметильных радикалов (реакция 3). Тогда общая схема механизма химической реакции будет выглядеть следующим образом:



Анализируя вышеприведенный механизм и используя принцип квазистационарности концентраций активных частиц, а также равенство скоростей реакций продолжения цепи на каждой стадии, получим уравнение для концентрации атомов хлора:

$$[Cl] = \left\{ W_i [Cl_2] \left(\frac{k_{11} k_{14}}{k_{12}} [CH_4] + \frac{k_{21} k_{24}}{k_{22}} [CH_3 Cl] + \frac{k_{31} k_{34}}{k_{32}} [CH_2 Cl_2] \frac{k_{41} k_{44}}{k_{42}} [CHCl_3] + k_5 [M] \right)^{-1} \right\}^{0,5} \quad (2)$$

где W_i — скорость инициирования (скорость образования атомов хлора), моль/(м³·с);
[...] — концентрация вещества, моль/м³;
 k_i — константа скорости протекания соответствующей стадии, м³/(моль·с).

Тогда уравнение скорости протекания каждой последовательной стадии хлорирования будет иметь вид:

$$W_I = \frac{d[CH_3 Cl]}{d\tau} = k_{11} [CH_4] [Cl]; \quad (3)$$

$$W_{II} = \frac{d[CH_2 Cl_2]}{d\tau} = k_{21} [CH_3 Cl] [Cl]; \quad (4)$$

$$W_{III} = \frac{d[CHCl_3]}{d\tau} = k_{31} [CH_2 Cl_2] [Cl]; \quad (5)$$

$$W_{IV} = \frac{d[CCl_4]}{d\tau} = k_{41} [CHCl_3] [Cl], \quad (6)$$

а общая скорость тепловыделения q будет определяться как

$$q = W_I Q_I + W_{II} Q_{II} + W_{III} Q_{III} + W_{IV} Q_{IV}, \quad (7)$$

где $Q_I, Q_{II}, Q_{III}, Q_{IV}$ — тепловые эффекты стадий, рассчитанные по закону Гесса.

Скорость инициирования химической реакции в рассматриваемом случае имеет две составляющие — фотохимическую W_i^{Φ} и термическую W_i^T :

$$W_i = W_i^{\Phi} + W_i^T.$$

Фотохимическая диссоциация происходит при поглощении молекулой хлора кванта электромагнитного излучения, при этом ее скорость уменьшается по мере прохождения излучением реакционной среды в результате его поглощения молекулярным хлором и рассеяния светового потока:

$$W_i^{\Phi} = 2\varepsilon [Cl_2] I_0 K_{oc} \exp(-\varepsilon [Cl_2] x), \quad (8)$$

где ε — коэффициент поглощения излучения хлором, м²/моль;

I_0 — интенсивность излучения на входе в реакционную смесь; экспериментально получено $I_0 = 3,26 \cdot 10^{-3}$ моль/(м²·с);

K_{oc} — ослабление светового потока за счет рассеяния; экспериментально установлено в непоглощающей среде $K_{oc} = I_0 \exp(-10,59x)$;

x — расстояние, пройденное излучением в реакционном сосуде, м; изменяется от 0 до L .

Термическая диссоциация молекул хлора происходит при столкновении их с любой молекулой, имеющей избыток энергии, при этом ее скорость экспоненциально возрастает с повышением температуры:

$$W_i^T = 2k_T \exp\left(-\frac{E_m}{RT}\right) [M] [Cl_2], \quad (9)$$

где k_T — константа скорости термической диссоциации, моль/(м³·с);

E_T — энергия активации, Дж/моль;

R — универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К);

$[M]$ — общая концентрация молекул в смеси, моль/м³.

В общем случае скорость инициирования будет определяться как

$$W_i = 2\varepsilon [Cl_2] I_0 K_{oc} \exp(-\varepsilon [Cl_2] x) + 2k_T \exp\left(-\frac{E_T}{RT}\right) [M] [Cl_2]. \quad (10)$$

Анализ фотохимической и термической составляющих скорости инициирования позволяет заключить, что при $I_0 = 3,26 \cdot 10^{-3}$ моль/(м²·с) и температуре смеси менее 500 °С $W_i^T \ll W_i^{\Phi}$ и реакция будет протекать как фотохимическая с постоянной скоростью инициирования $W_i = W_i^{\Phi}$, а взрыв в системе будет развиваться как чисто тепловой, вызванный разбалансированием скорости тепловыделения и теплоотвода. При повышении температуры смеси до 900 К и дальнейшем ее росте скорость инициирования будет определяться в основном уже термической диссоциацией, которая экспоненциально увеличивается с повышением температуры. С этого момента в реакционной смеси будет происходить прогрессирующий рост числа активных частиц, и развивающийся в системе взрыв станет цепно-тепловым.

При решении уравнения теплопроводности значения коэффициента теплопроводности и теплоемкости рассчитывали для исходного состава смеси, а в ходе химического превращения учитывали их изменение только в зависимости от температуры.

Коэффициент теплопотерь η в соответствии с законом Стефана–Больцмана принимали пропорциональным T^4 и находили его значение, основываясь на величине температуры горения и доле теплопотерь, приведенных в работе А. И. Розловского [17]. Оно составило $\eta = 1,9 \cdot 10^{-14} T^4$.

Локальное изменение плотности смеси при ее разогреве в замкнутом объеме учитывали введением множителя T_v/T_i для концентрации каждого компонента реагирующей смеси. Здесь T_v — средне-объемная температура смеси в сосуде; T_i — темпе-

ратура в рассматриваемой точке. Температуру стенок сосуда принимали постоянной, равной T_0 .

Решение дифференциального уравнения теплопроводности проводили численным методом с использованием конечных разностей с равномерной сеткой и явной конечно-разностной схемы. Шаг интегрирования по временной координате выбирали из условия устойчивости [18]:

$$\Delta\tau < \frac{\rho c \Delta h^2}{2\lambda}, \quad (11)$$

где Δh — шаг по координате.

На каждом временном шаге, имея в качестве исходных данных концентрацию хлора и температуру в каждой рассматриваемой точке, по уравнению (10) устанавливали значение скорости инициирования. Потом из уравнения (2) определяли концентрацию атомов хлора в каждой точке $[Cl]_{i,j}$ и, подставляя их значения в уравнения (3)–(6), определяли скорость протекания каждой последовательной стадии хлорирования. Приращение концентрации образовавшихся веществ за время $\Delta\tau$ ($\Delta[CH_3Cl]_{i,j}$, $\Delta[CH_2Cl_2]_{i,j}$, $\Delta[CHCl_3]_{i,j}$, $\Delta[CCl_4]_{i,j}$), и концентрации компонентов реакционной смеси для следующего шага рассчитывали так:

$$[CH_4]_{i,j} = [CH_4]_{i,j} - \Delta[CH_3Cl]_{i,j};$$

$$[CH_3Cl]_{i,j} = [CHCl_3]_{i,j} + \Delta[CH_3Cl]_{i,j} - \Delta[CH_2Cl_2]_{i,j};$$

$$[CH_2Cl_2]_{i,j} = [CH_2Cl_2]_{i,j} + \Delta[CH_2Cl_2]_{i,j} - \Delta[CH_3Cl]_{i,j};$$

$$[CHCl_3]_{i,j} = [CHCl_3]_{i,j} + \Delta[CHCl_3]_{i,j} - \Delta[CH_2Cl_2]_{i,j};$$

$$[CCl_4]_{i,j} = [CCl_4]_{i,j} + \Delta[CCl_4]_{i,j};$$

$$[Cl_2]_{i,j} = [Cl_2]_{i,j} - \Delta[CH_3Cl]_{i,j} - \Delta[CH_2Cl_2]_{i,j} - \Delta[CHCl_3]_{i,j} - \Delta[CCl_4]_{i,j}.$$

Скорость тепловыделения рассчитывали по уравнению (7), в котором

$$W_I = \Delta[CH_3Cl]_{i,j}/\Delta\tau; \quad W_{II} = \Delta[CH_2Cl_2]_{i,j}/\Delta\tau;$$

$$W_{III} = \Delta[CHCl_3]_{i,j}/\Delta\tau; \quad W_{IV} = \Delta[CCl_4]_{i,j}/\Delta\tau.$$

Решая уравнения теплопроводности, получали температурные поля в реакционном сосуде на различные моменты времени. При решении задачи использовали систему MATLAB и программу для компьютерного счета [19].

Результаты

На рис. 1 приведены температурные поля, показывающие процесс развития воспламенения смеси в цилиндрическом сосуде радиусом $1,8 \cdot 10^{-2}$ м и длиной $4,0 \cdot 10^{-2}$ м.

При действии УФ-света смесь начинает разогреваться вблизи кварцевого стекла (см. рис. 1, а), а затем при достижении определенной температуры про-

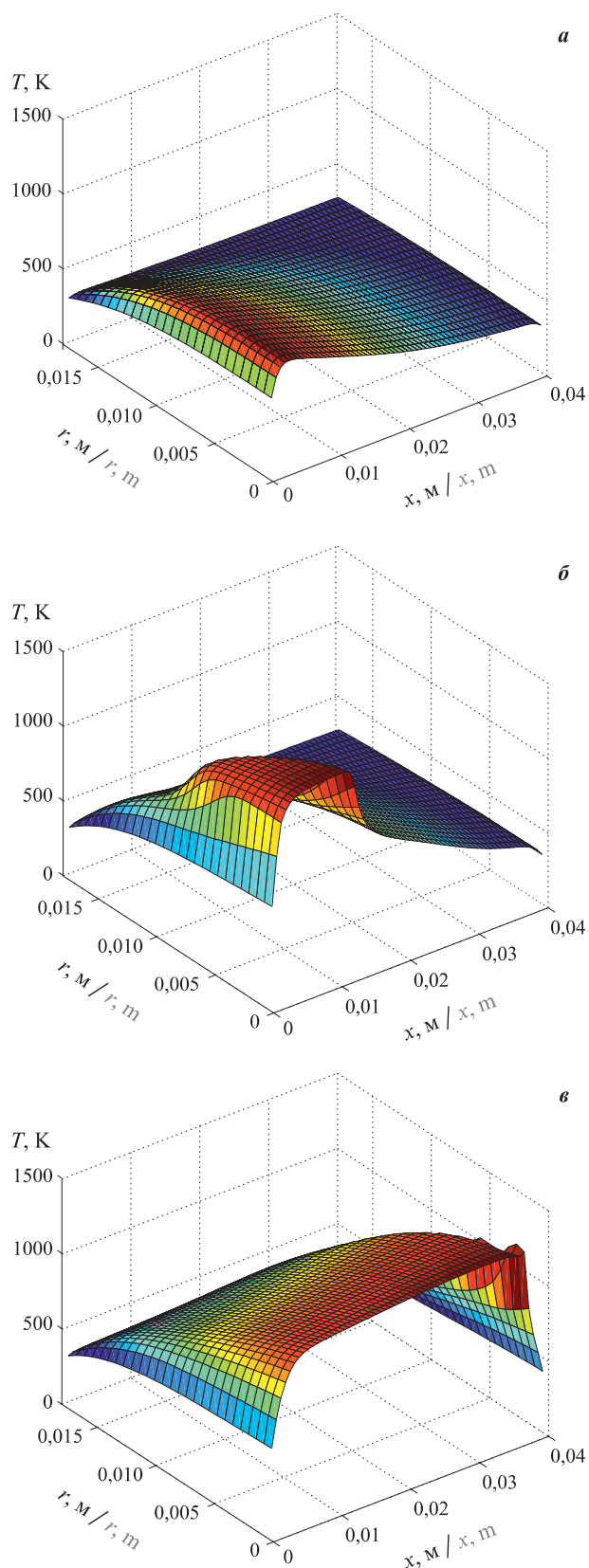


Рис. 1. Температурное поле в смеси $0,35CH_4 + 0,65Cl_2$ на различные моменты времени от начала облучения УФ-светом максимальной интенсивности: а — 0,209 с; б — 0,293 с; в — 0,460 с

Fig. 1. Temperature profile in mix $0.35CH_4 + 0.65Cl_2$ on various instants from the beginning of radiation by UF-light of the maximal intensity: а — 0.209 s; б — 0.293 s; в — 0.460 s

исходит ее воспламенение (см. рис. 1,б) и последующее распространение пламени в глубь сосуда (см. рис. 1,в).

На рис. 2 представлены кривые, показывающие изменение температуры смеси метана и хлора в центре реакционного сосуда в зависимости от времени. Как видно из графиков, снижение интенсивности облучения приводит к уменьшению скорости тепловыделения и температуры максимального разогрева. При интенсивности $I = 0,1I_0$ (кривая 4) максимальный разогрев $T_{\max} < T_{\text{кр}}$ (где $T_{\text{кр}}$ — температура, при которой смесь не воспламеняется), поэтому смесь не воспламеняется.

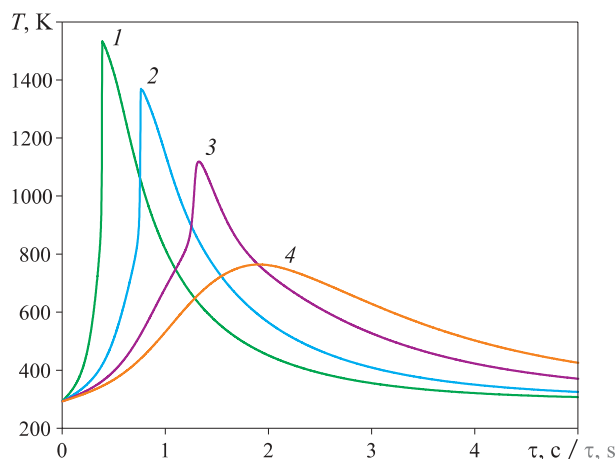


Рис. 2. Изменение температуры в смеси $0,2\text{CH}_4 + 0,8\text{Cl}_2$ при интенсивности УФ-излучения, равной: 1 — I_0 ; 2 — $0,3I_0$; 3 — $0,15I_0$; 4 — $0,1I_0$

Fig. 2. Change of temperature in mix $0,2\text{CH}_4 + 0,8\text{Cl}_2$ at the intensity of UV-radiation equal: 1 — I_0 ; 2 — $0,3I_0$; 3 — $0,15I_0$; 4 — $0,1I_0$

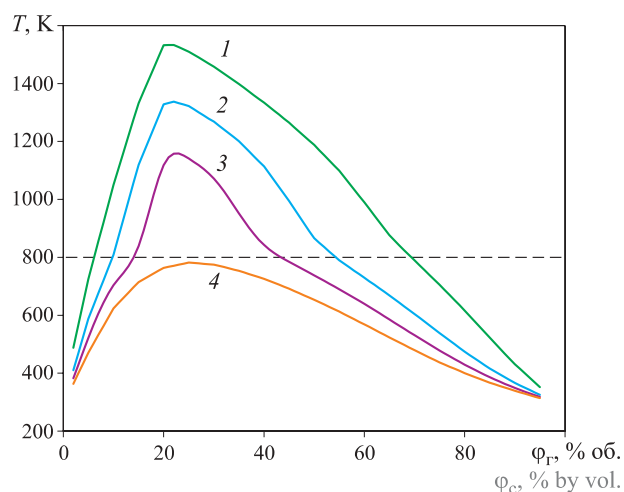


Рис. 3. Зависимости максимальной температуры разогрева смеси от начального содержания метана ϕ_r при различной интенсивности УФ-излучения, равной: 1 — I_0 ; 2 — $0,25I_0$; 3 — $0,15I_0$; 4 — $0,1I_0$

Fig. 3. Dependences of the maximum temperature of a warming up of mix on the initial content of methane ϕ_r at various intensity of UV-radiation equal: 1 — I_0 ; 2 — $0,25I_0$; 3 — $0,15I_0$; 4 — $0,1I_0$

На рис. 3 приведены зависимости максимальной температуры разогрева смеси $\text{CH}_4 + \text{Cl}_2$ от концентрации горючего при действии УФ-излучения различной интенсивности.

Максимальная расчетная температура разогрева смеси составила 1532 К, что согласуется с экспериментально наблюдаемыми значениями. Как следует из рис. 3, критичность выражена слабо на концентрационных пределах и заметно начинает проявляться при уменьшении интенсивности УФ-излучения (кривая 3). Низкую критичность на пределах фотовоспламенения наблюдали и при экспериментальном исследовании. Поэтому для определения расчетной концентрационной области фотовоспламенения за критерий воспламенения, так же как и при обработке экспериментальных результатов, принимали предельную температуру горения подобных смесей, равную 800 К (пунктирная линия), и по ней определяли концентрационные пределы. Аналогичные расчетные зависимости были получены и для смесей хлора с хлорметаном и дихлорметаном.

Наличие термической составляющей в уравнении для скорости инициирования позволяет рассчитывать температуру самовоспламенения смеси. В отсутствие фотоиницирования $W_i = W_i^T$, поэтому зарождение цепей обусловлено лишь термической диссоциацией. Меняя температуру стенок сосуда, т. е. моделируя метод впуска, находили ее значение, при котором происходит самовоспламенение смеси. На рис. 4 представлены температурные поля, показывающие процесс развития самовоспламенения смеси $0,2\text{CH}_4 + 0,8\text{Cl}_2$ при температуре стенок реакционного сосуда 613 К. Как видно из рис. 4, разогрев смеси начинается у стенок, а последующее воспламенение происходит в центре реакционного сосуда.

На рис. 5 приведены расчетные зависимости температуры от времени в стехиометрической смеси метана с хлором в центре реакционного сосуда при температуре стенок 612 и 613 К. На графиках критичность процесса теплового самовоспламенения при изменении температуры ярко выражена. Повышение температуры стенок всего на 1 К приводит к смене режима процесса со стационарного на взрывной.

В таблицу сведены результаты выполненных расчетов. Сравнивая расчетные и экспериментальные значения параметров, можно прийти к выводу, что они в основном согласуются: лучше — по концентрационным пределам и температуре самовоспламенения, хуже — по критической интенсивности УФ-излучения. Последнее, возможно, связано с погрешностью при определении значения I_0 .

Помимо уже перечисленных критических параметров воспламенения, расчетом находили зависимость концентрационных пределов фотовоспламе-

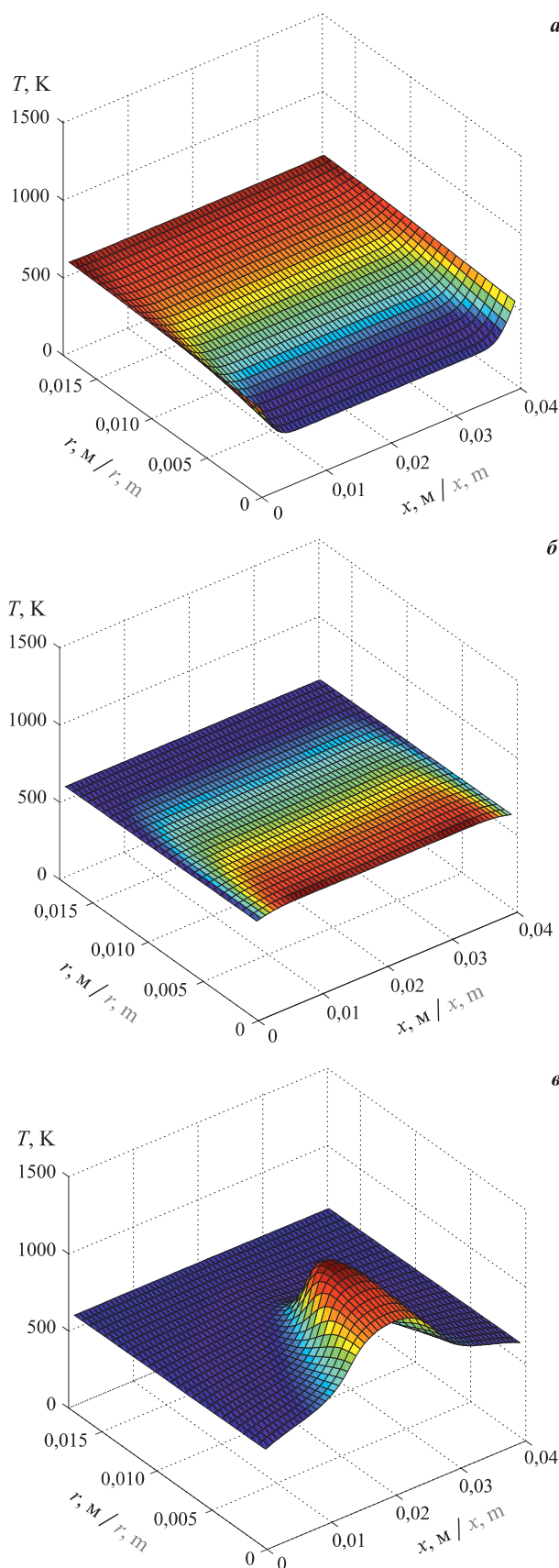


Рис. 4. Изменение поля температур внутри реакционного сосуда в смеси $0,2\text{CH}_4 + 0,8\text{Cl}_2$ со временем при температуре стенок 613 K

Fig. 4. Change of the field of temperatures in a reactionary vessel in mix $0.2\text{CH}_4 + 0.8\text{Cl}_2$ over time at a temperature of walls 613 K

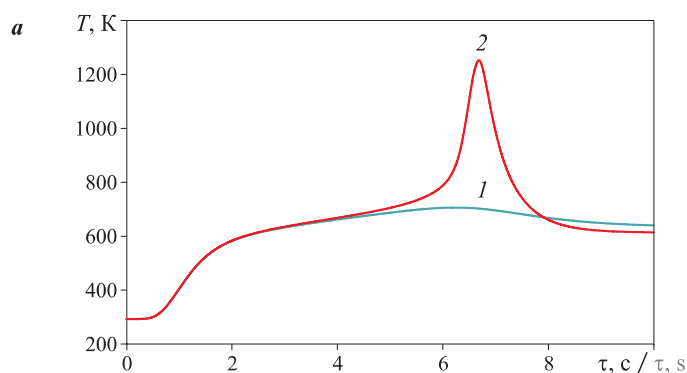


Рис. 5. Изменение температуры смеси $0,2\text{CH}_4 + 0,8\text{Cl}_2$ при температуре стенок реакционного сосуда: 1 — 612 K; 2 — 613 K

Fig. 5. Change of temperature of mix $0.2\text{CH}_4 + 0.8\text{Cl}_2$ at a temperature of walls of a reactionary vessel: 1 — 612 K; 2 — 613 K

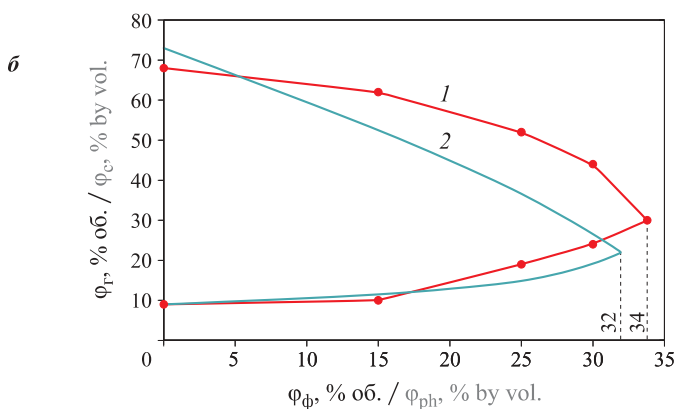


Рис. 6. Зависимость концентрационной области фотовоспламенения смеси $\text{CH}_3\text{Cl} + \text{Cl}_2$ от концентрации четыреххлористого углерода (CCl_4): 1 — экспериментальная; 2 — расчетная

Fig. 6. Dependence of concentration area of photoinflaming of the mix $\text{CH}_3\text{Cl} + \text{Cl}_2$ on concentration of perchloromethane (CCl_4): 1 — experimental; 2 — calculated

нения хлорметана в смеси с хлором от концентрации флегматизатора. В качестве последнего использовали четыреххлористый углерод. Расчетная и экспериментальная зависимости приведены на рис. 6.

По расчетным данным значение минимальной флегматизирующей концентрации (МФК) четыреххлористого углерода составило 32 % об., а установленное ранее экспериментально — 34 % об., т. е. по МФК наблюдается совпадение достаточно хорошее.

Таким образом, в представленной работе показана принципиальная возможность расчета критических параметров воспламенения по кинетическим данным о механизме химического взаимодействия и константам скорости элементарных реакций.

Аналогичный подход может быть использован и при расчете показателей пожаровзрывоопасности в смесях, окислителем в которых является кислород. Хотя отметим, что в кислородных системах механизм реакции существенно усложнен разветвлениями цепей, играющими значительную роль при воспламенении.

Критические параметры воспламенения / Critical parameters of ignition

Газовая смесь Gas mixture	Концентрационные пределы фотовоспламенения, % об. The concentration limits of fotoignition, % by vol.		Критическая интенсивность УФ-излучения Critical intensity of UV-radiation		Температура самовоспламенения, К Autoignition temperature, K	
	Расчет Calculation	Эксперимент Experiment	Расчет Calculation	Эксперимент Experiment	Расчет Calculation	Эксперимент Experiment
$\text{CH}_4 + \text{Cl}_2$	6,0–69,0	7,5–62,0	$0,11I_0$	$0,25I_0$	613	591 [20]
$\text{CH}_3\text{Cl} + \text{Cl}_2$	9,0–73,0	9,0–68,0	$0,025I_0$	$0,047I_0$	—	—
$\text{CH}_2\text{Cl}_2 + \text{Cl}_2$	21,0–54,0	17,0–53,0	$0,33I_0$	$0,25I_0$	—	—

Выводы

1. Разработанная математическая модель теплового воспламенения, базирующаяся на уравнении теплопроводности и учитывающая кинетические данные о механизме химической реакции, позволяет определять показатели пожаровзрывоопасности газовых смесей.

2. Апробация модели теплового воспламенения на примере смесей хлора с метаном и его хлорпроизводными показала хорошую сходимость расчетных и экспериментальных данных по концентрационным пределам воспламенения, температуре самовоспламенения и минимальной флегматизирующей концентрации четыреххлористого углерода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корольченко А. Я., Корольченко Д. А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник : в 2 ч. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Пожнаука, 2004. — Ч. I. — 713 с.; Ч. II. — 774 с.
2. Корольченко А. Я. Расчет показателей пожаровзрывоопасности веществ и материалов. II. Расчет основных показателей пожаровзрывоопасности // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2003. — Т. 12, № 1. — С. 24–38.
3. Осипов А. Л., Трушина В. П., Павлик И. О. Моделирование концентрационных пределов на основе нейронных сетей // International Journal of Advanced Studies [Международный журнал перспективных исследований]. — 2016. — Т. 6, № 2. — С. 67–78. DOI: 10.12731/2227-930X-2016-2-67-78.
4. Чуйков А. М., Сунцов Ю. К., Сорокина Ю. Н., Лукьяненко В. И., Шуткин А. Н. Температура вспышки и энергия Гельмгольца для веществ гомологических рядов n-алкилпропаноатов и n-алкилбутаноатов // Вестник Воронежского государственного технического университета. — 2017. — Т. 13, № 3. — С. 45–49.
5. Elkin I. Gutiérrez Velásquez, Christian J. R. Coronado, Juan C. Quintero Cartagena, João A. Carvalho, Andrés Z. Mendiburu, José C. Andrade, Ely V. Cortez, José C. Santos. Prediction of flammability limits for ethanol-air blends by the Kriging regression model and response surfaces // Fuel. — 2017. — Vol. 210. — P. 410–424. DOI: 10.1016/j.fuel.2017.08.089.
6. Keshavarz M. H., Jafari M., Kamalvand M., Karami A., Keshavarz Z., Zamani A., Rajaei S. A simple and reliable method for prediction of flash point of alcohols based on their elemental composition and structural parameters // Process Safety and Environmental Protection. — 2016. — Vol. 102. — P. 1–8. DOI: 10.1016/j.psep.2016.01.018.
7. Mingqiang Wu, Gequn Shu, Rui Chen, Hua Tian, Xueying Wang, Yue Wang. A new model based on adiabatic flame temperature for evaluation of the upper flammable limit of alkane-air-CO₂ mixtures // Journal of Hazardous Materials. — 2018. — Vol. 344. — P. 450–457. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2017.10.030.
8. Zhao F., Rogers W. J., Mannan M. S. Calculated flame temperature (CFT) modeling of fuel mixture lower flammability limits // Journal of Hazardous Materials. — 2010. — Vol. 174, Issue 1-3. — P. 416–423. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2009.09.069.
9. Keshavarz M. H., Jafari M., Esmailpour K., Samiee M. New and reliable model for prediction of auto-ignition temperature of organic compounds containing energetic groups // Process Safety and Environmental Protection. — 2018. — Vol. 113. — P. 491–497. DOI: 10.1016/j.psep.2017.12.001.
10. Ngoc Lan Mai, Yoon-Mo Koo. Quantitative prediction of lipase reaction in ionic liquids by QSAR using COSMO-RS molecular descriptors // Biochemical Engineering Journal. — 2014. — Vol. 87. — P. 33–40. DOI: 10.1016/j.bej.2014.03.010.

11. Jiao L., Zhang X., Qin Y., Wang X., Li H. QSPR study on the flash point of organic binary mixtures by using electrotopological state index // *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*. — 2016. — Vol. 156. — P. 211–216. DOI: 10.1016/j.chemolab.2016.05.023.
12. Zhao F., Rogers W. J., Mannan M. S. Experimental measurement and numerical analysis of binary hydrocarbon mixture flammability limits // *Process Safety and Environmental Protection*. — 2009. — Vol. 87, Issue 2. — P. 94–104. DOI: 10.1016/j.psep.2008.06.003.
13. Беликов А. К., Никитин И. С., Бегишев И. Р. Воспламенение смесей хлорметана с хлором под действием ультрафиолетового излучения // *Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety*. — 2010. — Т. 19, № 10. — С. 9–12.
14. Комаров П. В., Беликов А. К., Бегишев И. Р. Взрывобезопасные условия фотохлорирования ди-хлорметана в газовой фазе // *Химическая физика процессов горения и взрыва : материалы XII Симпозиума по горению и взрыву*. — Черногловка : Институт проблем химической физики РАН, 2000. — Т. 3. — С. 48–49.
15. Никитин И. С., Бегишев И. Р., Беликов А. К. Флегматизация четыреххлористым углеродом смесей хлорметана и хлора при их фотовоспламенении // *Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety*. — 2015. — Т. 24, № 2. — С. 32–35.
16. Беликов А. К., Феофанов С. А., Бегишев И. Р. Влияние интенсивности УФ-излучения на фототепловое воспламенение газовых смесей метана с хлором // *Пожарная безопасность*. — 2005. — № 2. — С. 63–65.
17. Розловский А. И., Стеблев А. В., Фролов Ю. Е. Интегральное излучение пламени хлорсодержащих смесей // *Доклады Академии наук СССР*. — 1978. — Т. 241, № 3. — С. 631–634.
18. Тихонов А. Н., Самарский А. А. Уравнения математической физики. — 5-е изд., стереотип. — М. : Наука, 1977. — 735 с.
19. А. с. 2016662831. Математическая модель фототеплового воспламенения / Грохотов М. А., Беликов А. К., Комаров А. А., Бегишев И. Р. — № 2016660589; заявл. 03.10.2016; опубл. 20.12.2016.
20. Тимофеев А. Ф., Мазанко А. Ф., Ягуд Б. Ю., Лапишин В. И., Александров А. И. Техника безопасности при хранении, транспортировании и применении хлора. — М. : Химия, 1990. — 336 с.

Материал поступил в редакцию 2 января 2018 г.

Для цитирования: Грохотов М. А., Бегишев И. Р., Комаров А. А., Беликов А. К. Кинетический подход при расчете параметров пожаровзрывоопасности газовых смесей метана с хлором // *Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety*. — 2018. — Т. 27, № 2–3. — С. 27–36. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.02-03.27-36.

English

KINETIC APPROACH WHEN CALCULATING PARAMETERS OF FIRE-AND-EXPLOSION HAZARD OF GAS MIXES OF METHANE WITH CHLORINE

GROKHOTOV M. A., Postgraduate Student of Faculty of Training of Research and Educational Personnel, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: migrokhotov@yandex.ru)

BEGISHEV I. R., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Combustion Processes Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation)

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

BELIKOV A. K., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Combustion Processes Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, 129366, Moscow, Russian Federation)

ABSTRACT

Purpose. The computational method of indexes of fire-and-explosion hazard of gas mixtures a kinetics and the mechanism of chemical interaction which is based on a heat conduction equation and considering is considered. This method allows to define indicators of fire-and-explosion hazard of substances which can enter among themselves chemical reaction. That methods where for definition of indexes of fire-and-explosion hazard of substances use a structure of molecules do not allow and can be applied only to one homologous series.

Methods. Calculation of indicators of fire-and-explosion hazard was carried out by means of the mathematical model of thermal ignition developed by authors in the environment of MATLAB. Researches were conducted for gas mixes of methane, chlormethane and dichloromethane with chlorine at ignition of these mixes heat and ultra-violet light, in a cylindrical vessel of long 0.04 m, with a diameter of 0.036 m. For creation of model the chemical kinetics of elementary reactions of these mixes is considered. Coefficients of heat conductivity and thermal capacity for initial composition of mix paid off, and during chemical transformations considered their change from temperature. Results of calculation were compared to experimental data.

Findings. By means of model of thermal ignition for mixes of methane, chlormethane and dichloromethane with chlorine concentration limits of photoignition and critical intensity of ultra-violet light have been set. For chlormethane mix with chlorine the minimum phlegmatizing concentration of four-chloride carbon is defined, and for methane with chlorine spontaneous ignition temperature is calculated. Results of calculation of indicators of fire-and-explosion hazard for these mixes enough with a good accuracy coincide with experimental data.

Conclusions. The model of thermal ignition which is based on the equation of heat conductivity and considering kinetics and the mechanism of chemical reaction authentically reflects a physical picture of ignition and gives the chance for chlorine mixes with methane and its chlorderivatives to estimate such parameters as: concentration limits of photoignition, critical intensity of UV-light, minimum phlegmatizing concentration and temperature of spontaneous ignition.

This method has shown a possibility of calculation of indicators of fire-and-explosion hazard of gas substances for kinetic data on the mechanism of chemical interaction and to constants of speed of elementary reactions.

Keywords: photoignition model; chlorination of hydrocarbons; fire safety; fire-and-explosion hazard of methane; fire-and-explosion hazard of chlormethane; fire-and-explosion hazard of dichloromethane.

REFERENCES

1. Korolchenko A. Ya., Korolchenko D. A. *Pozharovzryvoopasnost veshchestv i materialov i sredstva ikh tusheniya*. Spravochnik. 2-e izd. [Fire and explosion hazard of substances and materials and their means of fighting. Reference book. 2nd ed.]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2004, part I, 713 p.; part I, 774 p. (in Russian).
2. Korolchenko A. Ya. Calculation of fire and explosion indices of substances and material. Part II. Calculation of main indices. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2003, vol. 12, no. 1, pp. 24–38 (in Russian).
3. Osipov A. L., Trushina V. P., Pavlik I. O. Modelling of concentration limits based on neural networks. *International Journal of Advanced Studies*, 2016, vol. 6, no. 2, pp. 67–78 (in Russian). DOI: 10.12731/2227-930X-2016-2-67-78.
4. Chuikov A. M., Suntsov Yu. K., Sorokina Yu. N., Lukyanenko V. I., Shutkin A. N. Temperature of flash and Helmholtz energy for the substances of homological series of n-alkyl propionates and n-alkyl benzoates. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta / The Bulletin of Voronezh State Technical University*, 2017, vol. 13, no. 3, pp. 45–49 (in Russian).
5. Elkin I. Gutiérrez Velásquez, Christian J. R. Coronado, Juan C. Quintero Cartagena, João A. Carvalho, Andrés Z. Mendiburu, José C. Andrade, Ely V. Cortez, José C. Santos. Prediction of flammability limits for ethanol-air blends by the Kriging regression model and response surfaces. *Fuel*, 2017, vol. 210, pp. 410–424. DOI: 10.1016/j.fuel.2017.08.089.
6. Keshavarz M. H., Jafari M., Kamalvand M., Karami A., Keshavarz Z., Zamani A., Rajaei S. A simple and reliable method for prediction of flash point of alcohols based on their elemental composition and structural parameters. *Process Safety and Environmental Protection*, 2016, vol. 102, pp. 1–8. DOI: 10.1016/j.psep.2016.01.018.

7. Mingqiang Wu, Gequn Shu, Rui Chen, Hua Tian, Xueying Wang, Yue Wang. A new model based on adiabatic flame temperature for evaluation of the upper flammable limit of alkane-air-CO₂ mixtures. *Journal of Hazardous Materials*, 2018, vol. 344, pp. 450–457. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2017.10.030.
8. Zhao F., Rogers W. J., Mannan M. S. Calculated flame temperature (CFT) modeling of fuel mixture lower flammability limits. *Journal of Hazardous Materials*, 2010, vol. 174, issue 1-3, pp. 416–423. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2009.09.069.
9. Keshavarz M. H., Jafari M., Esmailpour K., Samiee M. New and reliable model for prediction of auto-ignition temperature of organic compounds containing energetic groups. *Process Safety and Environmental Protection*, 2018, vol. 113, pp. 491–497. DOI: 10.1016/j.psep.2017.12.001.
10. Ngoc Lan Mai, Yoon-Mo Koo. Quantitative prediction of lipase reaction in ionic liquids by QSAR using COSMO-RS molecular descriptors. *Biochemical Engineering Journal*, 2014, vol. 87, pp. 33–40. DOI: 10.1016/j.bej.2014.03.010.
11. Jiao L., Zhang X., Qin Y., Wang X., Li H. QSPR study on the flash point of organic binary mixtures by using electrotopological state index. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 2016, vol. 156, pp. 211–216. DOI: 10.1016/j.chemolab.2016.05.023.
12. Zhao F., Rogers W. J., Mannan M. S. Experimental measurement and numerical analysis of binary hydrocarbon mixture flammability limits. *Process Safety and Environmental Protection*, 2009, vol. 87, issue 2, pp. 94–104. DOI: 10.1016/j.psep.2008.06.003.
13. Belikov A. K., Nikitin I. S., Begishev I. R. The ignition of chloromethane and chlorine gas mixtures under UV-light. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2010, vol. 19, no. 10, pp. 9–12 (in Russian).
14. Komrakov P. V., Belikov A. K., Begishev I. R. Explosion-proof conditions of photochlorination of dichloromethane in a gas phase. In: *Khimicheskaya fizika protsessov goreniya i vzryva. Materialy XII Simpoziuma po goreniyu i vzryvu* [Chemical physics of combustion and explosion processes. Proceedings of XII Symposium on Combustion and Explosion]. Chernogolovka, Institute of Problems of Chemical Physics of Russian Academy of Sciences Publ., 2000, pp. 48–49 (in Russian).
15. Nikitin I. S., Begishev I. R., Belikov A. K. Phlegmatization of methyl chloride and chlorine gas mixtures by carbon tetrachloride in their photoignition. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 2, pp. 32–35 (in Russian).
16. Belikov A. K., Feofanov S. A., Begishev I. R. Influence of ultraviolet radiation intensity on the photo-thermal ignition of gas mixtures of methane with chlorine. *Pozharnaya bezopasnost / Fire Safety*, 2005, no. 2, pp. 63–65 (in Russian).
17. Rozlovskiy A. I., Steblev A. V., Frolov Yu. E. Integrated radiation of a flame of chlorine-containing mixes. *Doklady Akademii nauk SSSR / Proceedings of the USSR Academy of Sciences*, 1978, vol. 241, no. 3, pp. 631–634 (in Russian).
18. Tikhonov A. N., Samarskiy A. A. *Uraveneniya matematicheskoy fiziki* [Equations of mathematical physics]. 5th ed. Moscow, Nauka Publ., 1977. 735 p. (in Russian).
19. Grokhotov M. A., Belikov A. K., Komarov A. A., Begishev I. R. *Mathematical model of photothermal ignition*. Inventor's Certificate RU, no. 2016662831, publ. date 20.12.2016 (in Russian).
20. Timofeev A. F., Mazanko A. F., Yagud B. Yu., Lapshin V. I., Aleksandrov A. I. *Tekhnika bezopasnosti pri khranении, transportirovani i primenenii khlora* [Safety measures at storage, transportation and use of chlorine]. Moscow, Khimiya Publ., 1990. 336 p. (in Russian).

For citation: Grokhotov M. A., Begishev I. R., Komarov A. A., Belikov A. K. Kinetic approach when calculating parameters of fire-and-explosion hazard of gas mixes of methane with chlorine. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 2–3, pp. 27–36 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.02-03.27-36.

А. А. КОМАРОВ, д-р техн. наук, профессор кафедры комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: ICA_kbs@mgsu.ru)

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

ФАН ТУАН АНЬ, аспирант кафедры гидравлики и водных ресурсов, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: ptuananh26789@gmail.com)

УДК 614.834

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ДИНАМИЧНОСТИ ПРИ ИМПУЛЬСНЫХ НАГРУЗКАХ

Рассмотрена методология оценки коэффициента динамичности при ударных нагрузках, сопровождающих, например, взрывы, падение массивных тел, гидроудары. Отмечены особенности, связанные с определением коэффициента динамичности при импульсных нагрузках, свойственных многим чрезвычайным ситуациям. Выявлены недостатки метода по определению коэффициента динамичности при импульсных нагрузках. Проведено интегрирование уравнения для нескольких видов нагрузок и различных соотношений между длительностью нагрузки и периодом собственных колебаний конструкции. Определены значения коэффициента динамичности для различных соотношений между длительностью нагрузки и периодом собственных колебаний конструкции при нагрузках пяти видов. Приведены критерии, при которых коэффициент динамичности определяется только импульсом ударной нагрузки и не зависит от ее формы. Установлены соотношения для определения коэффициента динамичности при ударных нагрузках, сопровождающих чрезвычайные ситуации.

Ключевые слова: статическая нагрузка; динамическая нагрузка; коэффициент динамичности; расчет строительных конструкций; типовые нагрузки; период собственных колебаний конструкции.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.02-03.37-43

Введение

В практике строительного проектирования принято приводить нестационарные нагрузки к эквивалентным статическим нагрузкам [1–4]. При расчетах последствий динамического воздействия на строительные конструкции используется следующая методология. Динамическая нагрузка заменяется эквивалентной ей по действию статической нагрузкой $P_э$, которая определяется по формуле [5–10]:

$$P_э = P_{\max} K_d, \quad (1)$$

где $P_{\max}$ — максимальная динамическая нагрузка; K_d — коэффициент динамичности, равный максимальному значению функции динамичности $T(t)$, описывающей движение (перемещение сечений) конструкции во времени.

Как следует из выражения (1), для замены динамической нагрузки эквивалентной ей статической необходимо определить коэффициент динамичности K_d . Величину K_d при нагрузке треугольной фор-

мы проектировщики часто определяют по графикам (рис. 1), приведенным во многих справочниках по прочностному расчету сооружений, где круговая частота основного тона собственных колебаний конструкций ω_k определяется методами строительной механики.

Из графика рис. 1 следует, что если величина θ_1 стремится к нулю (при нагрузке пилообразной формы), то численное значение коэффициента динамичности приближается к двум. Исходя из этих соображений проектировщики любую нагрузку пилообразной формы при проведении статических расчетов удваивают. Однако этот подход неправомерен для кратковременных (импульсных) нагрузок. Именно этот вопрос и рассматривается в настоящей статье.

При чрезвычайных ситуациях (ЧС) достаточно часто возникают кратковременные нагрузки [11–14]. При взрывах зарядов взрывчатых веществ (ВВ), при аварийном падении массивных тел (например, транспортных контейнеров в бассейны выдержки на АЭС),

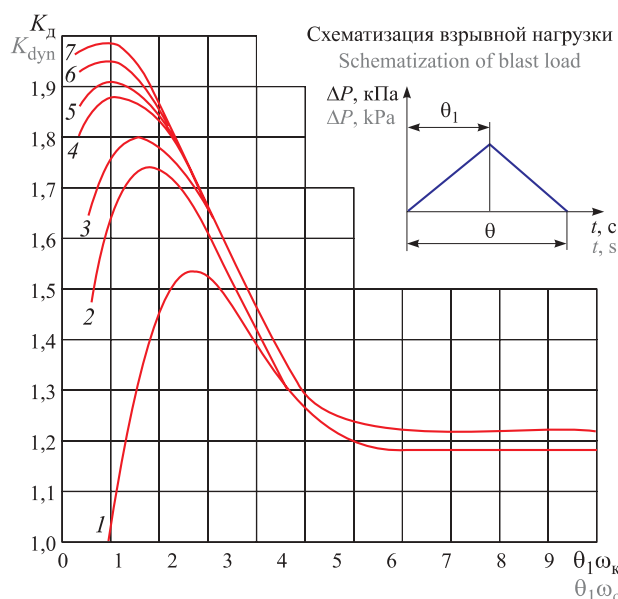


Рис. 1. Графики для определения коэффициента динамичности $K_{\text{д}}$: 1 — $\theta/\theta_1 = 2$; 2 — $\theta/\theta_1 = 6$; 3 — $\theta/\theta_1 = 10$; 4 — $\theta/\theta_1 = 20$; 5 — $\theta/\theta_1 = 50$; 6 — $\theta/\theta_1 = 100$; 7 — $\theta/\theta_1 \geq 200$; θ и θ_1 — время соответственно действия динамической нагрузки и ее нарастания до максимальной величины; ΔP — взрывная нагрузка
Fig. 1. Graphs for determining of dynamic amplification factors $K_{\text{д}}$: 1 — $\theta/\theta_1 = 2$; 2 — $\theta/\theta_1 = 6$; 3 — $\theta/\theta_1 = 10$; 4 — $\theta/\theta_1 = 20$; 5 — $\theta/\theta_1 = 50$; 6 — $\theta/\theta_1 = 100$; 7 — $\theta/\theta_1 \geq 200$; θ и θ_1 — time respectively of the action of the dynamic load and its increase to the maximum value; ΔP — blast load

при гидроударах и т. д. формируются нагрузки, длительность которых исчисляется миллисекундами при очень высоких давлениях [15–20].

Цель нашей работы заключается в выявлении некоторых особенностей, связанных с расчетом коэффициента динамичности при импульсных нагрузках, свойственных многим чрезвычайным ситуациям. В связи с этим необходимо установить критерии, при которых коэффициент динамичности определяется только импульсом ударной нагрузки, а также привести соотношения для определения коэффициента динамичности при ударных нагрузках, сопровождающих взрывы, падение массивных тел, гидроудары и т. д.

Теоретические расчеты

Рассмотрим методологию оценки коэффициента динамичности при подобных нагрузках. В своих рассуждениях будем придерживаться принятых в динамике сооружений подходов.

Известно, что движение конструкции в стадии упругих деформаций описывается уравнением

$$\frac{d^2 T}{dt^2} + \omega^2 T = \omega^2 f(t), \quad (2)$$

где $T(t)$ — относительное перемещение конструкции или функция динамичности; $T(t) = S(t)/S_{\text{макс}}$;

$S(t)$ — смещение конструкции при статическом воздействии на нее нагрузки P ;

$S_{\text{макс}}$ — смещение конструкции при статическом воздействии на нее нагрузки $P_{\text{макс}}$;

ω_k — круговая частота собственных колебаний конструкции;

$f(t)$ — функция, описывающая изменение безразмерной динамической нагрузки во времени; $f(t) = P(t)/P_{\text{макс}}$.

Решение уравнения (2) при нулевых начальных условиях имеет вид:

$$\begin{aligned} T(t) &= \omega \int_0^t f(u) \cdot \sin(\omega(t-u)) du = \\ &= \omega \left(\sin \omega \cdot t \int_0^t f(u) \cdot \cos(\omega u) du - \right. \\ &\quad \left. - \cos \omega \cdot t \int_0^t f(u) \cdot \sin(\omega u) du \right), \end{aligned} \quad (3)$$

где u — модуль упругости конструкции.

Численное интегрирование выражения (3) дает функцию перемещения конструкции под действием силы $f(t)$ во времени. Максимальное значение функции перемещения $T(t)$ есть коэффициент динамичности $K_{\text{д}}$.

Для определения коэффициента динамичности необходимо знать частоту основного тона собственных колебаний конструкций ω_k , которая определяется по формуле [4]:

$$\omega_k = \frac{\alpha}{L^2} \sqrt{\frac{B}{M_k}}, \quad (4)$$

где α — коэффициент, определяемый по справочной литературе (например, [4]);

L — длина пролета конструкции;

B — изгибная жесткость; $B = EI$;

E — динамический модуль упругости;

I — осевой момент инерции сечения;

M_k — погонная масса конструкции; $M_k = q/g$;

q — погонная нагрузка от взрыва плюс нагрузка от собственного веса конструкции;

g — ускорение свободного падения.

Решение уравнения (2) можно получить, численно разрешив систему дифференциальных уравнений первого порядка:

$$\frac{dU}{dt} = -\omega^2 T + \omega^2 f(t); \quad \frac{dT}{dt} = U, \quad (5)$$

где U — энергия упругой деформации.

К недостаткам описанного метода следует отнести следующее обстоятельство. В расчетах предполагается, что колебательный процесс каждого элемента происходит на определенной частоте (как правило, на частоте основного тона), хотя в действительности колебания происходят во всем спектре

собственных частот упругого элемента. Кроме того, в данном методе произвольные граничные условия можно задавать с определенными приближениями. Тем не менее при расчетах строительных конструкций на прочность при ЧС, когда в качестве исходных данных принимаются максимально возможные нагрузки, которые маловероятны, данный подход в определении K_d в некоторой степени оправдан.

На рис. 2 приведены значения коэффициента динамичности для различных соотношений между длительностью действия нагрузки $T_{\text{нагр}}$ и периодом собственных колебаний конструкции T_0 при нагрузках пяти типов.

Из рис. 2 видно, что временной характер нагрузки влияет на коэффициент динамичности только при соотношении между длительностью действия нагрузки и периодом собственных колебаний конструкции, превышающем $0,5T_0$. Этот факт, собственно, и отражает рис. 1, который построен применительно к достаточно продолжительным (по отношению к периоду собственных колебаний конструкций), а не импульсным нагрузкам.

На рис. 3 приведены значения коэффициента динамичности для различных соотношений между

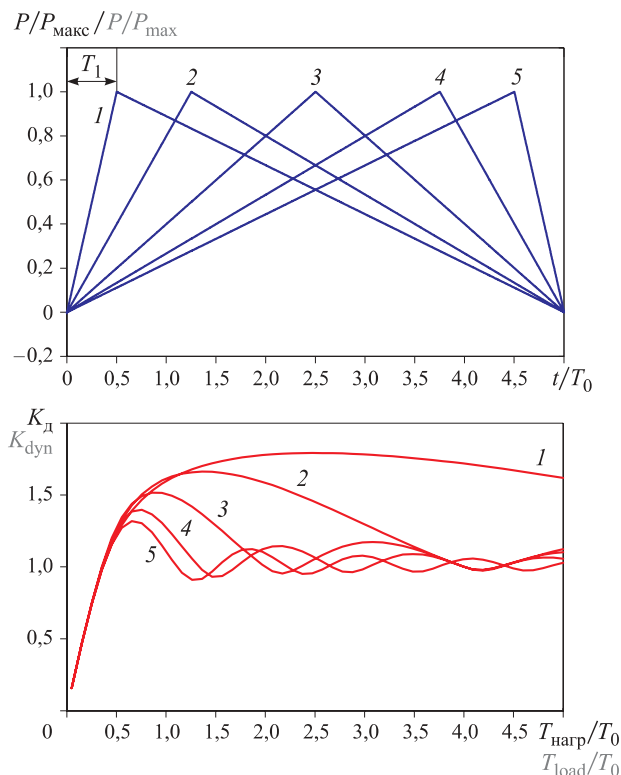


Рис. 2. Коэффициенты динамичности при нагрузках пяти типов: 1 — $K = 0,10$; 2 — $K = 0,25$; 3 — $K = 0,50$; 4 — $K = 0,75$; 5 — $K = 0,90$; $K = T_1/T_{\text{нагр}}$; T_1 — длительность нарастания нагрузки; $T_{\text{нагр}}$ — длительность действия нагрузки

Fig. 2. Dynamic amplification factors under loads of five types: 1 — $K = 0,10$; 2 — $K = 0,25$; 3 — $K = 0,50$; 4 — $K = 0,75$; 5 — $K = 0,90$; $K = T_1/T_{\text{load}}$; T_1 — load rise duration; T_{load} — load action duration

длительностью действия нагрузки и периодом собственных колебаний конструкции, при нагрузке ударного вида $K = 0$ и нагрузке, имеющей только фазу нарастания, $K = 1$. Условно их можно считать “крайними” формами нагрузок — ударной и плавной.

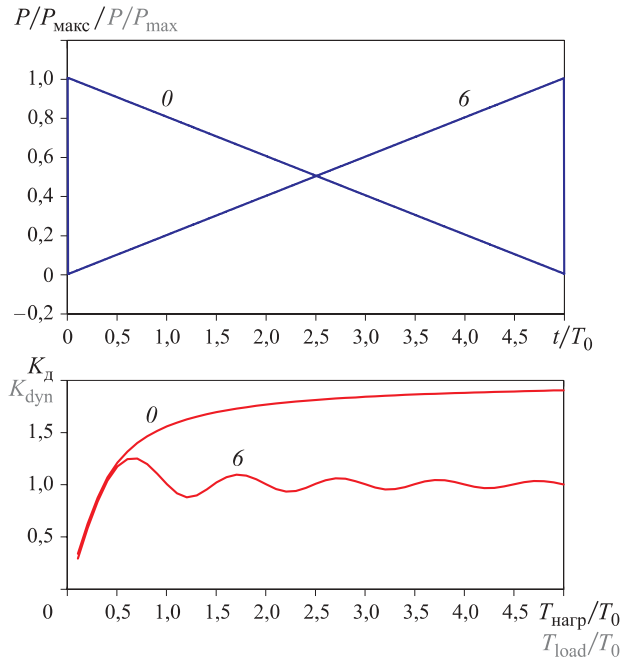


Рис. 3. Коэффициенты динамичности при нагрузках двух “крайних” типов — $K = 0$; $K = 6$

Fig. 3. Dynamic amplification factors under loads of two “extreme” types — $K = 0$; $K = 6$

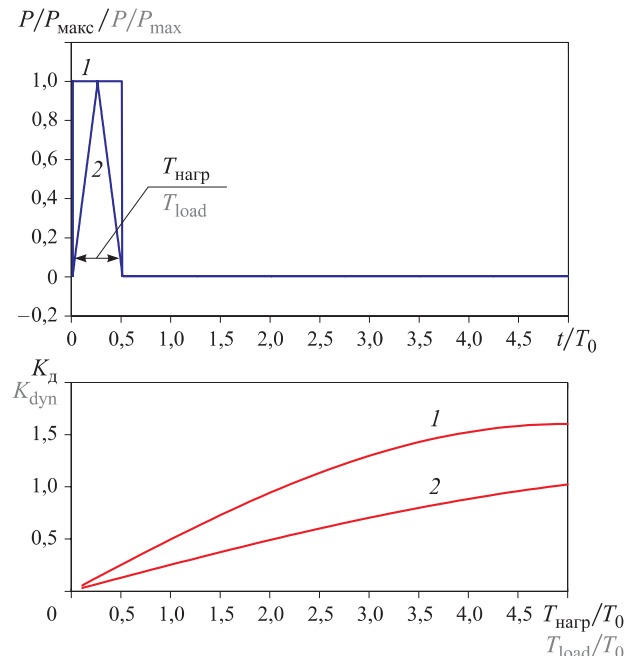


Рис. 4. Коэффициенты динамичности для $T_{\text{нагр}}/T_0 < 0,5$ при нагрузках прямоугольного (1) и треугольного (2) типов

Fig. 4. Dynamic amplification factors for ratios of $T_{\text{load}}/T_0 < 0,5$ under rectangular (1) or triangular (2) type of loads

Для соотношений $T_{\text{нагр}}/T_0 < 0,5$, как указывалось ранее (см. рис. 2), форма нагрузки не влияет на численные значения коэффициента динамичности. Основное влияние на него оказывает импульс давления $I = \int P(t) dt$. Это видно из рис. 4, где приведены значения коэффициента динамичности при нагрузках треугольной ($I = 0,5P_{\text{макс}}T_{\text{нагр}}$) и прямоугольной ($I = P_{\text{макс}}T_{\text{нагр}}$) формы.

В результате проведенных расчетов было получено, что коэффициент динамичности при кратковременных нагрузках ($T_{\text{нагр}}/T_0 < 0,5$) приближенно можно определить по следующей формуле:

$$K_d = \frac{2T_{\text{нагр}}}{T_0} \left[2 - 1,5 \left(1 - \frac{I}{P_{\text{макс}}T_{\text{нагр}}} \right) \right]. \quad (6)$$

Тогда имеем:

- для нагрузки треугольной формы ($I = 0,5P_{\text{макс}}T_{\text{нагр}}$):

$$K_d = 1,25 \frac{2T_{\text{нагр}}}{T_0}; \quad (7)$$

- для нагрузки прямоугольной формы ($I = P_{\text{макс}}T_{\text{нагр}}$):

$$K_d = 2,0 \frac{2T_{\text{нагр}}}{T_0}. \quad (8)$$

Выводы

Отмечены особенности, связанные с определением коэффициента динамичности при импульсных нагрузках, свойственных многим чрезвычайным ситуациям. Было проведено интегрирование уравнения (2) для различных соотношений между длительностью нагрузки $T_{\text{нагр}}$ и периодом собственных колебаний конструкции T_0 при нагрузках нескольких типов. Приведены критерии, при которых коэффициент динамичности определяется только импульсом ударной нагрузки и не зависит от ее формы. Установлены соотношения для определения коэффициента динамичности при ударных нагрузках, сопровождающих чрезвычайные ситуации (взрывы ВВ, падение массивных тел, гидроудары и т. д.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Назаров В. П., Коротовских Я. В. Компьютерные технологии прогнозирования пожаровзрывоопасности производственных объектов // Технологии техносферной безопасности. — 2010. — № 5. — С. 21–26.
2. Ефремов К. В., Лисанов М. В., Софьин А. С., Самусева Е. А., Сумской С. И., Кириенко А. П. Расчет зон разрушения зданий и сооружений при взрывах топливно-воздушных смесей на опасных производственных объектах // Безопасность труда в промышленности. — 2011. — № 9. — С. 70–77.
3. Yan S., Wang J.-H., Wang D., Zhang L. Mechanism analysis on progressive collapse of RC frame structure under blast effect // Gongcheng Lixue / Engineering Mechanics. — 2009. — No. 26 (suppl. 1). — P. 119–123, 129.
4. Chen H. L., Xia Z. C., Zhou J. N., Fan H. L., Jin F. N. Dynamic responses of underground arch structures subjected to conventional blast loads: Curvature effects // Archives of Civil and Mechanical Engineering. — 2013. — Vol. 13, Issue 3. — P. 322–333. DOI: 10.1016/j.acme.2013.04.004.
5. Попов Н. Н., Рассторгуев Б. С. Динамический расчет железобетонных конструкций. — М. : Стройиздат, 1974. — 207 с.
6. Рассторгуев Б. С. Методические указания по проектированию новых и обследованию существующих строительных конструкций зданий взрывоопасных производств. — М. : Изд-во Ассоциации строительных вузов, 1996. — 227 с.
7. СНиП 2.01.07–85. Нагрузки и воздействия (с изм. № 1, 2). URL: <http://docs.cntd.ru/document/5200280> (дата обращения: 15.01.2018).
8. Динамический расчет сооружений на специальные воздействия. Справочник проектировщика / Под ред. Б. Г. Коренева, И. М. Рабиновича. — М. : Стройиздат, 1981. — 218 с.
9. Polandov Iu., Korolchenko D. The consideration of the turbulence influence on the gas explosion expansion in non-closed areas // MATEC Web of Conferences. — 2017. — Vol. 106, Art. 01040. — 8 p. DOI: 10.1051/mateconf/201710601040.
10. Korolchenko D., Pizhurin A. Simulating operational control of production in lumber house building businesses // MATEC Web of Conferences. — 2017. — Vol. 117, Art. 00084. — 7 p. DOI: 10.1051/mateconf/201711700084.
11. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F., Byakov A. V. The analysis of oil suppression by aqueous film forming foam through a gas-salt layer of water // Advanced Materials Research. — 2014. — Vol. 1073-1076. — P. 2353–2357. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amr.1073-1076.2353.
12. Komarov A., Bazhina E., Bobrov Yu. Relationship between gas-dynamic flows and impacts of emergency explosions indoors // MATEC Web of Conferences. — 2016. — Vol. 86, Art. 04048. — 5 p. DOI: 10.1051/mateconf/20168604048.

13. Сулименко В. А., Комаров А. А., Васюков Г. В., Загуменников Р. А. Особенности расчета параметров процесса возникновения взрывоопасных смесей при аварийных ситуациях // Технологии техносферной безопасности. — 2015. — № 4(62) — С. 109–116.
14. Kabantsev O., Perelmuter A. Modeling transition in design model when analyzing specific behaviors of structures // Procedia Engineering. — 2013. — Vol. 57. — P. 479–488. DOI: 10.1016/j.proeng.2013.04.062.
15. Fialko S. Yu. Iterative methods for solving large-scale problems of structural mechanics using multi-core computers // Archives of Civil and Mechanical Engineering. — 2014. — Vol. 14, Issue 1. — P. 190–203. DOI: 10.1016/j.acme.2013.05.009.
16. Fialko S. Parallel finite element solver for multi-core computers // Federated Conference on Computer Science and Information Systems (September 9–12, 2012, Wrocław, Poland). — 2012. — Art. 6354298. — P. 525–532.
17. Юдаков А. А., Бойков В. Г. Численные методы интегрирования уравнений движения многокомпонентных механических систем, основанные на методах прямого интегрирования уравнений динамики метода конечных элементов // Вестник Удмуртского университета. Математика. Механика. Компьютерные науки. — 2013. — Вып. 1. — С. 131–144.
18. Котляревский В. А. Коррекция динамических испытаний конструкций на моделях при наличии масштабных эффектов // Строительная механика и расчет сооружений. — 2014. — № 1(252). — С. 43–48.
19. Котляревский В. А. Особенности вибрационной диагностики в строительстве // Наука и безопасность. — 2013. — Вып. 4(9). — С. 2–10.
20. Кашеварова Г. Г., Пепеляев А. А. Моделирование и ретроспективный анализ взрыва бытового газа в кирпичном здании // Строительная механика и расчет сооружений. — 2010. — № 2. — С. 31–36.

Материал поступил в редакцию 25 января 2018 г.

Для цитирования: Комаров А. А., Корольченко Д. А., Фан Туан Ань. Особенности определения коэффициента динамичности при импульсных нагрузках // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 2-3. — С. 37–43. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.02-03.37-43.

English

FEATURES OF DETERMINATION OF THE DYNAMIC AMPLIFICATION FACTOR UNDER IMPULSE LOADS

KOMAROV A. A., Doctor of Technical Sciences, Professor of Department of Integrated Safety in Civil Engineering, National Research Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail: ICA_kbs@mgsu.ru)

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

PHAN TUAN ANH, Postgraduate Student of Hydraulics and Water Resources Department, National Research Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail: ptuananh26789@gmail.com)

ABSTRACT

It is accepted to lead non-stationary loads to equivalent static loads in practice of construction design. Different methodologies are used to calculate the effects of dynamic impact on building structures. This article describes evaluation methodology of dynamic amplification factor under impact loads, arising in case of explosions, falling of massive bodies, hydraulic impact. To calculate the dynamic amplification factor it was determined frequency of fundamental tone of natural oscillation. A shortcoming of described evaluation method of dynamic amplification factor under impact loads is the assumption that oscillation process of each element happens at a certain frequency (usually at the fundamental tone frequency); though in fact oscillations happen in all range of natural frequencies of elastic element. Besides, any boundary conditions for this methodology can be set with certain approximations. Nevertheless structural analysis of building constructions in conditions of emergency situation, when the maximum possible loadings have been taken as initial data, such approach in determination

of K_{dyn} is justified in a certain degree. The integrating equations for different types of loads and various ratios between load duration and natural oscillation period has allowed to determine values of dynamic amplification factor for such ratios at five types of loads. It have been shown that temporality of loading influences dynamic amplification factor only at certain ratios between load duration and natural oscillation period. This fact can be attributed to a sufficiently long (in ratio to the natural oscillation period), but not to impulse loads. Values of dynamic amplification factor for various ratios between load duration and natural oscillation period under the impact forces and under the growth phase load were given. The type of load have not affect numerical values of dynamic amplification factor for the presented ratios. The main influence on dynamic amplification factor is the pressure pulse.

Keywords: static load; dynamic load; dynamic amplification factor; structural analysis; typical loads; natural oscillation period.

REFERENCES

1. Nazarov V. P., Korotovskikh Ya. V. Computer technology prediction fire and explosion hazard of production objects. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti / Technology of Technosphere Safety*, 2010, no. 5, pp. 21–26 (in Russian).
2. Efremov K. V., Lisanov M. V., Sofin A. S., Samuseva E. A., Sumskey S. I., Kirienko A. P. Calculation of buildings and structures destruction zones resulted from explosions of fuel-air mixtures at hazardous production facilities. *Bezopasnost truda v promyshlennosti / Occupational Safety in Industry*, 2011, no. 9, pp. 70–77 (in Russian).
3. Yan S., Wang J.-H., Wang D., Zhang L. Mechanism analysis on progressive collapse of RC frame structure under blast effect. *Gongcheng Lixue / Engineering Mechanics*, 2009, no. 26 (suppl. 1), pp. 119–123, 129.
4. Chen H. L., Xia Z. C., Zhou J. N., Fan H. L., Jin F. N. Dynamic responses of underground arch structures subjected to conventional blast loads: Curvature effects. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 2013, vol. 13, issue 3, pp. 322–333. DOI: 10.1016/j.acme.2013.04.004.
5. Popov N. N., Rastorguev B. S. *Dinamicheskiy raschet zhelezobetonnykh konstruksiy* [Dynamic calculation of reinforced concrete structures]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1974. 207 p. (in Russian).
6. Rastorguev B. S. *Metodicheskiye ukazaniya po proyektirovaniyu novykh i obsledovaniyu sushchestvuyushchikh stroitelnykh konstruksiy zdaniy vzryvoopasnykh proizvodstv* [Methodology on design the new buildings and on inspection the explosive production premises]. Moscow, Association of Higher Construction Institutions Publ., 1996. 227 p. (in Russian).
7. Construction norms and rules 2.01.07–85. *Loads and impacts* (with changes No. 1, 2) (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/5200280> (Accessed 15 January 2018).
8. Korenev B. G., Rabinovich I. M. (eds.). *Dinamicheskiy raschet sooruzheniy na spetsialnyye vozdeystviya. Spravochnik proyektirovshchika* [Dynamic calculation of structures for special impacts. Reference book of the designer]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1981. 218 p. (in Russian).
9. Polandov Iu., Korolchenko D. The consideration of the turbulence influence on the gas explosion expansion in non-closed areas. *MATEC Web of Conferences*, 2017, vol. 106, art. 01040. 8 p. DOI: 10.1051/mateconf/201710601040.
10. Korolchenko D., Pizhurin A. Simulating operational control of production in lumber house building businesses. *MATEC Web of Conferences*, 2017, vol. 117, art. 00084. 7 p. DOI: 10.1051/mateconf/201711700084.
11. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F., Byakov A. V. The analysis of oil suppression by aqueous film forming foam through a gas-salt layer of water. *Advanced Materials Research*, 2014, vol. 1073–1076, pp. 2353–2357. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amr.1073-1076.2353.
12. Komarov A., Bazhina E., Bobrov Yu. Relationship between gas-dynamic flows and impacts of emergency explosions indoors. *MATEC Web of Conferences*, 2016, vol. 86, art. 04048. 5 p. DOI: 10.1051/mateconf/20168604048.
13. Sulimenko V. A., Komarov A. A., Vasjukov G. V., Zagumennikov R. A. Features of calculation of parameters the occurrence of explosive mixtures at emergency. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti / Technology of Technosphere Safety*, 2015, no. 4(62), pp. 109–116 (in Russian).
14. Kabantsev O., Perelmuter A. Modeling transition in design model when analyzing specific behaviors of structures. *Procedia Engineering*, 2013, vol. 57, pp. 479–488. DOI: 10.1016/j.proeng.2013.04.062.
15. Fialko S. Yu. Iterative methods for solving large-scale problems of structural mechanics using multi-core computers. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 2014, vol. 14, issue 1, pp. 190–203. DOI: 10.1016/j.acme.2013.05.009.

16. Fialko S. Parallel finite element solver for multi-core computers. In: *Federated Conference on Computer Science and Information Systems* (September 9–12, 2012, Wrocław, Poland), 2012, art. 6354298, pp. 525–532.
17. Yudakov A. A., Boikov V. G. Numerical methods of multibody mechanical system's dynamic equations integration, based on methods of direct integration of finite element method's dynamic equations. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Matematika. Mekhanika. Komp'yuternye nauki / The Bulletin of Udmurt University. Mathematics. Mechanics. Computer Science*, 2013, issue 1, pp. 131–144 (in Russian).
18. Kotlyarevsky V. A. Correction of structures dynamic tests on models under influence of scale effects. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy / Structural Mechanics and Analysis of Constructions*, 2014, no. 1(252), pp. 43–48 (in Russian).
19. Kotlyarevsky V. A. Features of vibration diagnostics in construction. *Nauka i bezopasnost / Science and Safety*, 2013, issue 4(9), pp. 2–10 (in Russian).
20. Kashevarova G. G., Pepelyaev A. A. Modeling and retrospective analysis for the domestic gas explosion in brick building. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy / Structural Mechanics and Analysis of Constructions*, 2010, no. 2, pp. 31–36 (in Russian).

For citation: Komarov A. A., Korolchenko D. A., Phan Tuan Anh. Features of determination of the dynamic amplification factor under impulse loads. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 2-3, pp. 37–43 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.02-03.37-43.



Издательство «ПОЖНАУКА»

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

ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ во взрывопожароопасных зонах

Справочное пособие



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

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

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

Красноярск

30 мая
1 июня 2018



При поддержке Национального
антитеррористического комитета

**XIV Всероссийский
специализированный форум-выставка**

АНТИТЕРРОР

современные
системы
безопасности

Информационная безопасность

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

**Деловая программа с участием представителей
федеральной власти**



сибирь
международный
выставочно-деловой центр
имени Карена Мурадьяна

Организаторы:



РЕКЛАМА

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

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

В. А. ПРУСАКОВ, генеральный директор ООО “ПРОМИЗОЛ”

(Россия, 140073, Московская обл., Люберецкий р-н, п. Томилино, мкр. Птицефабрика, лит. 2С, офис 215; e-mail: info@tdpromizol.com)

М. В. ГРАВИТ, канд. техн. наук, доцент кафедры “Строительство уникальных зданий и сооружений”, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (Россия, 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29; e-mail: marina.gravit@mail.ru)

Н. С. ТИМОФЕЕВ, ООО “ПРОМИЗОЛ” (Россия, 140073, Московская обл., Люберецкий р-н, п. Томилино, мкр. Птицефабрика, лит. 2С, офис 215; e-mail: info@tdpromizol.com)

Я. Б. СИМОНЕНКО, студентка, Инженерно-строительный институт, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (Россия, 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29; e-mail: YannaSimnna98@mail.ru)

К. В. ГУТОРОВ, студент, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (Россия, 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29; e-mail: minedrot@gmail.com)

А. М. К. С. ШЕВЧЕНКО, студентка, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (Россия, 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29; e-mail: shevchenko.a79215529163@yandex.ru)

УДК 614.842/.847

ОГНЕЗАЩИТА ДЕФОРМАЦИОННЫХ И ЛИНЕЙНЫХ ШВОВ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Дан обзор огнестойких заделок деформационных швов как зарубежных, так и отечественных производителей. Показано, что для защиты деформационных швов при пожаре применяются огнестойкие заделки, специально разработанные для этих целей и гарантированно работающие при сжатии, растяжении и сдвиге шва. Обоснована необходимость выбора комплексного решения, обеспечивающего максимальное удовлетворение потребностей при выполнении огнезащитных работ по защите деформационного шва при воздействии пожара. Показано, что особое внимание следует уделять технологии сопряжения конструкций (изделий) огнестойких заполнений при их монтаже в деформационные швы по всей длине, гарантированно не допуская появления технологических зазоров и пустот.

Ключевые слова: здания; сооружения; строительные конструкции; напряжения; пожарная безопасность; деформационные швы; линейные швы; огнезащита.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.02-03.45-56

Введение

По данным МЧС за 2016 г. на территории России произошло около 140 тыс. пожаров, уничтожено 35 тыс. и повреждено 88 тыс. зданий [1]. Огнестойкость здания, одна из его классификационных характеристик, рассчитывается на этапе проектирования. Это представляет собой важный этап в мероприятиях по обеспечению пожарной безопасности [2–5].

Сопряжения между ограждающими конструкциями здания, к которым предъявляются требования пожарной безопасности, делятся на деформационные (меняющие свои геометрические размеры под влиянием каких-либо факторов) и линейные, или строительные (не меняющие своих геометрических размеров).

Деформационные швы обеспечивают способность многоэтажных и многосекционных зданий

сопротивляться воздействию различных факторов в течение всего срока их эксплуатации без снижения несущей способности конструкций. Такие воздействия могут оказывать различные факторы, такие как сейсмическая активность, неравномерная плотность грунта, перепад температуры окружающей среды, повышенные нагрузки.

В зависимости от наиболее характерных видов нагрузок деформационные швы можно разделить на 4 типа [5]:

1) *температурные швы*, которые пронизывают сооружение сверху донизу — от пола до кровли, но фундамент не затрагивают; позволяют монолитным материалам свободно сжиматься и разжиматься при перепадах температур;

2) *осадочные швы*, разделяющие здание по всей высоте — от фундамента до крыши, чтобы избежать

опасных деформаций вследствие неравномерной деформации грунта;

3) *усадочные швы*, используемые в монолитном строительстве (бетон, затвердевая, усаживается крайне неравномерно, что приводит к созданию внутреннего напряжения и, как следствие, к образованию трещин);

4) *антисейсмические швы*, активно применяемые в сейсмически активных регионах.

К деформационным швам предъявляются определенные требования по огнестойкости, так же как и к перекрытиям, стенам и перегородкам, которые определяются согласно нормативной документации по пожарной безопасности строительной конструкции в целом. Отдельных требований по огнезащите при устройстве деформационных швов в российском законодательстве не существует: их огнестойкость регламентируется лишь в совокупности с остальными элементами конструкции [6–8]. Для увеличения огнестойкости конструкции применяют различные виды огнестойкой заделки, которую устанавливают внутри деформационных швов (рис. 1). Таким образом, понятие “огнестойкая заделка” можно определить как специальное огнестойкое заполнение строительного шва в узле примыкания ограждающих конструкций с нормированными пределами огнестойкости.

В зарубежной и российской системах нормативных документов, устанавливающих требования к деформационным швам, методы испытаний и принципы классификации средств огнезащиты для строительных конструкций имеют существенные отличия, поэтому изучение данных документов, в частности проведение сравнительного анализа, в настоящее время является необходимой частью общего процесса в области технического регулирования в Российской Федерации, направленного на изменение национальной системы стандартизации и интеграцию с другими системами европейского и мирового сообщества [9].

Российская методика испытаний, на основании которой устанавливаются пределы огнестойкости конструкции, имеющей огнестойкую заделку деформационных швов, изложена в ГОСТ 30247.0–94 и ГОСТ 30247.1–94. Пределы огнестойкости определяются по потере целостности (Е) и потере теплоизолирующей способности (I).

Например, в настоящее время испытания на огнестойкость проводятся для огнестойкой заделки деформационного конструктивного шва, состоящей из терморасширяющегося герметика и внутреннего заполнения шва минеральной ватой; пределы огнестойкости, как правило, могут составлять EI 90 при плотности минеральной ваты до 110 кг/м^3 и EI 180 при плотности не менее 110 кг/м^3 (согласно офици-



Рис. 1. Деформационный шов без огнестойкого заполнения (а) и с огнестойким заполнением (б)

Fig. 1. Expansion joint without firestop cover (a) and expansion joint with firestop cover (b)

альным данным в сертификатах соответствия). При указанных испытаниях не учитывается растяжение и сжатие или сдвиг деформационного шва, в том числе циклические деформации растяжение – сжатие – сдвиг, неизбежно возникающие в процессе его эксплуатации, что делает результаты испытаний недостаточно объективными.

Цель настоящего исследования заключается в рассмотрении типов деформационных швов и в изучении применения огнестойкой заделки — материалов (изделий), которые устанавливаются в горизонтальные и вертикальные деформационные швы монолитных и сборных железобетонных конструкций зданий и сооружений различного назначения и обеспечивают нераспространение и локализацию пожара в течение требуемого периода времени.

Необходимость использования огнезащиты деформационных швов

Правильное проектирование, устройство и монтаж деформационных швов имеют большое значение при строительстве, поскольку дают возможность обеспечить длительный срок службы основных несущих и ограждающих конструкций зданий, а также элементов внутренней и внешней отделки. Деформационные швы являются элементами узлов примыкания строительных конструкций, таких как стены, перегородки и перекрытия, для которых существуют требования по огнестойкости. В соответствии со ст. 88 Федерального закона № 123-ФЗ [6] места сопряжения противопожарных стен, перекрытий и перегородок с другими ограждающими конструкциями здания, сооружения, пожарного отсека должны иметь предел огнестойкости не менее, чем сопрягаемые преграды [10]. Согласно п. 5.2.1 СП 2.13130.2012 [11] данное требование касается всех конструкций

с нормируемыми пределами огнестойкости. Основная сложность заключается в том, что применение распространенных негорючих материалов невозможно из-за динамической работы деформационных швов (сжатие, растяжение, сдвиг), что приводит к ускоренному износу этих материалов [12, 13].

Для защиты деформационных швов в конструкциях при пожаре применяются специальные виды огнестойкой заделки, разработанные для эксплуатации в деформационных швах. Конструкции (изделия), в которых применяется такая огнестойкая заделка, выполняют свои функции и сохраняют все противопожарные характеристики как при сжатии шва, так и при его растяжении. В отличие от специальной заделки, например, минеральная вата, установленная в чистом виде в шов, при его сжатии еще будет сохранять какие-то защитные свойства, а при растяжении — сдвиге шва ни о какой серьезной защитной функции говорить не приходится. По мнению авторов, минеральная вата как конструктивный элемент защиты деформационного шва от огня не выдержит испытаний в условиях, имитирующих работу деформационного шва. Анализ и изучение пожароопасных свойств строительных материалов, оценка «поведения» конструкций при пожаре, проведение расчета прочности и устойчивости зданий при огневом воздействии — все это позволяет разработать и предложить потребителям высокоэффективные способы огнезащиты конструктивных элементов [14–17].

Среди ведущих производителей систем огнезащиты деформационных швов следует упомянуть компании “Veda-France”, “Hilti”, ООО “Огнеза”, “Promat”, ООО “ПРОМИЗОЛ”. Конструктивные решения противопожарных заделок компаний “Veda-France”, “Hilti”, “Promat”, взятые из открытых источников, приведены на рис. 2–4.

Огнестойкие заполнения устанавливают для компенсации возможных изменений ширины шва от первоначальной ширины в горизонтальные и вертикальные деформационные швы монолитных и сборных железобетонных конструкций зданий и сооружений различного назначения, а также в зазоры между торцом вертикальных стен и межэтажных перекрытий.

Противопожарная заделка компании “Promat” (см. рис. 4) может устанавливаться по двум схемам. По первой схеме (см. рис. 4,а) для защиты уплотнительной ленты 5 от пожара стык заполняется минеральной ватой 4 со стороны возможного воздействия огня. Заготовленный стыковой элемент PROMASEAL®-PL 1 устанавливается поверх минераловатного наполнения 4. Благодаря промежуточным слоям пеноматериала стыковой элемент упруго сжимается по ширине и, разжимаясь в полости

стыка, плотно устанавливается в нем (см. рис. 4,б). В случае пожара пеноматериал сгорает, а вспучивающийся материал PROMASEAL®-PL, сильно увеличиваясь в объеме, образует огнестойкую пену, которая заполняет стык и заделывает его, предотвращая нагрев и прогорание уплотнительной ленты. Стыковой элемент PROMASEAL®-PL наклеивается клеем Promat® K84 на минераловатную полосу. Установленные в стыке элементы плотно соединяются между собой торцами. Для защиты от атмосферных воздействий используется силикон PROMASEAL®. При установке по второй схеме (см. рис. 4,б) стыковой элемент PROMASEAL®-PL может применяться также для уплотнения деформационных стыков (без уплотняющей ленты). Установка происходит, как описано выше, со стороны возможного воздействия пожара. Если воздействие пожара возможно с каждой стороны, стыковой элемент 1 следует устанавливать с обеих сторон.



Рис. 2. Конструктивное решение противопожарной заделки компании “Veda-France” (торговая марка Vedafeu)

Fig. 2. The constructive solution of the fire barrier of “Veda-France” (trademark Vedafeu)

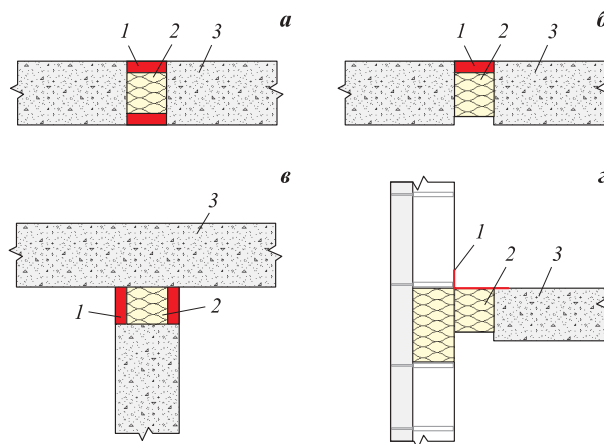


Рис. 3. Конструктивное решение противопожарной заделки компании “Hilti”: а — шов в стене; б — шов в перекрытии; в — шов примыкания стены к перекрытию; г — шов примыкания перекрытия к стене; 1 — противопожарный материал; 2 — минеральная вата; 3 — бетон

Fig. 3. The constructive solution of the fire barrier of “Hilti”: а — joint in wall; б — joint in floor slab; в — coupling joint of wall and floor slab; г — coupling joint of floor slab and wall; 1 — fire protecting material; 2 — rock wool; 3 — concrete

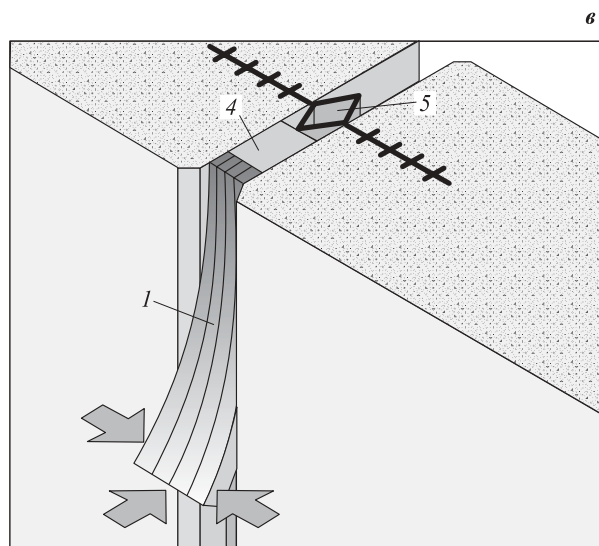
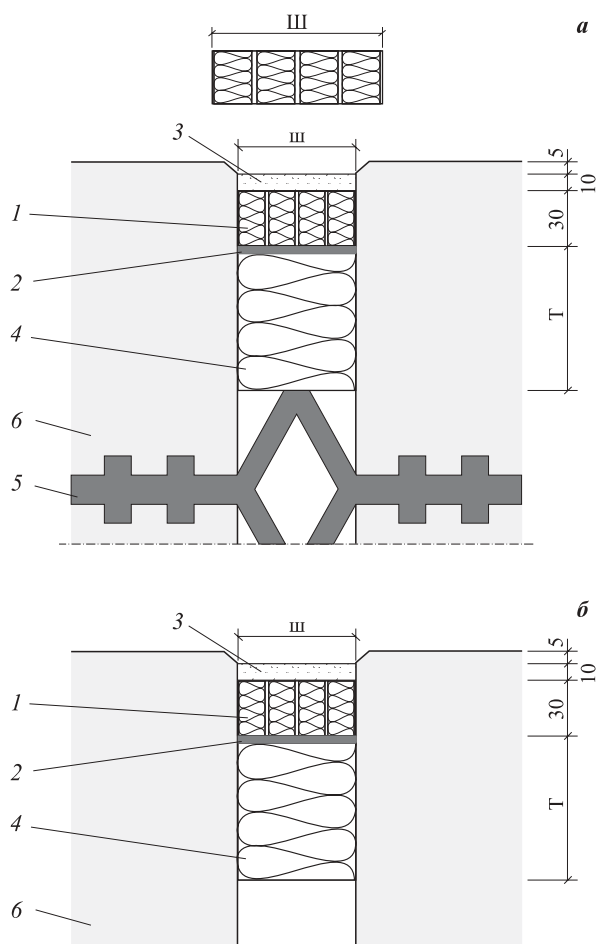


Рис. 4. Конструктивное решение противопожарной заделки компании “Promat”: *а* — деформационный стык с ПВХ-уплотнителем; *б* — без уплотнительной ленты; *в* — фрагмент заделки; 1 — стыковой элемент PROMASEAL®-PL; 2 — специальный клей Promat® K84; 3 — специальный кремний PROMASEAL®; 4 — наполнитель — минеральная вата; 5 — уплотнительная лента; 6 — бетон

Fig. 4. The constructive solution of the fire barrier of “Promat”: *a* — expansion joint with PVC-sealing; *b* — expansion joint without PVC-sealing; *в* — piece of expansion joint; 1 — coupling piece PROMASEAL®-PL; 2 — special glue Promat® K84; 3 — special silicon PROMASEAL®; 4 — rock wool; 5 — sealing cord; 6 — concrete

Рассмотрим также установку изделий для защиты деформационных швов на примере изделий производства ООО “ПРОМИЗОЛ” (рис. 5). Изделие “ПРОМИЗОЛ-Шов-Ш150/240” типа “шнур” обеспечивает огнезащиту деформационных швов шириной до 100 мм и огнестойкостью до EI 240. Для обеспечения заданной огнестойкости подобного изделия, предназначенного для огнезащиты деформационного шва, важно выполнять требования по соблюдению глубины его заделки с обогреваемой стороны. Для изделия “ПРОМИЗОЛ-Шов-Ш150/240” типа “шнур” это требование критично для заделки деформационных швов шириной 30 мм и менее. Глубина заделки в этом случае составляет не менее 50 мм.

Огнезащита деформационного шва шириной свыше 100 мм производится изделием “ПРОМИЗОЛ-Шов-П150/240” типа “подушка”, которое также предназначено для обеспечения огнестойкости конструкции до EI 240. Схематично различия между огнестойкими заделками деформационных швов типа “ПРОМИЗОЛ-Шов-Ш(П)150/240” типов “шнур” и “подушка” показаны на рис. 6 и 7.

Испытание на сейсмическое воздействие герметика “ПРОМИЗОЛ-Шов-Ш150/240” проводилось по ГОСТ 30546.1, ГОСТ 30546.2, ГОСТ 30546.3 моделированием сейсмического воздействия 9 баллов



Рис. 5. Огнестойкая заделка деформационного шва изделием “ПРОМИЗОЛ-Шов-Ш150/240-80”

Fig. 5. Filling expansion joint with firestop cover “PROMIZOL-Shov-Sh150/240-80”

по шкале MSK-64. Результатом испытаний стала разработка изделия “ПРОМИЗОЛ-Шов-Ш150/240” в сейсмическом исполнении (сертификат № РОСС RU.МО10.Н01245).

Для понимания поведения деформационного шва и его свойств при механических воздействиях в процессе эксплуатации проводились испытания образцов в натуральную величину (диаметр 80 мм, длина 1000 мм) на испытательном оборудовании при указанных технических режимах согласно ТУ

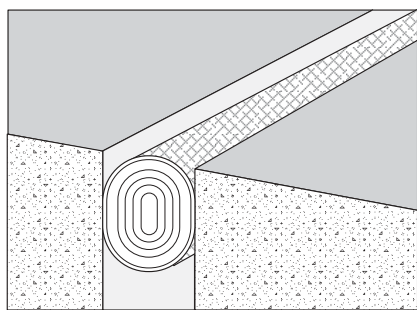


Рис. 6. Огнезащита деформационного шва шириной менее 100 мм огнестойкой заделкой “ПРОМИЗОЛ-Шов-Ш150/240” типа “шнур”

Fig. 6. Fire protection of expansion joint with width less than 100 mm by firestop cord “PROMIZOL-Shov-Sh150/240”

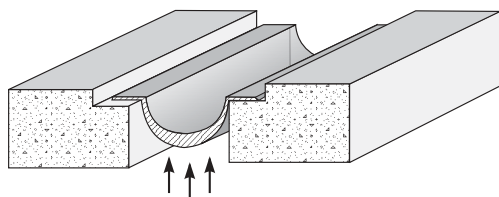


Рис. 7. Огнезащита деформационного шва шириной свыше 100 мм огнестойкой заделкой “ПРОМИЗОЛ-Шов-П150/240” типа “подушка”

Fig. 7. Fire protection of expansion joint with width more than 100 mm by firestop cushion “PROMIZOL-Shov-P150/240”

23.99.19-00–2017 “Испытания на механическую прочность противопожарного барьера для защиты деформационного шва”, разработанным ООО “ПРОМИЗОЛ”. Методика испытаний заключается в многократном изменении проектного размера имитатора деформационного шва с вмонтированным испытуемым изделием. При проведении испытаний пошагово увеличивается нагрузка в заданном направлении (сжатие, растяжение или сдвиг) до появления характерных разрушений или необратимых изменений изделия. Испытания показали, что “ПРОМИЗОЛ-Шов” имеет устойчивые деформационные характеристики (прочность на сжатие — до 60 %, растяжение — до 40 %, сдвиг — до 45 %), при которых отсутствуют механические повреждения и остаточная деформация. Получены также положительные результаты при испытании на цикличность сжатие–растяжение и на сдвиг. Данную методику механических испытаний заполнения деформационных швов можно использовать для проверки любых оболочных изделий, предназначенных для заделки деформационных швов. Для заделок, которые по принципу заполнения используют просто забивку (зачеканку) шва, нет физического смысла в проверке их деформационных свойств из-за отсутствия заданной однородности заполнения и контролируемых границ.

Огнестойкие заполнители ООО “ПРОМИЗОЛ” — одни из немногих систем, которые разрабаты-

вались специально для эксплуатации в деформационных швах. Основной задачей разработчиков являлось обеспечение нераспространения огня даже при раскрытии шва на 50 %. Например, противопожарная заделка “ПРОМИЗОЛ-Шов-Ш150/240” типа “шнур” для защиты деформационного шва шириной от 20 до 100 мм с рекомендуемым диаметром изделия от 28 до 140 мм обеспечивает предел огнестойкости EI 150–240* (см. таблицу). Особую роль для достижения заявленных деформационных и огнестойких характеристик играет предварительное сжатие изделия, которое зависит от предполагаемой ширины защищаемого деформационного шва.

При производстве противопожарной заделки “ПРОМИЗОЛ-Шов-Ш(П)150/240” используется высококачественное базальтовое сверхтонкое волокно (БСТВ), расположенное особым образом. Контроль за содержанием твердых неволоконистых включений (так называемых “корольков”) размером свыше 0,25 мм, не превышающим 10 % от общей доли заполнителя, позволяет гарантировать работу изделия длительное время, соизмеримое со сроком эксплуатации проектируемых зданий. Кроме того, в систему огнезащиты “ПРОМИЗОЛ-Шов-Ш150/240” входит специальный огнезащитный клей, расход которого зависит от диаметра шнура.

Для предотвращения проникновения огня через стыки заделки при монтаже объектов, при обработке торцов противопожарных заделок “ПРОМИЗОЛ-Шов-Ш(П)150/240” используется специальная огнезащитная сетка.

Для огнезащиты линейных швов также применяется противопожарная заделка “ПРОМИЗОЛ-Шов”. Принцип огнезащиты линейных швов аналогичен огнезащите деформационных швов, но при этом используется материал, менее критичный в плане многократного изменения линейных размеров. Типовые решения по применению противопожарной заделки “ПРОМИЗОЛ-Шов-Ш150/240” показаны на рис. 8 и 9.

Таким образом, огнестойкая заделка для деформационных швов представляет собой комплекс материалов и мероприятий, которые препятствуют проникновению открытого огня, лучистой энергии и продуктов горения через деформационные швы и включают в себя:

* Испытания на предел огнестойкости (EI) проводились по ГОСТ 30247.1 как на огнестойкость ограждающей конструкции, в которой был предусмотрен на всю длину печи шов проектной ширины, в который согласно регламенту по производству работ предварительно было вмонтировано изделие “ПРОМИЗОЛ-Шов-Ш150/240”. Испытания показали, что пределы огнестойкости (EI) противопожарной заделки “ПРОМИЗОЛ-Шов-П150/240” типа “подушка” при ширине деформационного шва от 150 до 400 мм с рекомендуемым размером противопожарной заделки от 220 до 570 мм составляет от 150 до 240 мин.

Основные эксплуатационные характеристики “ПРОМИЗОЛ-Шов-Ш150/240”

Main performance characteristics “PROMIZOL-Shov-Sh150/240”

№ п/п No.	Параметр Parameter	Значение параметра Parameter value
1	Плотность основного используемого материала, кг/м ³ / Density of the main material used, kg/m ³	75
2	Теплопроводность при температуре (20±5) °С, Вт/(м·К), не более / Thermal conductivity at a temperature of (20±5) °C, W/(m·K), not more than	0,04
3	Водопоглощение за 24 ч, % об., не более / Water absorption for 24 hours, % by vol., not more than	2
4	Стойкость к появлению плесени и грибков / Resistant to mold and fungi	Да / Yes
5	Влажность, % масс., не более / Humidity, % by mass, no more than	0,5
6	Сейсмостойчивость / Seismic stability	Да / Yes
7	Виброустойчивость / Vibration resistance	Да / Yes
8	Упругость, % / Elasticity, %	75,50
9	Стойкость к большинству химических агрессивных веществ / Resistance to most chemicals aggressive substances	Да / Yes
10	Минимальный срок эксплуатации, лет / Minimum service life, years	30–40
11	Ремонтопригодность / Repairability	Да / Yes

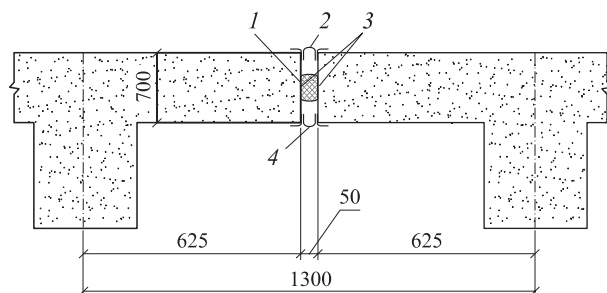


Рис. 8. Устройство примыкания перегородок к плите перекрытия шириной 50 мм с пределом огнестойкости EI 240: 1 — противопожарный барьер “ПРОМИЗОЛ-Шов-Ш150/240-80”; 2, 4 — нащельник деформационного шва (по согласованию с заказчиком); 3 — клеевая основа “ПРОМИЗОЛ-К”

Fig. 8. The structure of adjoining partitions to a plate of overlapping width of 50 mm with of fire resistance EI 240: 1 — fire-stop cover “PROMIZOL-Shov-Sh150/240-80”; 2, 4 — molding for expansion joint; 3 — glue base “PROMIZOL-K”

1) огнестойкую заделку, которая представляет собой не только негорючий материал, но и технологически сложную конструкцию, работающую в условиях циклической деформации;

2) материал для фиксации заделки к смежным строительным конструкциям, включающий в себя клеевые составы и монтажные наборы (перфорированные ленты и крепеж);

3) материалы для огнезащиты стыков самих заделок (как правило, для типового строительства выпускаются заделки определенной длины, обычно 2,0 м; для обеспечения огнестойкости стыков дополнительно прикладывается материал);

4) технологию монтажа;

5) проведение механических испытаний, подтверждающих возможность сохранения свойств заделки в процессе эксплуатации, в том числе при по-

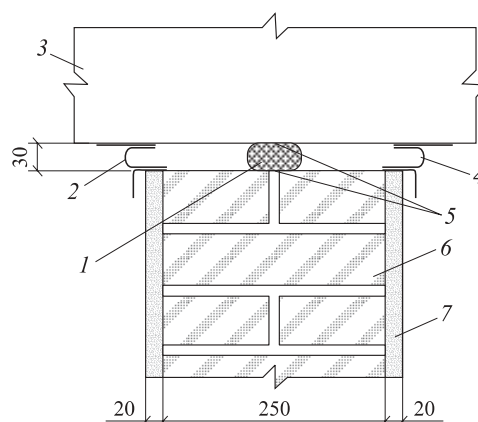


Рис. 9. Устройство деформационного шва шириной 30 мм с пределом огнестойкости EI 240: 1 — железобетонная плита перекрытия; 2, 4 — нащельник деформационного шва (по согласованию с заказчиком); 3 — противопожарный барьер “ПРОМИЗОЛ-Шов-Ш150/240-50”; 5 — клеевая основа “ПРОМИЗОЛ-К”; 6 — кирпичная кладка; 7 — отделка

Fig. 9. The structure of an expansion joint in width of 30 mm with limit of fire resistance EI 240: 1 — reinforced concrete floor slab; 2, 4 — molding for expansion joint; 3 — firestop cover “PROMIZOL-Shov-Sh150/240-50”; 5 — glue base “PROMIZOL-K”; 6 — brickwork; 7 — facing

следующем проведении огневых испытаний (после механических).

Закключение

Для защиты деформационных швов при пожаре используются огнестойкие заделки, специально разработанные для применения в деформационных швах, гарантированно работающие при циклических деформациях сжатия, растяжения и сдвига шва. Это их основное отличие от огнестойких заделок для конструктивных (линейных) швов.

Применение заделок позволяет заметно сократить трудозатраты при монтаже узла заполнения деформационного шва, уменьшить зависимость процесса монтажа узла заполнения деформационного шва от человеческого фактора, решить любую задачу по огнезащите швов и примыканий.

На основании исследования технологий огнезащиты деформационных швов (ГОСТ Р 54257–2010, [18–32] авторами определены основные требования к деформационным (механическим) и огнезащитным свойствам конструкций (изделий), предназначенных для огнезащиты деформационного шва и обеспечивающих комплексные эксплуатационные характеристики.

Конструкции (изделия), предназначенные для огнезащиты деформационного шва, должны обеспечивать:

- стабильную собственную механическую прочность на растяжение не менее 40 %; после испытания конструкция (изделие) не должна иметь механических повреждений и деформации наполнителя;
- стабильную собственную механическую прочность на сжатие не менее 50 %; после испытания конструкция (изделие) не должна иметь механических повреждений и деформации наполнителя;
- стабильную деформационную (механическую) прочность на сдвиг не менее 20 %; после испытания конструкция (изделие) не должна иметь механических повреждений и деформации наполнителя;
- сохранение упругих свойств при заявленном изготовителем максимальном воздействии на изделие при растяжении – сжатии – сдвиге не менее 100 циклов; после испытания конструкция (изделие) не должна иметь механических повреждений и деформации наполнителя;
- заявленную изготовителем огнестойкость изделия (EI), испытанную не менее чем при 20 %-ном расширении и сдвиге от проектной ширины деформационного шва, в том числе после проведения механических испытаний.

Перечисленные параметры рекомендуется представлять в технической документации изготовителя

конструкции (изделия) огнестойкой заделки для деформационного шва. Все конструкции (изделия), параметры которых не соответствуют требованиям, обозначенным выше, следует относить к изделиям для защиты недеформационных швов.

При применении других наполнителей для огнестойкого заполнения шва рекомендуется соблюдать вышеуказанные требования, используя материал, обеспечивающий деформационные характеристики как при сжатии шва, так и при его растяжении и сдвиге в течение всего срока предполагаемой эксплуатации здания. Особое внимание следует уделять технологии сопряжения конструкций (изделий) при монтаже огнестойкого заполнения в деформационные швы по всей длине, гарантированно не допускающей появления технологических зазоров и пустот.

В условиях открытой экономики и либерализации внешней торговли иностранная конкуренция играет роль фактора, стимулирующего создание более совершенных методов по защите зданий и сооружений от пожара. На текущий момент на рынке строительных материалов России представлено крайне мало отечественных производителей, большинство огнезащитных заполнений (заделок) европейского производства.

В настоящее время российские потребители огнезащитной продукции все больше внимания начинают уделять ее качеству, а не цене, что стимулирует отечественных производителей огнезащиты заниматься новыми разработками.

На основании вышесказанного предлагается разработать национальный стандарт “Конструкции строительные. Огнезащитное заполнение деформационных швов зданий и сооружений. Методы испытаний”, который бы конкретизировал особенности испытаний огнестойких заполнений деформационных швов на предел огнестойкости и дал возможность отказаться от испытаний подобных изделий по ГОСТ 30247.1, который не в полной мере отвечает требованиям к огнестойким заделкам деформационных швов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сведения о пожарах и их последствиях за 2016 год. URL: http://www.mchs.gov.ru/activities/stats/Pozhari/2016_god (дата обращения: 20.12.2017).
2. *Осипов И. А., Зыбина О. А.* Повышение предела огнестойкости деформационных швов строительных конструкций с помощью интумесцентной герметизирующей композиции // Инженерно-строительный журнал. — 2014. — № 8(52). — С. 20–24.
3. *Голева Е. В., Стариков А. В.* Современные инженерные решения, повышающие пожарную безопасность многоквартирных жилых зданий // Актуальные проблемы социально-гуманитарного и научно-технического знания. — 2016. — № 1(6). — С. 1–4.
4. *Qianli Ma, Wei Guo.* Discussion on the fire safety design of a high-rise building // Procedia Engineering. — 2012. — Vol. 45. — P. 685–689. DOI: 10.1016/j.proeng.2012.08.223.

5. *Волдржих Ф.* Деформационные швы в конструкциях наземных зданий / Пер. с чеш. — М. : Стройиздат, 1978. — 224 с.
6. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон РФ от 22.07.2008 № 123-ФЗ (ред. от 29.07.2017). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения: 15.12.2017).
7. *Маковей В. А.* Подтверждение соответствия продукции, применяемой для защиты зданий и сооружений, требованиям пожарной безопасности // Чрезвычайные ситуации: промышленная и экологическая безопасность. — 2016. — № 1(25). — С. 15–25.
8. *Маковей В. А.* Требования к контролю качества огнезащиты материалов, изделий и конструкций // Чрезвычайные ситуации: промышленная и экологическая безопасность. — 2015. — № 4(24). — С. 18–28.
9. *Ермина Т. Ю., Гравит М. В., Дмитриева Ю. Н.* Конструктивные средства огнезащиты. Анализ европейских нормативных документов // Архитектура и строительство России. — 2012. — № 9. — С. 30–36.
10. *Казакова В. А., Терещенко А. Г., Недвига Е. С.* Пожарная безопасность высотных многофункциональных зданий // Строительство уникальных зданий и сооружений. — 2014. — № 3(18). — С. 38–56.
11. СП 2.13130.2012. Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты (с изм. 1). URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200096437> (дата обращения: 20.12.2017).
12. *Takabatake H., Yasui M., Nakagawa Y., Kishida A.* Relaxation method for pounding action between adjacent buildings at expansion joint // Earthquake Engineering & Structural. — 2014. — Vol. 43, Issue 9. — P. 1381–1400. DOI: 10.1002/eqe.2402.
13. *Орлович Р. Б., Зимин С. С., Рубцов Н. М.* О расположении вертикальных деформационных швов в каменной облицовке наружных стен каркасно-монолитных зданий // Строительство и реконструкция. — 2014. — № 3(53). — С. 15–20.
14. *Ильин Н. А., Битюцкий А. И., Шепелев А. П., Фролова Е. И., Эсмонт С. В.* К оценке огнестойкости каменных стен и перегородок зданий // Градостроительство и архитектура. — 2012. — № 4(8). — С. 92–100.
15. *Кирюханцев Е. Е., Иванов В. Н.* Проблемы пожарной безопасности высотных зданий и пути их решения // Технологии техносферной безопасности. — 2013. — № 4(50). — 5 с.
16. *Кривцов Ю. В., Пронин Д. Г.* Огнестойкость зданий и сооружений: нормативные требования и расчетные обоснования // Вестник НИЦ Строительство. — 2014. — № 11. — С. 55–66.
17. *Ильин Н. А.* Определение огнестойкости строительных конструкций зданий и сооружений // Современные наукоемкие технологии. — 2009. — № 1. — С. 14–16.
18. *Гордеев Н. А., Годунова Г. Н.* Обеспечение огнестойкости проемов для прокладки кабельных изделий в противопожарных преградах при использовании терморасширяющейся противопожарной пены и огнестойкой монтажной пены // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2017. — Т. 26, № 4. — С. 37–40. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.04.37-40.
19. *Голиков А. Д., Черкасов Е. Ю., Григорьев Д. М.* Прогнозирование предела огнестойкости стен зданий с температурными швами, заполненными огнестойкой пеной // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2013. — Т. 22, № 8. — С. 48–52.
20. *Плетнёв В. И., Нгуен С. Т.* Экспериментальное исследование деформационных швов различной ширины в перемышках зданий сложной макроструктуры // Вестник гражданских инженеров. — 2011. — № 1(26). — С. 55–57.
21. *Saknite T., Serdjuks D., Goremikins V., Pakrastins L., Vatin N. I.* Fire design of arch-type timber roof // Magazine of Civil Engineering. — 2016. — Vol. 64, No. 4. — P. 26–39. DOI: 10.5862/mce.64.3.
22. *Xiao Youyou, Zheng Yuying, Wang Xie, Chen Zhijie, Xu Zhe.* Preparation of a chitosan-based flame-retardant synergist and its application in flame-retardant polypropylene // Journal of Applied Polymer Science. — 2014. — Vol. 131, No. 19. — Art. 40845. DOI: 10.1002/app.40845.
23. *McHugh B.* Filling the voids in firestopping — Promoting responsible firestop practices // The Construction Specifier. — 2003. — Vol. 56(7). — P. 64–71.
24. *Lee Y. W., Kim G. Y., Gucunski N., Choe G. C., Yoon M. H.* Thermal strain behavior and strength degradation of ultra-high-strength-concrete // Materials and Structures. — 2016. — Vol. 49, Issue 8. — P. 3411–3421. DOI: 10.1617/s11527-015-0728-x.
25. *Lazarevska M., Cvetkovska M., Knežević M., Gavriloska A. T., Milanovic M., Murgul V., Vatin N.* Neural network prognostic model for predicting the fire resistance of eccentrically loaded RC columns // Applied Mechanics and Materials. — 2014. — Vol. 627. — P. 276–282. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amm.627.276.

26. *Kostić R., Vatin N., Murgul V.* Fire safeguards of “Plastbau” construction // *Applied Mechanics and Materials*. — 2015. — Vol. 725-726. — P. 138–145. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amm.725-726.138.
27. *Chaimahawan P., Pimanmas A.* Seismic retrofit of substandard beam-column joint by planar joint expansion // *Materials and Structures*. — 2009. — Vol. 42, Issue 4. — P. 443–459. DOI: 10.1617/s11527-008-9393-7.
28. *Franco A., Royer-Carfagni G.* Contact stresses in adhesive joints due to differential thermal expansion with the adherends // *International Journal of Solids and Structures*. — 2016. — Vol. 87. — P. 26–38. DOI: 10.1016/j.ijsolstr.2016.02.036.
29. *Zdanowicz Ł., Kisiel P., Kwiecień A.* Stress redistribution in concrete floor on ground due to application of polymer flexible joint to fill expansion joint // *Procedia Engineering*. — 2015. — Vol. 108. — P. 467–474. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.06.172.
30. СП 13.13130.2009. Атомные станции. Требования пожарной безопасности (с изм. 1). URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200075283> (дата обращения: 15.12.2017).
31. СП 20.13330.2011. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07–85*. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200084848> (дата обращения: 15.12.2017).
32. СП 70.13330.2012. Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01–87 (с изм. 1). URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200097510> (дата обращения: 15.12.2017).

Материал поступил в редакцию 26 декабря 2017 г.

Для цитирования: Прусаков В. А., Гравит М. В., Тимофеев Н. С., Симоненко Я. Б., Гуторов К. В., Шевченко А. М. К. С. Огнезащита деформационных и линейных швов зданий и сооружений // *Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety*. — 2018. — Т. 27, № 2–3. — С. 45–56. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.02-03.45-56.

English

FIRE RETARDANT COATING FOR EXPANSION AND LINEAR JOINTS IN BUILDINGS

PRUSAKOV V. A., General Director of ООО “PROMIZOL” (Pitsefabrika, 2C, office 215, Tomilino, Lyubertsy District, Moscow Region, 140073, Russian Federation; e-mail: info@tdpromizol.com)

GRAVIT M. V., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Construction of Unique Buildings and Structures, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (Politeknicheskaya St., 29, Saint Petersburg, 195251, Russian Federation; e-mail: marina.gravit@mail.ru)

TIMOFFEV N. S., ООО “PROMIZOL” (Pitsefabrika, 2C, office 215, Tomilino, Lyubertsy District, Moscow Region, 140073, Russian Federation; e-mail: info@tdpromizol.com)

SIMONENKO Ya. B., Student, Civil Engineering Institute, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (Politeknicheskaya St., 29, Saint Petersburg, 195251, Russian Federation; e-mail: YannaSimnna98@mail.ru)

GUTOROV K. V., Student, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (Politeknicheskaya St., 29, Saint Petersburg, 195251, Russian Federation; e-mail: minedrot@gmail.com)

SHEVCHENKO A. M. K. S., Student, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (Politeknicheskaya St., 29, Saint Petersburg, 195251, Russian Federation; e-mail: shevchenko.a79215529163@yandex.ru)

ABSTRACT

Buildings and structures of complex architectural forms and large extent are subject to deformations under the influence of fluctuations in the temperature of the outside air, uneven sedimentation of the soil base, seismic phenomena and other causes. To prevent cracks in bearing and fencing structures, expansion joints are provided that cut the building into compartments. Proper design, construction and execution of expansion joints are of great importance in construction, as they provide the opportunity to provide long service life and fire resistance of the main load-bearing and enclosing structures of buildings, internal and external finishes.

Normative requirements for the device and technical parameters of fire protection of expansion joints do not currently exist, and since the expansion joints are elements of load-bearing and enclosing structures, their fire resistance is determined in conjunction with the rest of the elements of fire protection barriers, use and application is regulated by the norms of Russian federal legislation.

To increase the overall fire resistance of the construction, special fire barriers are used, which are installed inside the expansion joints. The article gives an overview of the fire barriers of expansion joints of both foreign and domestic producers. It is shown that for the protection of expansion joints in a fire, fire barriers are used, specially designed for use in expansion joints, which are guaranteed to work with compression, stretching and shear. It has been established that the production of innovative fire-retardant materials is one of the main tasks of fire safety, this is also the way of the consistent transformation of the idea into a product that passes through the stages of research, design development, production and realization in civil and industrial buildings. It is necessary to choose a comprehensive solution that ensures the maximum satisfaction of the requirements when performing fire protection work to protect the expansion joint when exposed to a fire.

The authors declare that the structures (products) intended for fire protection of the expansion joint should provide a stable own mechanical tensile strength of at least 40 %; at least 50 % compression; for a shift of not less than 20 %, the retention of elastic properties at the manufacturer's declared maximum tensile-compressive stress per product of not less than 100 cycles. After the test, the structures (articles) should not have mechanical damages and deformation of the filler, as well as the manufacturer's declared fire resistance tested with at least 20 % expansion from the design width of the expansion joint.

The listed parameters are recommended to be presented in the technical documentation of the manufacturer of the construction (product) of fireproof filling for the expansion joint. All designs (products), whose parameters do not meet the requirements indicated above, should be attributed to the products to protect the other types of joints.

When using other fillers for the fire barrier, it is recommended that the above requirements be met using material that provides deformation characteristics, both in the compression of the joint and during its stretching, and in the shear, during the entire period of the intended use. Particular attention should be paid to the technology of interfacing the structures (products) of fire barriers when they are installed in expansion joints along the entire length, which is guaranteed to prevent the appearance of technological gaps and voids. Proceeding from the experience of operating such sealing products, it is extremely important that the design of the fire-resistant seal allows during operation to observe the possible formation of gaps between the protected surface of the structure and the deformation body of the billet.

Keywords: buildings; constructions; building construction; tensions; fire safety; expansion joints; linear joints; fire protection.

REFERENCES

1. *Information on fires and their consequences for 2016* (in Russian). Available at: http://www.mchs.gov.ru/activities/stats/Pozhari/2016_god (Accessed 20 December 2017).
2. Osipov I. A., Zybina O. A. Increase in fire resistance of building expansion joints via intumescent sealant composition. *Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal / Magazine of Civil Engineering*, 2014, no. 8(52), pp. 20–24 (in Russian).
3. Goleva E. V., Starikov A. V. Modern engineering solutions that increase the fire safety of multi-storey residential buildings. *Aktualnyye problemy sotsialno-gumanitarnogo i nauchno-tekhnicheskogo znaniya / Actual Problems of Socio-Humanitarian and Scientific-Technical Knowledge*, 2016, no. 1(6), pp. 1–4 (in Russian).
4. Qianli Ma, Wei Guo. Discussion on the fire safety design of a high-rise building. *Procedia Engineering*, 2012, vol. 45, pp. 685–689. DOI: 10.1016/j.proeng.2012.08.223.
5. Voldřich F. *Dilatační spáry v pozemních stavbách*. Praha, SNTL, 1976 (in Czech). (Russ. ed.: Voldrzhikh F. *Deformatsionnyye shvy v konstruktsiyakh nazemnykh zdaniy*. Moscow, Stroyizdat Publ., 1978. 224 p.).
6. *Technical regulations for fire safety requirements*. Federal Law on 22.07.2008 No. 123 (ed. 29.07.2017) (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (Accessed 15 December 2017).
7. Makovey V. A. Confirmation of conformity of products used for the protection of buildings and structures, on fire safety requirements. *Chrezvychaynyye situatsii: promyshlennaya i ekologicheskaya bezopasnost / Emergencies: Industrial and Environmental Safety*, 2016, no. 1(25), pp. 15–25 (in Russian).

8. Makovey V. A. Requirements for quality control of fire protection of materials, products and structures. *Chrezvychaynyye situatsii: promyshlennaya i ekologicheskaya bezopasnost' / Emergencies: Industrial and Environmental Safety*, 2015, no. 4(24), pp. 18–28 (in Russian).
9. Eremina T. Yu., Gravit M. V., Dmitrieva Yu. N. Constructive means of fire protection of building structures. Analysis of the European regulations. *Arkhitektura i stroitelstvo Rossii / Architecture and Construction of Russia*, 2012, no. 9, pp. 30–36 (in Russian).
10. Kazakova V. A., Tereshchenko A. G., Nedviga E. S. 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).
11. Set of rules 2.13130.2012. *Systems of fire protection. Fire-resistance security of protecting units* (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200096437> (Accessed 20 December 2017)
12. Takabatake H., Yasui M., Nakagawa Y., Kishida A. Relaxation method for pounding action between adjacent buildings at expansion joint. *Earthquake Engineering & Structural*, 2014, vol. 43, issue 9, pp. 1381–1400. DOI: 10.1002/eqe.2402.
13. Orlovich R. B., Zimin S. S., Rubcov N. M. Location vertical extension joints in stone facing of external multi-layer walls of frame-monolithic multi-storey building. *Stroitelstvo i rekonstruktsiya / Construction and Reconstruction*, 2014, no. 3(53), pp. 15–20 (in Russian).
14. Ilin N. A., Bityutskiy A. I., Shepelev A. P., Frolova E. I., Esmont S. V. Assessment of fire resistance of masonry walls and partitions of buildings. *Gradostroitelstvo i arkhitektura / Urban Construction and Architecture*, 2012, no. 4(8), pp. 92–100 (in Russian).
15. Kirukhancev E. E., Ivanov V. N. The problems of high-rise buildings fire safety and the ways of their solving. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti / Technology of Technosphere Safety*, 2013, no. 4(50). 5 p. (in Russian).
16. Krivosov Yu. V., Pronin D. G. Fire resistance of buildings and structures: regulation requirements and calculation justifications. *Vestnik NITs Stroitelstvo / Herald Research Center of Construction*, 2014, no. 11, pp. 55–66 (in Russian).
17. Ilin N. A. Determination of fire resistance of building structures of buildings and structures. *Sovremennyye naukoemykiye tekhnologii / Modern High Technologies*, 2009, no. 1, pp. 14–16 (in Russian).
18. Gordeev N. A., Godunova G. N. Fire resistance ensuring of structural openings for cablings in fire stop barriers whith using of the thermoexpansion fire-resistant foam and fire-resistant polyurethane foam. *Pozharovzryvbezopasnost' / Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 4, pp. 37–40 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.04.37-40.
19. Golikov A. D., Cherkasov E. Yu., Grigoriev D. M. Forecasting limit of fire resistance of walls of buildings with expansion joints filled with fire-resistant foam. *Pozharovzryvbezopasnost' / Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 8, pp. 48–52 (in Russian).
20. Pletnov V. I., Nguyen Cao Trung. Experimental research of deformation seams of various width in the bridges of buildings of complicated macrostructure. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov / Bulletin of Civil Engineers*, 2011, no. 1(26), pp. 55–57 (in Russian).
21. Saknite T., Serdjus D., Goremikins V., Pakrastins L., Vatin N. I. Fire design of arch-type timber roof. *Magazine of Civil Engineering*, 2016, vol. 64, no. 4, pp. 26–39. DOI: 10.5862/mce.64.3.
22. Xiao Youyou, Zheng Yuying, Wang Xie, Chen Zhijie, Xu Zhe. Preparation of a chitosan-based flame-retardant synergist and its application in flame-retardant polypropylene. *Journal of Applied Polymer Science*, 2014, vol. 131, no. 19, art. 40845. DOI: 10.1002/app.40845.
23. McHugh B. Filling the voids in firestopping — Promoting responsible firestop practices. *The Construction Specifier*, 2003, vol. 56(7), pp. 64–71.
24. Lee Y. W., Kim G. Y., Gucunski N., Choe G. C., Yoon M. H. Thermal strain behavior and strength degradation of ultra-high-strength-concrete. *Materials and Structures*, 2016, vol. 49, issue 8, pp. 3411–3421. DOI: 10.1617/s11527-015-0728-x.
25. Lazarevska M., Cvetkovska M., Knežević M., Gavriloska A. T., Milanovic M., Murgul V., Vatin N. Neural network prognostic model for predicting the fire resistance of eccentrically loaded RC columns. *Applied Mechanics and Materials*, 2014, vol. 627, pp. 276–282. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amm.627.276.
26. Kostić R., Vatin N., Murgul V. Fire safeguards of “Plastbau” construction. *Applied Mechanics and Materials*, 2015, vol. 725-726, pp. 138–145. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amm.725-726.138.
27. Chaimahawan P., Pimanmas A. Seismic retrofit of substandard beam-column joint by planar joint expansion. *Materials and Structures*, 2009, vol. 42, issue 4, pp. 443–459. DOI: 10.1617/s11527-008-9393-7.
28. Franco A., Royer-Carfagni G. Contact stresses in adhesive joints due to differential thermal expansion with the adherends. *International Journal of Solids and Structures*, 2016, vol. 87, pp. 26–38. DOI: 10.1016/j.ijsolstr.2016.02.036.

29. Zdanowicz Ł., Kisiel P., Kwiecień A. Stress redistribution in concrete floor on ground due to application of polymer flexible joint to fill expansion joint. *Procedia Engineering*, 2015, vol. 108, p. 467–474. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.06.172.
30. Set of rules 13.13130.2009. *Nuclear power plants. Fire safety requirements* (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200075283> (Accessed 15 December 2017).
31. Set of rules 20.13330.2011. *Loads and actions*. The updated edition of Construction Norms and Regulations 2.01.07–85* (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200084848> (Accessed 15 December 2017).
32. Set of rules 70.13330.2012. *Load-bearing and separating constructions*. The updated edition of Construction Norms and Regulations 3.03.01–87 (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200097510> (Accessed 15 December 2017).

For citation: Prusakov V. A., Gravit M. V., Timofeev N. S., Simonenko Ya. B., Gutorov K. V., Shevchenko A. M. K. S. Fire retardant coating for expansion and linear joints in buildings. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 2-3, pp. 45–56 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.02-03.45-56.



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

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

В. Е. ФАДЕЕВ, адъюнкт, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: fadeev-nto@yandex.ru)

УДК 614.841.332;699.812

К ОЦЕНКЕ ВОЗМОЖНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ЭКРАННЫХ СТЕН НА ОБЪЕКТАХ С МАССОВЫМ ПРЕБЫВАНИЕМ ЛЮДЕЙ

Рассмотрен новый тип противопожарных преград — экранные стены, которые предназначены для предотвращения распространения пожара, а также для обеспечения безопасной эвакуации людей. Осуществлены выбор методов испытаний и экспериментальное определение предполагаемых элементов и материалов. Предложена конструктивная схема экранных стен. Показано, что такие конструкции могут быть использованы в качестве оптимального решения для повышения уровня обеспечения пожарной безопасности для объектов различных классов функциональной пожарной опасности, в том числе с массовым пребыванием людей.

Ключевые слова: противопожарные преграды; экранные стены; испытания на огнестойкость; гармонизация; расширенное применение; пожарная безопасность.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.02-03.57-66

Введение

Гармонизация российских нормативных документов по пожарной безопасности с европейскими и международными стандартами является приоритетным направлением в сфере совершенствования технического регулирования и развития национальной системы стандартизации в области пожарной безопасности в Российской Федерации [1].

Актуальность задачи гармонизации обусловлена необходимостью обеспечения соответствия отечественной продукции международным требованиям и повышения ее конкурентоспособности, устранения технических барьеров в международной торговле, создания благоприятного инвестиционного климата, использования зарубежных научно-технических достижений в целях повышения уровня пожарной безопасности в Российской Федерации [2].

В рамках этого направления в нашей стране проводится значительная работа по реализации и внедрению в действующие нормативные правовые акты и нормативные документы по пожарной безопасности инновационных и иных технических решений, соответствующих актуальным достижениям науки и техники [3–5].

Так, в настоящее время Федеральным законом от 29.07.2017 г. № 244-ФЗ внесены отдельные изменения в Технический регламент о требованиях пожарной безопасности, позволяющие реализовать возможность выбора оптимальных, максимально обоснованных вариантов противопожарной защиты.

В частности, данным законом предложен новый тип противопожарных преград — экранные стены. Несмотря на то что аналогичные конструкции применяются во многих развитых странах, на территории Российской Федерации экранные стены являются инновационным техническим решением, которое ранее никогда не применялось.

За рубежом требования к аналогичным конструкциям установлены следующими стандартами [6, 7]:

- BS EN 1364–4:2014 “Fire resistance tests for non-loadbearing elements. Part 4: Curtain walling — Part configuration”;
- BS EN 1364–3:2014 “Fire resistance tests for non-loadbearing elements. Part 3: Curtain walling — Full configuration (complete assembly)”;
- BS EN 15254–6:2014 “Extended application of results from fire resistance tests — Non-loadbearing walls. Part 6: Curtain walling” и др.

Основной целью настоящей работы является экспериментальное определение допустимости применения существующих материалов и разработка конструктивной схемы экранных стен, предназначенных для предотвращения распространения пожара на объектах с массовым пребыванием людей, в том числе на объектах транспортной инфраструктуры. Применение таких конструкций позволит значительно оптимизировать финансовые затраты на строительство подобных объектов защиты, а также значительно расширит область применения возможных принимаемых проектных решений (увеличение

площадей пожарных отсеков, устройство оптимальных путей эвакуации, ограничение распространения пожаров от наиболее пожароопасных помещений и т. п.) [7–11].

В рамках реализации обозначенных целей первоочередным видится решение следующих практических задач:

- подбор допустимых методов испытаний, подтверждающих требуемую область применения экранных стен и фактические пожарно-технические характеристики конструкций и материалов заполнения;
- экспериментальное определение элементов и материалов, обеспечивающих требуемые пожарно-технические характеристики и пригодных по своим свойствам для применения в экранных стенах;
- выбор конструктивной схемы экранных стен, а также экспериментальное подтверждение возможности обеспечения предложенной конструкцией требуемых пределов огнестойкости.

Для решения обозначенных задач проведен ряд экспериментальных исследований, направленных на оценку пригодности предложенных материалов для применения в экранных стенах. Данные исследования основывались на определении критериев влияния теплового излучения при пожаре на материалы заполнения предлагаемых экранных стен.

Материалы и методы исследования

В качестве материалов для исследования были выбраны решения, аналогичные ранее апробированным при испытании противопожарных дверей, которые подтвердили их высокую эффективность и практическую значимость (материалы ФГБУ ВНИИПО МЧС России по испытаниям на огнестойкость противопожарных дверей, изготовленных в соответствии с ТУ 5262-001-11384469–2015 и ТУ 5284-001-47935838–2003) [12].

В качестве такого материала предлагается многослойная конструкция — “пирог”, состоящий из двух слоев фольгированного базальтового волокна МБОР-5Ф, склеенных между собой (нефольгированными сторонами) огнезащитным составом ОВФ-1М (ТУ 1523-025-47935838–2003 с изм. 1).

Указанный огнезащитный состав представляет собой мастику серого цвета с плотностью 1,3–1,9 г/мл. При действии высоких температур на поверхность, на которую нанесен такой состав, покрытие вспучивается, образуя теплоизолирующую пену. Нанесенный состав позволяет увеличить предел огнестойкости конструкции до 2,5 ч.

Фольгированное базальтовое волокно МБОР-5Ф представляет собой тепловой изолятор, который создает двойной уровень защиты, с одной стороны,

препятствуя потере тепла, а с другой — способствуя отражению тепловой энергии.

В качестве методов исследования для определения пожарно-технических характеристик предложенного материала рассмотрена возможность применения апробированных методов определения теплового излучения падающего теплового потока [11–14], а также метода испытаний на огнестойкость в соответствии с ГОСТ 30247.1–94 [14–16].

Теоретические основы влияния падающего теплового потока

В соответствии с теорией процессов горения падающий на образец тепловой поток частично отражается, частично поглощается и частично пропускается (рис. 1).

Если указанные тепловые потоки отнести к падающему тепловому потоку, то уравнение сохранения энергии записывается формулой

$$q_{\text{п}} = q_R + q_A + q_D,$$

где $q_{\text{п}}$ — падающий тепловой поток, Вт/м²;

q_R — отраженный тепловой поток, Вт/м²;

q_A — поглощенный тепловой поток, Вт/м²;

q_D — пропущенный сквозь тело тепловой поток, Вт/м².

Чтобы определить, какая доля падающего теплового потока отражается, поглощается или проходит сквозь образец, формула представляется в безразмерном виде (каждый ее член делится на падающий тепловой поток):

$$1 = R + A + D,$$

где R , A , D — коэффициент отражательной, поглощательной и пропускающей способности тела соответственно.

Результаты и их обсуждение

Экспериментальное определение коэффициентов

Для определения коэффициентов отражательной, поглощательной и пропускающей способности об-

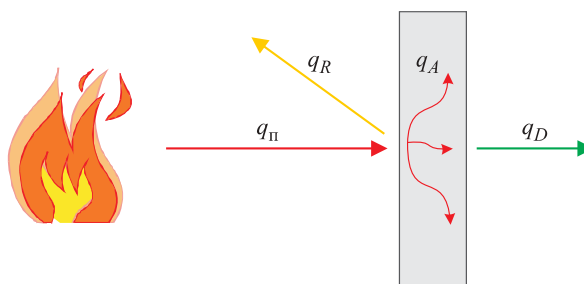


Рис. 1. Схема взаимодействия падающего теплового потока с образцом

Fig. 1. Scheme of interaction of the incident heat flux with the sample

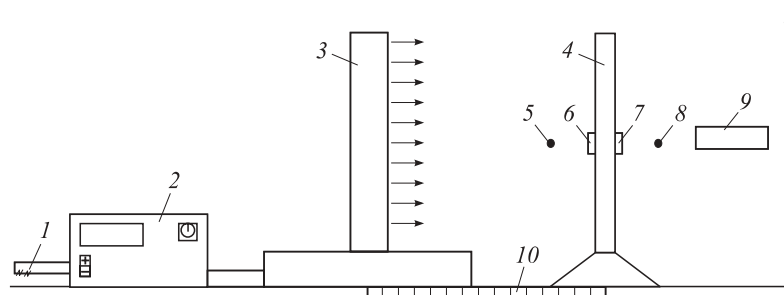


Рис. 2. Схема (а) и внешний вид (б) стенда для определения коэффициентов отражательной, поглощательной и пропускающей способности: 1 — источник питания электроэнергией; 2 — блок управления; 3 — радиационная панель; 4 — образец материала; 5 — термопара 1; 6 — термопара 2; 7 — термопара 3; 8 — термопара 4; 9 — приемник теплового потока; 10 — линейка для определения расстояния от панели до образца

Fig. 2. Scheme (a) and appearance (b) of test bench for determination of the coefficients of reflective, absorptive and transmissive capacity: 1 — power supply; 2 — control unit; 3 — radiation panel; 4 — material sample; 5 — thermocouple 1; 6 — thermocouple 2; 7 — thermocouple 3; 8 — thermocouple 4; 9 — heat flux receiver; 10 — ruler to determine the distance from the panel to the sample

разца проведена серия экспериментов, в ходе которых разработаны экспериментальные стенды для определения обозначенных коэффициентов [12]. Внешний вид и схема стендов представлены на рис. 2.

Данные с приемника теплового потока записывались на компьютер с помощью мультиметра UNI-T UT60A (рис. 3). Диапазон измерения напряжения — от 0,1 мВ до 1000 В. Погрешность мультиметра при измерении напряжения — 1 %.

Запись данных на компьютер с термопар осуществялась с помощью термометра многоканального ТМ 5131 (рис. 4). Диапазон измерения температуры

— от минус 50 до 2500 °С. Погрешность прибора — 0,25 %.

Измерение температуры поверхности образца проводилось с помощью хромель-алюмелевых лепестковых термопар (рис. 5). Диапазон измерения — от минус 40 до 600 °С.

Температура среды измерялась хромель-алюмелевыми корольковыми термопарами (рис. 6). Диапазон измерения — от минус 40 до 1000 °С.

Материал подвергался воздействию теплового потока в течение 45–65 мин. Фиксация температуры осуществлялась каждую секунду.



Рис. 3. Мультиметр UNI-T UT60A
Fig. 3. Multimeter UNI-T UT60A



Рис. 5. Хромель-алюмелевые лепестковые термопары
Fig. 5. Chromel-alumel petal thermocouples



Рис. 4. Термометр многоканальный ТМ 5131
Fig. 4. Thermometer multi-channel ТМ 5131



Рис. 6. Хромель-алюмелевые корольковые термопары
Fig. 6. Chromel-alumel korolkovia thermocouples

Критическая плотность падающего лучистого теплового потока для материала заполнения образца в виде панели из специального теплоизоляционного материала толщиной (15 ± 1) мм с покрытием ОВПФ-1М

Critical incident radiant heat flux density for sample filling material in the form of plate of special heat-insulating material (15 ± 1) mm thick with coating OVPF-1M

№ п/п No.	Толщина покрытия ОВПФ-1М, мм Thick of coating OVPF-1M, mm	Среднее значение $q_{кр}$, кВт/м ² , при продолжительности облучения, мин Average value of q_{cr} , kW/m ² , at duration of irradiation, min					
		5	10	15	20	25	30
1	1	4,02	4,53	4,72	6,03	8,75	10,10
2	2	3,21	3,64	3,89	4,95	7,62	8,96
3	3	2,13	2,55	2,85	3,80	6,54	7,91

Испытания проводились для 9 образцов размером 20×20 см, толщиной 1,5 см. Заполнение образца специальным теплоизоляционным материалом составляло около 85–90 %.

В таблице представлены результаты экспериментальных исследований — значения критической плотности $q_{кр}$ (кВт/м²) падающего лучистого теплового потока при различных параметрах образца в зависимости от времени воздействия на материал.

Предложенный метод определения теплового излучения направлен на оценку поведения образца при огневом воздействии (в условиях пожара) при условии максимального заполнения конструкции специальным теплоизоляционным материалом.

В результате эксперимента установлено, что при применении предлагаемого материала критические плотности падающего теплового потока в рамках проведения испытания не достигаются. Следовательно, данный материал обеспечивает требуемые пожарно-технические характеристики и может быть рекомендован для применения в составе экранных стен.

Вместе с тем для оценки поведения экранной стены в целом целесообразно разработать соответствующую конструктивную схему и оценить ее в рамках крупномасштабных испытаний.

Испытания на огнестойкость фрагмента экранной стены

Проведение испытаний экранных стен с учетом предполагаемой области их применения, а также предлагаемой конструктивной схемы предусматривается в соответствии с ГОСТ 30247.1–94.

Для реализации обозначенной задачи по определению предельного состояния предлагаемой экранной стены по признаку потери теплоизолирующей способности подготовлен опытный образец размером в плане 2000×2000 мм, представляющий собой многослойную конструкцию, состоящую из каркаса и теплоизолирующей обшивки. Для заполнения указанной обшивки применены материалы, положительно зарекомендовавшие себя в рамках предва-

рительно проведенных испытаний по определению критической плотности теплового потока.

Размеры каждого из составляющих элементов образца — $100 \times 100 \times (2 \div 3)$ см, масса одного образца — 8,5–9,3 кг.

Собственно одинарный стальной тонкостенный каркас из оцинкованных профилей КНАУФ (ТУ 1121-012-04001508–2011) изготовлен из стоечных профилей ПС 75/50 и направляющих профилей ПН 75/40. Толщина стенок профилей всех типов составляет 0,6 мм. Стоечные профили установлены с шагом 500 мм в направляющие профили и скреплены с помощью самонарезающих стальных шурупов диаметром 3,5 мм и длиной 25 мм.

В качестве теплоизолирующей обшивки с обогреваемой стороны конструкции установлены четыре панели с габаритными размерами 1000×1000 мм, толщиной около 30 мм каждая. Каждая из панелей состоит из двух слоев фольгированного базальтового волокна МБОР-5Ф, склеенных (нефольгированными сторонами) огнезащитным составом ОВПФ-1М (ТУ 1523-025-47935838–2003). Расход огнезащитного состава — $8,0\text{--}8,7$ кг/м² [17].



Рис. 7. Фрагмент конструкции с заполнением материалом образца

Fig. 7. A fragment of the structure with the filling of the sample material



Рис. 8. Образец до испытаний (а) и после прекращения испытаний (б)

Fig. 8. Sample prior to testing (a) and after termination of the test (b)

Крепление теплоизолирующей обшивки к каркасу осуществлялось “внахлест” с помощью самонарезающих стальных шурупов диаметром 3,5 мм и длиной 25 мм с круглыми тарельчатыми держателями “Техноиколь” диаметром 50 мм с шагом не более 200 мм (рис. 7) [18].

Данная конструкция разработана впервые с учетом предполагаемой области применения экранных стен, а также наиболее оптимальной конструктивной схемы и наиболее целесообразных материалов заполнения, обеспечивающих ожидаемые пожарно-технические характеристики [19, 20].

В процессе испытания образец устанавливали в проем кирпичной стены толщиной 250 мм и закрепляли с помощью стальных кронштейнов (по три на каждую сторону). Огневое воздействие на образец производилось со стороны теплоизолирующей обшивки.

В процессе проведения испытания были отмечены следующие характерные особенности поведения конструкции:

- 0 мин — начало испытания (рис. 8,а);
- 7-я минута — начало отслаивания фольги левой нижней огнезащитной панели с необогреваемой стороны;
- 14-я минута — отслаивание фольги на всех огнезащитных панелях с необогреваемой стороны;
- 15-я минута — частичное выгорание фольги с обогреваемой стороны;
- 19-я минута — начало выделения газообразных продуктов из стыков огнезащитных панелей с необогреваемой стороны;
- 24-я минута — увеличение выделения газообразных продуктов из стыков огнезащитных панелей с необогреваемой стороны;
- 47-я минута — незначительный прогиб образца в центральной части в обогреваемую сторону;
- 48–59-я минуты — поведение конструкции без существенных изменений;
- 60-я минута — испытание прекращено (рис. 8,б).

Изменение температур в контролируемых точках (рис. 9, 10) при испытании образца представлены на рис. 11–15.

Избыточное давление в огневой камере печи, в верхнем уровне образцов, через 5 мин с момента начала испытаний и до их окончания составляло (10 ± 2) Па.



Рис. 9. Показания термодпар при проведении испытаний
Fig. 9. The indications of thermocouples during testing

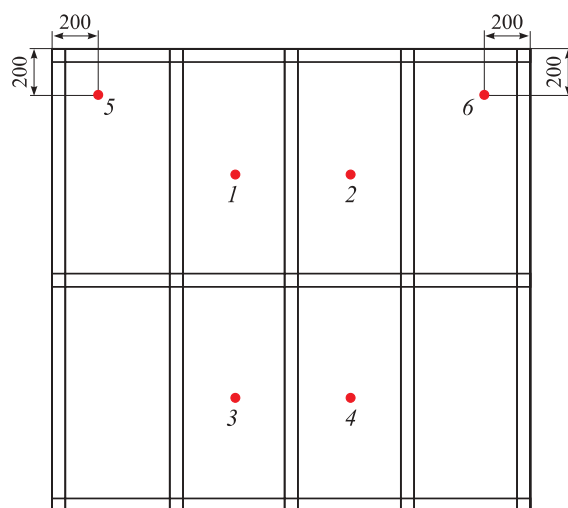


Рис. 10. Схема расстановки термоэлектрических преобразователей на необогреваемой поверхности образца

Fig. 10. Arrangement of thermoelectric converters on the sample

По результатам обработки экспериментальных данных установлено:

- повышение температуры на необогреваемой поверхности левой верхней огнезащитной панели в сравнении с температурой конструкции до испытания более чем на 180 °С (195 °С) зафиксировано на 49-й минуте испытания;
- повышение температуры на необогреваемой поверхности правой верхней огнезащитной панели в сравнении с температурой конструкции до испытания более чем на 180 °С (195 °С) зафиксировано на 51-й минуте испытания;

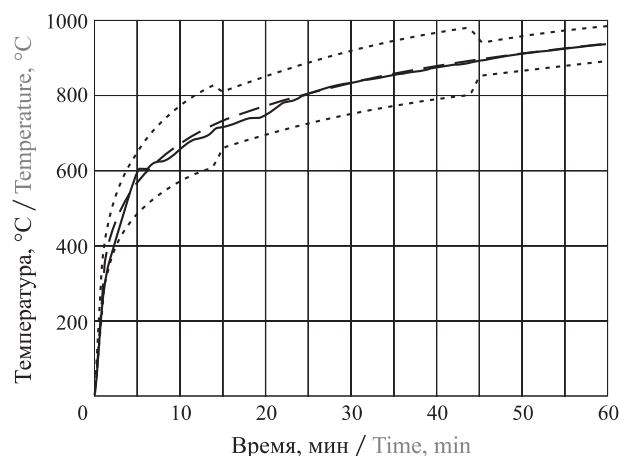


Рис. 11. Изменение температуры в огневой камере печи при испытании образца: — — — — стандартный температурный режим; - - - - — верхняя и нижняя границы стандартного температурного режима; — — — — средняя температура среды в огневой камере печи

Fig. 11. Temperature change in the furnace firing chamber during the sample test: — — — — standard temperature conditions; - - - - — upper and lower limits of standard temperature conditions; — — — — average ambient temperature in the furnace firing chamber

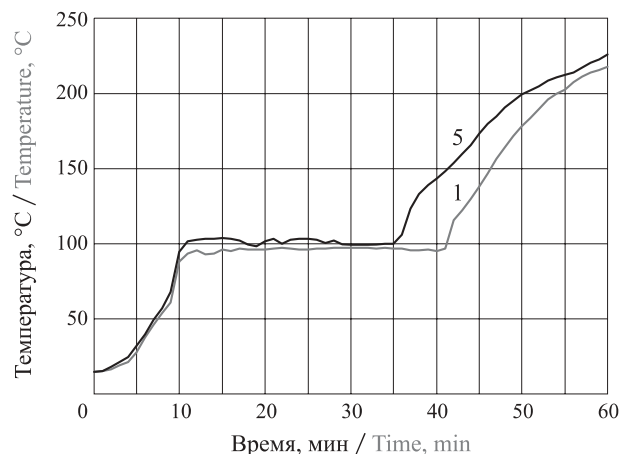


Рис. 12. Показания термоэлектрических преобразователей 1 и 5, установленных на левой верхней огнезащитной панели при испытании образца

Fig. 12. The testimony of thermoelectric converters of 1 and 5 installed on the top left fire retardant panel in the test sample

- повышение температуры на необогреваемой поверхности левой нижней огнезащитной панели в сравнении с температурой конструкции до ис-

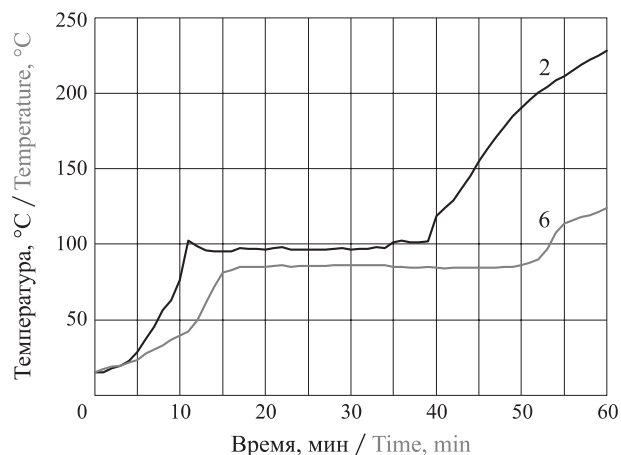


Рис. 13. Показания термоэлектрических преобразователей 2 и 6, установленных на правой верхней огнезащитной панели при испытании образца

Fig. 13. The testimony of thermoelectric converters 2 and 6 installed on the top right fire retardant panel in the test sample

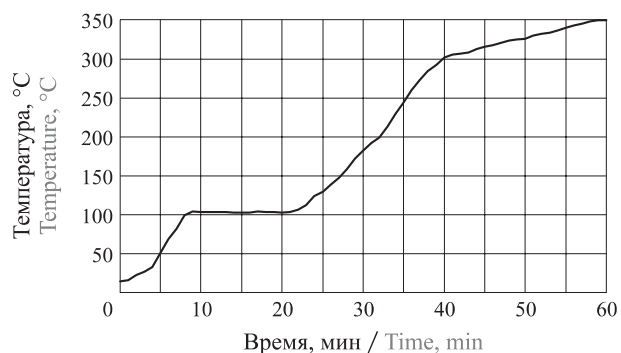


Рис. 14. Показания термоэлектрического преобразователя 3, установленного на левой нижней огнезащитной панели при испытании образца

Fig. 14. The testimony of thermoelectric converter 3 installed on the lower left flame retardant panel during the sample test

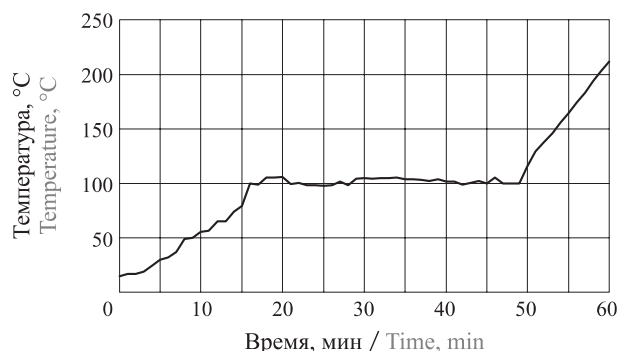


Рис. 15. Показания термоэлектрического преобразователя 4, установленного на правой нижней огнезащитной панели при испытании образца

Fig. 15. The testimony of thermoelectric converter 4 installed on the lower right fire retardant panel in the test sample

пытания более чем на 180 °С (195 °С) зафиксировано на 31-й минуте испытания;

- повышение температуры на необогреваемой поверхности правой нижней огнезащитной панели в сравнении с температурой конструкции до испытания более чем на 180 °С (195 °С) зафиксировано на 59-й минуте испытания.

Выводы

В ходе проведения экспериментов установлено, что время достижения предельного состояния по признаку потери теплоизолирующей способности опытного образца фрагмента противопожарной экранной стены размером в плане 2000×2000 мм составляет 31 мин.

В ходе работы рассмотрен новый тип противопожарной преграды — экранные стены, для определения условий внедрения которых на объектах с массовым пребыванием людей:

- осуществлен выбор допустимых методов испытаний, подтверждающих как требуемую область применения экранных стен, так и фактические пожарно-технические характеристики конструкций и материалов заполнения;
- предложены материалы для заполнения экранных стен и проведены испытания по методу определения теплового излучения падающего теплового потока, подтверждающие, что критические

плотности падающего теплового потока не достигаются;

- осуществлен выбор конструктивной схемы экранных стен, а также проведены испытания на огнестойкость, подтверждающие обеспечение предлагаемой конструкцией требуемого предела огнестойкости не менее EI 30.

По результатам проведенной работы можно сделать вывод, что предлагаемая конструкция экранной стены позволит обеспечить требуемый уровень пожарной безопасности объектов защиты при минимизации финансовых затрат путем внедрения инновационных решений, соответствующих последним достижениям науки и техники в области пожарной безопасности.

Кроме того, в целях исключения необходимости проведения крупномасштабных дорогостоящих испытаний по определению рекомендуемой области применения подобных экранных стен целесообразна гармонизация существующего межгосударственного стандарта ГОСТ EN 15254-6 “Расширенное применение результатов испытания на огнестойкость. Ненесущие стены. Часть 6. Экранные стены”, который значительно расширит возможную область применения подобных конструкций и позволит реализовать наиболее эффективные варианты противопожарной защиты с учетом оптимизации материальных затрат на обеспечение пожарной безопасности [21].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Об одобрении Концепции развития национальной системы стандартизации : распоряжение Правительства Российской Федерации от 28.02.2006 № 266-р. URL: <http://docs.cntd.ru/document/901969912> (дата обращения: 05.01.2018).
2. Концепция гармонизации российских и международных нормативных документов в области пожарной безопасности // Пожарная безопасность. — 2013. — № 3. — С. 147–162.
3. Хасанов И. Р., Гравит М. В., Косачев А. А., Пехотиков А. В., Павлов В. В. Гармонизация европейских и российских нормативных документов, устанавливающих общие требования к методам испытаний на огнестойкость строительных конструкций и применению температурных режимов, учитывающих реальные условия пожара // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2014. — Т. 23, № 3. — С. 49–57.
4. Еремина Т. Ю., Фадеев В. Е. Гармонизация российских и международных нормативных документов по испытаниям на огнестойкость строительных материалов и изделий // Технологии технологической безопасности. — 2014. — № 6(58). — 7 с.
5. Cherepanov D. A., Ermakov A. S., Gozalova M. R., Korolchenko A. Ya. Formation of normative-methodical maintenance of quality and safety of campsites // MATEC Web of Conferences. — 2016. — Vol. 86, Art. 04037. — 6 p. DOI: 10.1051/mateconf/20168604037.
6. Международный кодекс по применению процедур испытания на огнестойкость 2010 года (кодекс ПИО 2010). — СПб. : ЦНИИМФ, 2011. — 560 с.
7. Еремина Т. Ю., Фадеев В. Е. Некоторые вопросы обеспечения пожарной безопасности зданий аэропортов // Пожарная безопасность. — 2015. — № 2. — С. 144–151.
8. Korolchenko D., Pizhurin A. Simulating operational control of production in lumber house building businesses // MATEC Web of Conferences. — 2017. — Vol. 117, Art. 00084. DOI: 10.1051/mateconf/201711700084.
9. Design of buildings to resist progressive collapse. UFC 4-023-03. — Washington : Department of Defense, 2009.
10. Ляпин А. В. Современные огне- и дымозащитные преграды // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2008. — Т. 17, № 6. — С. 49–56.

11. Korolchenko D., Kholshchevnikov V. Conceptual problems of high-rise construction and differentiation of research within the urban environment system // MATEC Web of Conferences. — 2017. — Vol. 106, Art. 01038. — 12 p. DOI: 10.1051/mateconf/201710601038.
12. Еремина Т. Ю., Фадеев В. Е. Методические рекомендации по определению критической величины теплового излучения для материала (заполнения) экранной стены. — СПб. : Санкт-Петербургский университет государственной противопожарной службы МЧС России, 2017. — 24 с.
13. Пожарная профилактика в строительстве : учебное пособие. — М. : ВИПТШ МВД СССР, 1985.
14. Кирюханцев Е. Е., Мироненко Р. В. Влияние падающего теплового потока на поглощательную, отражательную и пропускательную способность закаленного стекла, используемого в свето-прозрачной перегородке при пожарах в многосветных помещениях (атриумах) // Горение и проблемы тушения пожаров : материалы XXIX Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию ФГБУ ВНИИПО МЧС России : в 2 ч. — М. : ВНИИПО, 2017. — Ч. 2. — С. 214–216.
15. Kinowski J., Sulik P., Sędlak B. Fire tests and classification of vertical, glazed elements of defined fire resistance class // Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza. — 2016. — Vol. 42, Issue 2. — P. 135–140 (in Polish). DOI: 10.12845/bitp.42.2.2016.14.
16. Grabner R. Halogenfreier flammenschutz auf melaminbasis // Kunststoffe. — 1998. — Vol. 88, No. 11. — P. 2050–2052 (in German).
17. McGuire M. F. Stainless steels for design engineers. — Materials Park, Ohio : ASM International, 2008. — 225 p.
18. Корольченко Д. А., Черкина В. М., Евич А. А. Эффективность применения кремнеземной ткани в противопожарных шторах // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. — 2017. — № 4(370). — С. 107–111.
19. Корольченко А. Я., Гетало Д. П. Противопожарные шторы (обзор) // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2015. — Т. 24, № 4. — С. 56–65.
20. Kholshchevnikov V., Korolchenko D., Zosimova O. Efficiency evaluation criteria of communication paths structure in a complex of buildings of maternity and child-care institutions // MATEC Web of Conferences. — 2017. — Vol. 106, Art. 01037. — 11 p. DOI: 10.1051/mateconf/201710601037.
21. Хасанов И. Р., Еремина Т. Ю., Гравит М. В., Макеев А. А. Использование принципа расширенного применения результатов испытаний строительных конструкций и материалов в европейской системе нормирования пожарной безопасности // Архитектура и строительство России. — 2013. — № 3. — С. 24–28.

Материал поступил в редакцию 12 января 2018 г.

Для цитирования: Еремина Т. Ю., Фадеев В. Е. К оценке возможности внедрения экранных стен на объектах с массовым пребыванием людей // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 2–3. — С. 57–66. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.02-03.57-66.

English

TO THE ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF THE INTRODUCTION OF CURTAIN WALLING ON OBJECTS WITH MASS STAY OF PEOPLE

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

FADEEV V. E., Adjunct, Saint Petersburg University of State Fire Service Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail: fadeev-nto@yandex.ru)

ABSTRACT

Currently, the current legislation of the Russian Federation includes provisions that allow to implement the possibility of choosing the best, most reasonable options for fire protection. In particular, it is proposed a new type of fire barriers — curtain walling. Similar designs on the territory of the Russian Federation are not applied.

To assess the possibility of implementing curtain walling:

- the choice of acceptable test methods confirming both the required scope of application of curtain walling and the actual fire-technical characteristics of structures and filling materials is carried out;

- there were suggested materials to fill the curtain walling and carried out tests according to the method of determination of thermal radiation incident heat flux, confirming that the critical density of the incident heat flux is not achieved;
- the choice of the design scheme of curtain walling is carried out, and also the tests for fire resistance confirming providing with the offered design of the required limit of fire resistance are carried out.

According to the results of the work it was found that the proposed design of the curtain walling provide the required level of fire safety protection facilities through the introduction of innovative solutions corresponding to the latest achievements of science and technology in the field of fire safety.

In order to eliminate the need for large-scale expensive tests, it is proposed to introduce methods for the extended application of fire test results, which will significantly expand the possible scope of such structures and will allow to implement the most effective options for fire protection, taking into account the optimization of material costs for fire safety.

Keywords: fire barriers; curtain walling; fire resistance tests; harmonization; extended application; fire safety.

REFERENCES

1. *About approval of the Concept of development of national system of standardization.* Order of the Government of the Russian Federation on 28 February 2006 No. 266-r (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/901969912> (Accessed 5 January 2018).
2. The concept of harmonization of the Russian and International normative documents in the field of fire safety. *Pozharnaya bezopasnost / Fire Safety*, 2013, no. 3, pp. 147–162 (in Russian).
3. Khasanov I. R., Gravit M. V., Kosachev A. A., Pekhotikov A. V., Pavlov B. V. Harmonization of European and Russian regulatory documents establishing general requirements for fire-resistance test methods of building constructions and the use of temperature curves that take into account real fire conditions. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 3, pp. 49–57 (in Russian).
4. Eremina T. Yu., Fadeev V. E. Harmonization of Russian and international regulations for fire resistance testing of building materials and products. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti / Technology of Technosphere Safety*, 2014, no. 6(58). 7 p. (in Russian).
5. Cherepanov D. A., Ermakov A. S., Gozalova M. R., Korolchenko A. Ya. Formation of normative-methodical maintenance of quality and safety of campsites. *MATEC Web of Conferences*, 2016, vol. 86, art. 04037. 6 p. DOI: 10.1051/mateconf/20168604037.
6. *International code for application of fire test procedures, 2010 (2010 FTP code).* IMO Resolution MSC. 307(88). Saint Petersburg, TsNIIMF Publ., 2011. 560 p.
7. Eremina T. Yu., Fadeev V. E. Some fire safety issues of airport buildings. *Pozharnaya bezopasnost / Fire Safety*, 2015, no. 2, pp. 144–151 (in Russian).
8. Korolchenko D., Pizhurin A. Simulating operational control of production in lumber house building businesses. *MATEC Web of Conferences*, 2017, vol. 117, art. 00084. DOI: 10.1051/mateconf/201711700084.
9. *Design of buildings to resist progressive collapse. UFC 4-023-03.* Washington, Department of Defense, 2009.
10. Lyapin A. V. Modern fire and smoke barriers. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2008, vol. 17, no. 6, pp. 49–56 (in Russian).
11. Korolchenko D., Kholshchevnikov V. Conceptual problems of high-rise construction and differentiation of research within the urban environment system. *MATEC Web of Conferences*, 2017, vol. 106, art. 01038. 12 p. DOI: 10.1051/mateconf/201710601038.
12. Eremina T. Yu., Fadeev V. E. *Methodical recommendations about determination of critical value of thermal radiation for a material (filling) of a curtain walling.* Saint Petersburg, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia Publ., 2017. 24 p (in Russian).
13. *Pozharnaya profilaktika v stroitelstve* [Fire prevention in construction]. Moscow, High Engineering Fire Technical School of Ministry of the Interior of USSR Publ., 1985 (in Russian).
14. Kiryukhantsev E. E., Mironenko R. V. The effect of incident heat flux on the absorptive, reflective and transmittance ability of tempered glass used in the translucent wall at fires in atrium spaces (atriums). In: *Goreniye i problemy tusheniya pozharov. Materialy XXIX Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Burning and problems of suppression of the fires. Proceedings of XXIX International Scientific-and-Practical Conference]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2017, part 2, pp. 214–216 (in Russian).

15. Kinowski J., Sulik P., Sędlak B. Fire tests and classification of vertical, glazed elements of defined fire resistance class. *Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza*, 2016, vol. 42, issue 2, pp. 135–140 (in Polish). DOI: 10.12845/bitp.42.2.2016.14.
16. Grabner R. Halogenfreier flammenschutz auf melaminbasis. *Kunststoffe*, 1998, vol. 88, no. 11, pp. 2050–2052 (in German).
17. McGuire M. F. *Stainless steels for design engineers*. Materials Park, Ohio, ASM International, 2008. 225 p.
18. Korolchenko D. A., Cherkina V. M., Evich A. A. The silica cloth efficiency in curtains for fire prevention. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya tekstilnoy promyshlennosti / News of Higher Educational Institutions. Technology of Textile Industry*, 2017, no. 4(370), pp. 107–111 (in Russian).
19. Korolchenko A. Ya., Getalo D. P. Fire shields (review). *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 4, pp. 56–65 (in Russian).
20. Kholshchevnikov V., Korolchenko D., Zosimova O. Efficiency evaluation criteria of communication paths structure in a complex of buildings of maternity and child-care institutions. *MATEC Web of Conferences*, 2017, vol. 106, art. 01037. 11 p. DOI: 10.1051/mateconf/201710601037.
21. Khasanov I. R., Eremina T. Yu., Gravit M. V., Makeev A. A. Using the principle of extended application of test building constructions and materials in the European regulation of fire safety. *Arkhitktura i stroitelstvo Rossii / Architecture and Construction of Russia*, 2013, no. 3, pp. 24–28 (in Russian).

For citation: Eremina T. Yu., Fadeev V. E. To the assessment of the possibility of the introduction of curtain walling on objects with mass stay of people. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 2–3, pp. 57–66 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.02-03.57-66.



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу



Д. Г. Пронин, Д. А. Корольченко ДЕЛЕНИЕ ЗДАНИЙ НА ПОЖАРНЫЕ ОТСЕКИ : учебное пособие.

— М. : Издательство "ПОЖНАУКА", 2014. — 40 с. : ил.

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

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

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

Е. Г. КОСТЮЧЕНКО, ассистент кафедры комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: _ICA kbs@mgsu.ru)

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

УДК 614.841.343.699.814

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ ПУСТОТНЫХ ПРЕДНАПРЯЖЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЙ ПРИ ОГНЕВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ПОД НАГРУЗКОЙ

Представлены экспериментальные зависимости предельных состояний пустотных плит перекрытий при комбинированном воздействии на них. Установлены зависимости прогрева армирующих элементов плит (тросов) в течение времени под воздействием стандартного режима пожара. Показаны зависимости прогрева плит на глубине 150 и 200 мм в течение времени в условиях стандартного режима пожара, а также зависимости прогиба плит от времени под воздействием стандартного режима пожара и расчетной нагрузки. Установлено, что время достижения предельного состояния по потере несущей способности (величина прогиба и скорость прогиба при прогреве плиты и под действием расчетной нагрузки) и потере теплоизолирующей способности составляет более 65 мин. Показано, что потери несущей способности в течение 65 мин достигнуто не было; прогиб и скорость прогиба плиты в результате прогрева и воздействия на нее расчетной нагрузки составили 156 мм и 2,5 мм/мин соответственно, причем эти значения не являются критическими. Установлено также, что в течение 12 ч после прекращения огневого воздействия, но при наличии расчетной нагрузки обратной деформации (прогиба) не произошло; количество трещин на образце и их размеры не превысили нормативных; прогрев плиты до критической температуры 140 °С не наблюдалось.

Ключевые слова: пустотные плиты перекрытия; предельные состояния; огневое воздействие под нагрузкой; потеря несущей способности; потеря теплоизолирующей способности.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.02-03.67-74

Введение

Пустотные плиты перекрытия из железобетона давно и прочно зарекомендовали себя как незаменимый элемент сооружений при строительстве различных объектов гражданского и промышленного назначения [1–4]. Даже появление новых технологий строительства, к которым может быть отнесено монолитное строительство, не уменьшило актуальности использования пустотных плит перекрытия из железобетона. Такие плиты являются недорогим и прочным строительным материалом, приобрести который могут не только строительные компании, но и частные лица [5–9].

К основным преимуществам пустотных плит перекрытия могут быть отнесены: оптимальная стоимость изделия, возможность использования при возведении объектов различного назначения, высокая прочность, высокие изоляционные характеристики.

Бетонные перекрывающие плиты являются наиболее востребованными в строительстве. Такой материал незаменим при возведении жилых, промышленных и административных зданий любой этажности. Особенно популярны пустотные перекрытия, так как они имеют меньшую массу по сравнению со сплошными без потерь в прочности и надежности. Наличие в плитах пустот также не сказывается на несущих способностях конструкции [10–13], а их тепло- и звукоизоляция намного выше.

Основное назначение пустотных плит — использование в качестве перекрытий на стыках этажей при строительстве домов из кирпича, стеновых блоков и бетона. Благодаря своим преимуществам этот вид перекрытий стал самым популярным из железобетонных изделий (ЖБИ). Пустотные плиты используют в качестве перекрытий в многоэтажных, частных и монолитных объектах, а зачастую в качестве несущих каркасов. В промышленности чаще

применяются многпустотные армированные модификации плит из тяжелых бетонов.

Главным фактором, определяющим преимущества перекрывающих конструкций, является наличие пустот. Благодаря им на изготовление конструкции требуется меньше стройматериала и, как следствие, снижается масса изделия, а значит, и нагрузка от собственного веса конструкции на фундамент уменьшается. Кроме того, за счет заполнения пустот воздухом перекрытия обладают повышенной тепло- и шумоизоляцией; отверстия в плитах применяются для прокладки инженерных коммуникаций. Использование предварительно-напряженного арматурного каркаса повышает прочностные и эксплуатационные показатели перекрывающего изделия. Применение многпустотного стройматериала экономически оправданно и позволяет в сжатые сроки возводить каркас дома. Отдельным видом пустотных железобетонных перекрытий является плита марки ПБ, полученная путем непрерывного безопалубочного формования на длинных стендах. Ее назначение — обеспечение опоры по двум сторонам.

От размеров пустот зависят эксплуатационные характеристики перекрывающего элемента. Диаметр круглых отверстий в плите колеблется в диапазоне от 140 до 203 мм. Чем меньше эта величина, тем прочнее изделие. На прочность влияет также толщина перекрытия, которая обычно составляет 22 см. Однако есть более массивные продукты, например плита 6ПК, толщина которой 30 см. Облегченные модификации производятся из легкого бетона и имеют толщину 16 см. Из таких плит сооружают межэтажные перегородки для газоблочных или пенобетонных стен.

Стандартная несущая способность таких изделий составляет 800 кг/м^2 , но встречаются межэтажные перегородки, рассчитанные на нагрузку $1200\text{--}1250 \text{ кг/м}^2$. Для получения плит с отверстиями необходим бетонный раствор на цементе марок М300 и М400, который обеспечивает высокую прочность и пластичность готового изделия. Цемент М400 придает ему стойкость к моментальной нагрузке $400 \text{ кг на } 1 \text{ см}^3$ в секунду, а М300 — способность не разрушаться при прогибах [14–17].

Для повышения прочностных характеристик и несущей способности бетонных перекрытий в изделия монтируют стальные пруты. С этой целью используется арматура из нержавеющей стали классов А3 и А4. Такой материал отличается повышенной коррозионной стойкостью и устойчивостью к колебаниям температур в диапазоне от минус 40 до 50°C [18–20].

На практике часто применяется натяжная арматура. Процесс армирования происходит в четыре стадии: натяжение стальных прутьев в форме; укладка

арматурной сетки в форму; заливка бетоном; обрезка излишка арматурных элементов, выступающих из затвердевшего бетона. Такая арматура придает плитам способность выдерживать максимальное динамическое и статическое давление без провисания и прогибов [21–25]. При этом в торцы, опирающиеся о стены, дополнительно монтируют двойную арматуру, что наделяет изделие устойчивостью к нагрузкам от собственного веса и веса верхних стен без деформации. С использованием таких перекрытий сооружаются высотные промышленные здания.

Цель настоящего исследования — получить экспериментальные зависимости предельных состояний пустотных плит перекрытий под огневым воздействием и расчетной нагрузкой. При этом необходимо установить предельное состояние потери несущей способности, зависимость величины прогиба и скорости прогиба от прогрева плиты и расчетной нагрузки, возможность обратной деформации (прогиба) после прекращения огневого воздействия с расчетной нагрузкой, потерю целостности, зависимость количества трещин и их размеров от прогрева и влажности плиты, а также от расчетной нагрузки, потерю теплоизолирующей способности, зависимость прогрева плиты от длительности огневого воздействия.

Метод испытаний

Для испытаний были использованы пустотные бетонные плиты перекрытий, которые имели размеры, соответствующие проектным, и различались только по толщине (160 и 220 мм) и способу армирования. Состав бетона, строительного раствора и армирующих элементов не различался. Единственный способ, которым, по нашему мнению, можно объективно оценить фактическую степень огнестойкости плиты, — это экспериментально получить графики предельных состояний конструкции (REI).

Перед огневыми испытаниями на горизонтальную поверхность печи были установлены три пустотные бетонные плиты перекрытий (ГОСТ 30247.0), стыки между которыми были заполнены строительным раствором. Торцевые стороны плит также были заполнены раствором. Опалубкой служил лист стали толщиной 5 мм, который фиксировался путем приваривания в нескольких местах к горизонтальной поверхности печи. На необогреваемой стороне плит была сделана стяжка из того же раствора толщиной 20 мм. По бокам плит произведена закладка из ячеистых блоков для устранения зазора между плитой и рамкой горизонтальной печи. После установки плиты должны отстояться в течение расчетного времени для затвердевания строительного раствора. С этого момента все плиты становятся единой конструкцией, которую нагружают в соответствии с

расчетной нагрузкой. В данном исследовании в качестве нагрузки использованы 18 бетонных блоков площадью 1 м^2 и массой 350 кг каждый при первом испытании плит толщиной 160 мм и 36 блоков — при втором испытании плит толщиной 220 мм. Затем устанавливали тросовый датчик линейных перемещений (с цифровым выходом) и термоэлектрические преобразователи (ТЭП). Как правило, тросовые датчики размещают в центре конструкции из трех плит (рис. 1). Среднюю температуру на необогреваемой поверхности плит определяют как среднее арифметическое показаний не менее чем пяти термопар. Одну термопару располагают в центре, а остальные — в точках пересечения прямых, соединяющих центр и углы проема печи (рис. 2). При этом необходимо, чтобы стыковые соединения плит не совпадали с местами установки термопар, предназначенных для измерения средней температуры необогреваемой поверхности. Места расположения термопар для измерения температуры на необогреваемой поверхности образца ограждающей конструкции должны располагаться не ближе 100 мм от края проема печи. В глубине плит термоэлектрические преобразователи типа КТХА устанавливают

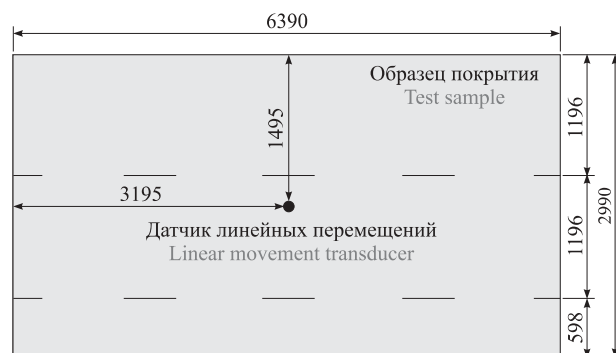


Рис. 1. Схема расположения датчика вертикальных перемещений на поверхности образца испытываемого перекрытия
Fig. 1. Location scheme of vertical displacement sensor placed on the surface of tested floor slab

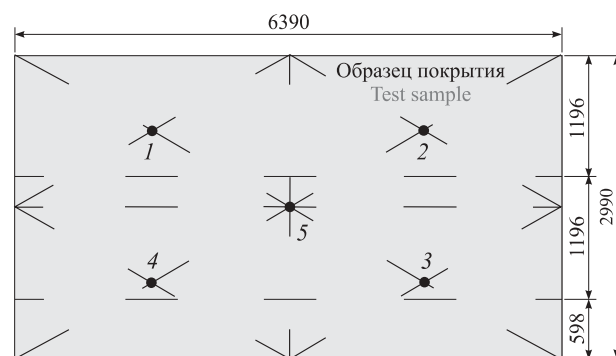


Рис. 2. Схема расположения ТЭП на необогреваемой поверхности образца испытываемого перекрытия
Fig. 2. Location scheme of the thermocouples on the unheated surface of the test sample

парами: один — в центре пустоты плиты, второй — на минимальном расстоянии от первого в нижней прослойке плиты. Термоэлектрические преобразователи, устанавливаемые на тросы, касаются их (тросов) рабочим спаем; ввод термоэлектрических преобразователей в глубь плиты производится с необогреваемой поверхности путем высверливания отверстий. Глубинные термопары размещают в любом свободном от нагрузки месте плиты.

Непосредственно перед началом огневого воздействия измеряется влажность плиты, температура окружающего воздуха и атмосферное давление. После начала огневого воздействия в рабочем листке фиксируются все изменения состояния плиты (визуальное увеличение прогиба, появление трещин, испарение влаги, звуки и т. д.). Расстояние между плитой и местом ее начального крепления измеряется линейкой непосредственно во время испытаний. Измерение динамики прогиба и снятие показаний с термоэлектрических преобразователей производится с помощью автоматизированных средств измерений. Кроме того, фиксируется время от начала огневого воздействия до наступления одного из предельных состояний. Это время и есть фактический предел огнестойкости.

При испытании несущих и ограждающих конструкций различают следующие предельные состояния:

- потеря несущей способности (R) вследствие обрушения конструкции или возникновения предельных деформаций;
- потеря теплоизолирующей способности (I) вследствие повышения температуры на необогреваемой поверхности конструкции в среднем более чем на 140°C или в любой точке этой поверхности более чем на 180°C в сравнении с температурой конструкции до испытания либо более чем на 220°C независимо от температуры конструкции до испытания;
- потеря целостности (E) в результате образования в конструкции сквозных трещин или отверстий, через которые на необогреваемую поверхность проникают продукты горения или пламя.

В процессе испытания потерю целостности определяют с помощью тампона (по ГОСТ 30247.0), который помещают в металлическую рамку с держателем, подносят к местам, где ожидается проникновение пламени или продуктов горения, и в течение 10 с держат на расстоянии 20–25 мм от поверхности образца. Время от начала испытания до воспламенения тампона или возникновения тления со свечением является пределом огнестойкости конструкции по признаку потери целостности. Испытания проводятся в условиях стандартного режима пожара (рис. 3).

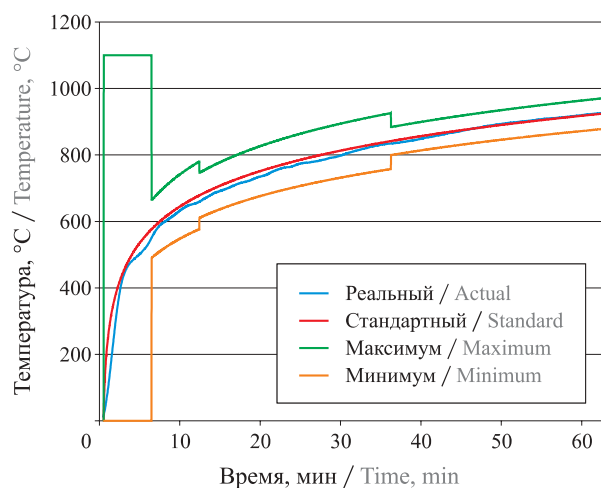


Рис. 3. Зависимость температуры при реальном и стандартном режимах пожара от времени

Fig. 3. Time-temperature curves under actual and standard fire conditions

После испытания, когда горизонтальная поверхность печи остынет до температуры окружающей среды, фиксируют общее количество трещин, их ширину и по возможности глубину, количество трещин на единицу площади. В течение суток после прекращения огневого воздействия регистрируется динамика прогиба, так как может начаться обратная деформация плит.

Результаты испытаний

По результатам проведенных испытаний были получены следующие зависимости (рис. 4–11).

По результатам обработки экспериментальных данных установлено, что повышение температуры на необогреваемой поверхности плиты начинается с 17-й минуты и к 60-й минуте достигает значений на разных термопарах от 65 до 77 °C (см. рис. 4). Сред-

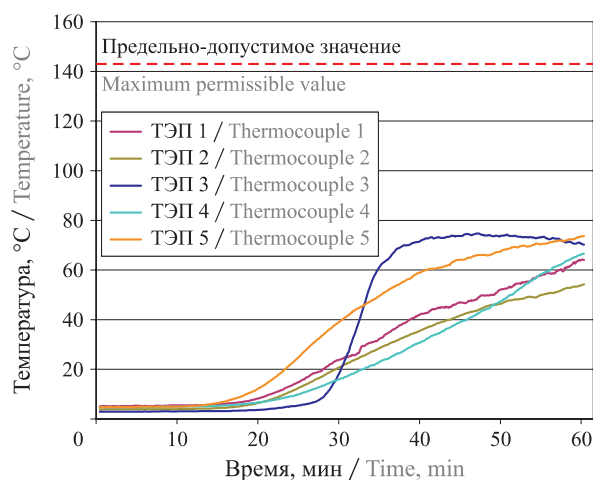


Рис. 4. Зависимость прогрева необогреваемой стороны плит от времени в условиях стандартного режима пожара

Fig. 4. Time dependence of warming up of the unheated side of slabs under standard fire conditions

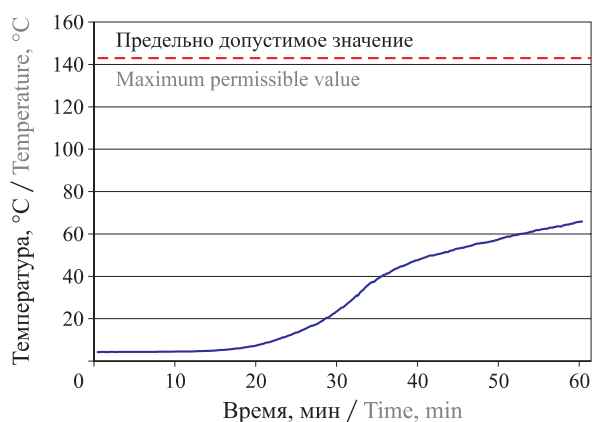


Рис. 5. График среднего значения (ТЭП 1–5) прогрева плит в условиях стандартного пожара

Fig. 5. Curve of the average heating value (thermocouples 1–5) for slabs under standard fire conditions

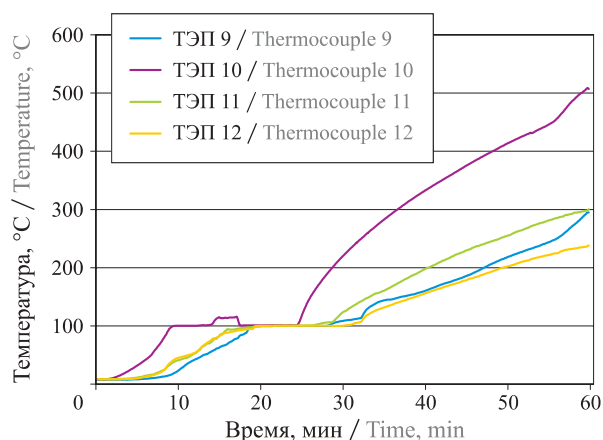


Рис. 6. Зависимость прогрева плит на глубине 150 мм (ТЭП 9, ТЭП 12) и 200 мм (ТЭП 10, ТЭП 11) в течение времени под воздействием стандартного режима пожара

Fig. 6. Dependence of heating up of slabs at the depth of 150 mm (thermocouples 9 and 12) and 200 mm (thermocouples 10 and 11) during the time of fire exposure

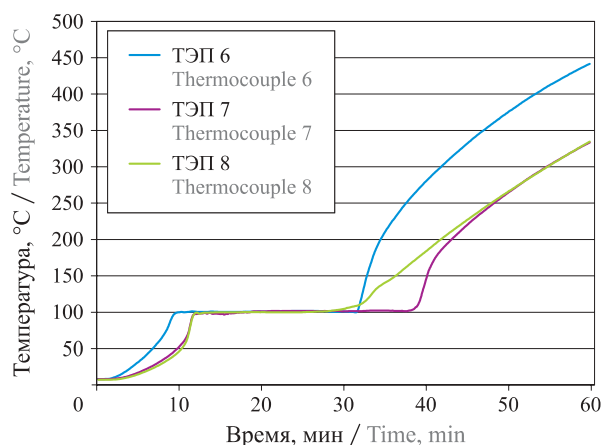


Рис. 7. Зависимость прогрева армирующих элементов плит (тросов) в течение времени под воздействием стандартного режима пожара

Fig. 7. Dependence of heating up of the slab reinforcing elements (ropes) during the time of fire exposure

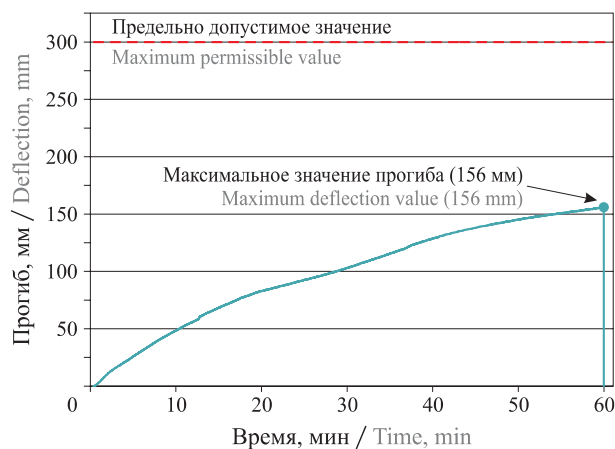


Рис. 8. Зависимость прогиба плит от времени под воздействием стандартного режима пожара и расчетной нагрузки

Fig. 8. Time dependence of deflection of the slabs under the standard fire conditions and specified load

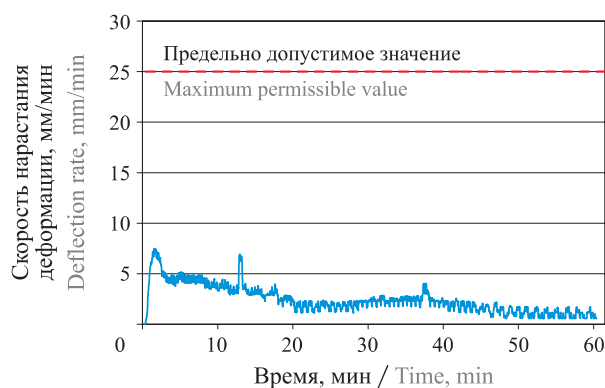


Рис. 9. Зависимость скорости нарастания деформации плит от времени под воздействием стандартного режима пожара и расчетной нагрузки

Fig. 9. Time dependence of the strain rate value on slabs under standard fire conditions and specified load

нее значение температуры на необогреваемой поверхности плиты составляет 75 °C (см. рис. 5).

Прогрев плит происходит постепенно (см. рис. 6 и 7), и только после 30 мин начинается повышение температуры по всей их толщине. В течение последующих 30 мин температура внутри плиты начинает постепенно повышаться со 100 до 300 °C.

С возрастанием температуры в печи происходит постепенный прогиб плиты и через 60 мин, по окончании эксперимента, прогиб достигает 156 мм, что практически в 2 раза меньше возможного прогиба для этого типа плит (см. рис. 8), а скорость нарастания деформации плит в течение времени теплового и силового воздействия постепенно уменьшается и составляет в среднем 2,5 мм/мин.

Выводы

По результатам проведенных испытаний установлено, что время достижения предельного состояния по потере несущей способности (величина прогиба и скорость прогиба при прогреве плиты и воздействии расчетной нагрузки) и потере теплоизолирующей способности составило более 65 мин. Потери несущей способности в течение 65 мин достигнуто не было; прогиб и скорость прогиба плиты в результате прогрева и воздействия на нее расчетной нагрузки составили 156 мм и 2,5 мм/мин соответственно, причем эти значения не являются критическими. В течение 12 ч после прекращения огневого воздействия, но при наличии расчетной нагрузки обратной деформации (прогиба) не произошло. Количество трещин на образце и их размеры не превысили нормативных. Прогрева плиты до критической температуры 140 °C не наблюдалось.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мадатян С. А. Системы предварительного напряжения арматуры с натяжением ее на бетон без сцепления // Технологии бетонов. — 2007. — № 1. — С. 48–51.
2. Кривцов Ю. В., Микеев А. К., Пронин Д. Г. Развитие требований пожарной безопасности к огнестойкости конструкций в Строительных нормах и правилах, разрабатываемых ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко // Промышленное и гражданское строительство. — 2009. — № 10. — С. 25–26.
3. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F., Byakov A. V. The analysis of oil suppression by aqueous film forming foam through a gas-salt layer of water // Advanced Materials Research. — 2014. — Vol. 1073-1076. — P. 2353–2357. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amr.1073-1076.2353.
4. Покровская Е. Н., Портнов Ф. А., Кобелев А. А., Корольченко Д. А. Дымообразующая способность и токсичность продуктов сгорания древесных материалов при поверхностном модифицировании элементоорганическими соединениями // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2013. — Т. 22, № 10. — С. 40–45.
5. Жуков В. В., Молчадский И. С., Лавров В. Н. Расчет пределов огнестойкости безбалочных перекрытий // Пожарная безопасность. — 2006. — № 1. — С. 36–41.
6. Мосалков И. Л., Плюснина Г. Ф., Фролов А. Ю. Огнестойкость строительных конструкций. — М.: Спецтехника, 2001. — 496 с.
7. Корольченко Д. А., Холищевников В. В. Дифференциация концепции системного подхода к анализу городской среды // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2015. — Т. 24, № 7. — С. 44–51.

8. 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.
9. Боровских А. В. Исследование напряженно-деформированного состояния железобетонных плит-оболочек // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. — 2008. — № 4. — С. 82–86.
10. Демехин В. Н., Лукинский В. М., Серков Б. Б. Пожарная опасность и поведение строительных материалов в условиях пожара. — СПб. : ООО “Ковэкс”, 2002. — 142 с.
11. Лукьянов А. М., Корольченко Д. А., Агапов А. Г. О пожароопасности древесины при возведении мостов // Мир транспорта. — 2012. — Т. 10, № 4(42). — С. 158–162.
12. Боровских А. В., Ягунов Б. А. Эффективность применения высокопрочной арматуры в сжатых зонах железобетонных конструкций // Бетон и железобетон. — 2009. — № 1. — С. 20–21.
13. Круковский П. Г., Ковалев А. И. Методика определения характеристики огнезащитной способности покрытий многослойных железобетонных плит перекрытий // Науковий вісник: цивільний захист та пожежна безпека. — 2011. — № 1(23). — С. 87–101.
14. Ковалев А. И. Усовершенствование метода оценки огнезащитной способности покрытий железобетонных перекрытий : дис. ... канд. техн. наук. — К., 2012. — 163 с.
15. Боровских А. В. Экспериментальные исследования железобетонных плит оболочек на крупномасштабных моделях // Пространственные конструкции зданий и сооружений : тезисы докладов научной сессии МОО и научного совета РААСН. — М., 2007. — С. 14–15.
16. Степанова В. Ф. Теория и практика обеспечения сохранности арматуры в железобетонных конструкциях // Бетон и железобетон. — 2007. — № 5. — С. 25–29.
17. Изотов Ю. Л., Изотова Т. Ю. О предельной величине насыщения арматурной сжатой зоны поперечного сечения изгибаемых и внецентренно сжатых элементов // Бетон и железобетон. — 2007. — № 6. — С. 19–20.
18. Митасов В. М., Логанова М. А., Стаценко Н. В. Новые подходы к решению задач деформирования железобетонных конструкций с трещинами // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. — 2017. — Т. 7, № 1(20). — С. 77–83.
19. Зайцев А. М., Черных Д. С. О системной погрешности аппроксимации температурного режима стандартного пожара математическими формулами // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2011. — Т. 20, № 7. — С. 14–17.
20. Каледин В. О., Каледин Вл. О., Страхов В. Л., Давыдкин Н. Ф., Марченко А. Ю. Анализ системной прочности оборудования и сооружений при огневом поражении // Математическое моделирование. — 2006. — Т. 18, № 8. — С. 93–100.
21. Werther N. Brandversuche an tunnelinnenschalenbetonen für den M 30-nordtunnel in Madrid // Beton- und Stahlbetonbau. — 2006. — Vol. 101, Issue 9. — P. 729–731. DOI: 10.1002/best.200608187.
22. Голованов В. И., Павлов В. В., Пехотилов А. В. Экспериментальные и аналитические исследования несущей способности большепролетных железобетонных балок при огневом воздействии // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2015. — Т. 24, № 11. — С. 31–38. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.11.31-38.
23. Consolazio G. R., McVay M. C., Rish J. W. III. Measurement and prediction of pore pressure in cement mortar subjected to elevated temperature // Proceedings of the International Workshop on Fire Performance of High-Strength Concrete / Phan L. T., Carino N. J., Duthinh D., Garboczi E. (eds.). — Gaithersburg, Maryland : NIST, 1997. — P. 125–148.
24. Roytman V. M., Pasman H. J., Lukashevich I. E. The concept of evaluation of building resistance against combined hazardous effects “impact – explosion – fire” after aircraft crash // Fire and Explosion Hazards : Proceedings of 4th International Seminar. — Londonderry, NI, UK, 2003. — P. 283–293.
25. Lees F. P. Loss prevention in the process industries (3rd ed). Hazard identification, assessment and control. — Texas, USA : Elsevier, Inc., 2005. — Vol. 1. — P. 1/1–16/307. DOI: 10.1016/b978-0-7506-7555-0.x5081-6.

Материал поступил в редакцию 19 февраля 2018 г.

Для цитирования: Костюченко Е. Г., Захматов В. Д. Определение предельных состояний пустотных преднапряженных железобетонных плит перекрытий при огневом воздействии под нагрузкой // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 2–3. — С. 67–74. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.02-03.67-74.

DETERMINATION OF THE LIMIT STATES OF LOADED PRESTRESSED HOLLOW CORE CONCRETE FLOOR SLABS UNDER FIRE EXPOSURE

KOSTYUCHENKO E. G., Assistant of Department of Integrated Safety in Civil Engineering, National Research Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoe Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail: ICA_kbs@mgsu.ru)

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

ABSTRACT

Experimental dependences of limit states of the hollow core floor slabs under fire exposure and specified load are presented in this work. It have been defined that the main advantages of hollow core slabs are the cost effectiveness, wide application in construction of various objects, high durability and insulating characteristics. The important advantage of floor slabs is presence of tubular voids that allow reducing material consumption, mass of slabs and load on foundation consequently. Air-filled tubular voids increase thermal and noise insulation of floor slabs and also can be used for laying the service lines. Application of prestressed reinforcing cage raises strengthening and operational indices of the slabs. Dependences of heating up of the slab reinforcing elements (ropes) under standard fire conditions have been determined. Dependences of heating up of slabs at the depth of 150 and 200 mm during the time of fire exposure as well as dependence of their deflection on exposure time and specified load are shown. As a result of fire load tests it was established that time until limit state, when slab losses bearing and thermal insulating capacities, is more than 65 min. During 65 min of the test bearing capacity wasn't loss; deflection and deflection rate of the slab were 156 mm and 2,5 mm/min accordingly, and these values weren't critical. The reversed strain (deflection) didn't become during 12 hours after fire exposure was finished. The number of cracks on a sample and their sizes haven't exceeded standard. Heating of a slab to the critical temperature of 140 °C haven't detected.

Key words: hollow core floor slabs; limit states; fire exposure under load; loss of bearing capacity; loss of thermal insulating capacity.

REFERENCES

1. Madatyan S. A. Pre-stressing systems for reinforcement with tension on concrete without adhesion. *Tekhnologii betonov / Concrete Technologies*, 2007, no. 1, pp. 48–51 (in Russian).
2. Krivtsov Yu. V., Mikeev A. K., Pronin D. G. Elaboration of fire safety requirements for fire resistance of structures in the Code of recommended practice developed at the V. A. Kucherenko TsNIISK. *Pro-myshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo / Industrial and Civil Engineering*, 2009, no. 10, pp. 25–26 (in Russian).
3. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F., Byakov A. V. The analysis of oil suppression by aqueous film forming foam through a gas-salt layer of water. *Advanced Materials Research*, 2014, vol. 1073–1076, pp. 2353–2357. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amr.1073-1076.2353.
4. Pokrovskaya E. N., Portnov F. A., Kobelev A. A., Korolchenko D. A. The smoke generation property and combustion products toxicity of wood which was modified by organoelemental compounds. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 10, pp. 40–45 (in Russian).
5. Zhukov V. V., Molchadsky I. S., Lavrov V. N. Calculation of fire resistance limits of girderless floors. *Pozharnaya bezopasnost / Fire Safety*, 2006, no. 1, pp. 36–41 (in Russian).
6. Mosalkov I. L., Plyusnina G. F., Frolov A. Yu. *Ognestoykost stroitelnykh konstruktsiy* [Fire resistance of building structures]. Moscow, Spetsstekhnika Publ., 2001. 496 p. (in Russian).
7. Korolchenko D. A., Kholshchevnikov V. V. Differentiation of the concept of system approach to the urban environment analysis. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 7, pp. 44–51 (in Russian).

8. 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.
9. Borovskiyh A. V. Analysis of stress-strain state of reinforced concrete plate-shell. *Stroitel'naâ mehanika inzhenernykh konstruktsiy i sooruzhenij / Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*, 2008, no. 4, pp. 82–86 (in Russian).
10. Demekhin V. N., Lukinskiy V. M., Serkov B. B. *Pozharnaya opasnost i povedeniye stroitelnykh materialov v usloviyakh pozhara* [Fire hazard and behavior of building materials in fire conditions]. Saint Peterburg, Koveks Publ., 2002. 142 p. (in Russian).
11. Lukianov A. M., Korolchenko D. A., Agapov A. G. Fire hazards of the timber during bridge construction. *Mir transporta / World of Transport and Transportation*, 2012, vol. 10, no. 4(42), pp. 158–162 (in Russian).
12. Borovskikh A. V., Yagupov B. A. Efficiency of application of high-strength reinforcement in compressed zones of reinforced concrete structures. *Beton i zhelezobeton / Concrete and reinforced concrete*, 2009, no. 1, pp. 20–21 (in Russian).
13. Krukovskiy P. G., Kovalev A. I. A method for the determination of the characteristic of fire retardant capability of the coatings of multi-hollow ferroconcrete floor slabs. *Naukoviy visnik: tsivilnyi zakhist ta pozhazhna bezpeka / Scientific Bulletin: Civil Protection and Fire Safety*, 2011, no. 1(23), pp. 87–101 (in Russian).
14. Kovalev A. I. *Improvement of the method for assessing the fire retardant ability of coatings of reinforced concrete floors*. Cand. tech. sci. diss. Kiev, 2012. 163 p. (in Russian).
15. Borovskikh A. V. Experimental studies of reinforced concrete slabs of shells on large-scale models. In: *Prostranstvennyye konstruksii zdaniy i sooruzheniy. Tezisy dokladov nauchnoy sessii MOO i nauchnogo soveta RAASN* [The spatial structure of buildings and facilities. Abstracts of scientific session of the IPO and the scientific council of RAASN]. Moscow, 2007, pp. 14–15 (in Russian).
16. Stepanova V. F. Theory and practice of ensuring the safety of reinforcement in reinforced concrete structures. *Beton i zhelezobeton / Concrete and Reinforced Concrete*, 2007, no. 5, pp. 25–29 (in Russian).
17. Izotov Yu. L., Izotova T. Yu. On the limiting saturation value of the reinforcement compressed zone of the cross section of bent and eccentrically compressed elements. *Beton i zhelezobeton / Concrete and Reinforced Concrete*, 2007, no. 6, pp. 19–20 (in Russian).
18. Mitasov V. M., Logunova M. A., Statsenko N. V. New approaches to the solution of the tasks of deformation of reinforced framings with cracks. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost / Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real Estate*, 2017, vol. 7, no. 1(20), pp. 77–83 (in Russian).
19. Zaytsev A. M., Chernykh D. S. On system error of approximation of standard fire temperature conditions by mathematical formulas. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 7, pp. 14–17 (in Russian).
20. Kaledin V. O., Kaledin V. O., Strakhov V. L., Davydkin N. F., Marchenko A. Yu. The fire damage equipment structures system solidity analysis. *Matematicheskoe modelirovanie / Mathematical Models and Computer Simulations*, 2006, vol. 18, no. 8, pp. 93–100 (in Russian).
21. Werther N. Brandversuche an tunnelinnenschalenbetonen für den M 30-nordtunnel in Madrid. *Beton- und Stahlbetonbau*, 2006, vol. 101, issue 9, pp. 729–731. DOI: 10.1002/best.200608187.
22. Golovanov V. I., Pavlov V. V., Pekhotikov A. V. Experimental and analytical studies of the bearing capacity long-span reinforced concrete during fire exposure. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 11, pp. 31–38. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.11.31-38.
23. Consolazio G. R., McVay M. C., Rish J. W. III. Measurement and prediction of pore pressure in cement mortar subjected to elevated temperature. In: Phan L. T., Carino N. J., Duthinh D., Garboczi E. (eds.). *Proceedings of the International Workshop on Fire Performance of High-Strength Concrete*. Gaithersburg, Maryland, NIST, pp. 125–148.
24. Roytman V. V., Pasman H. J., Lukashevich I. E. The concept of evaluation of building resistance against combined hazardous effects “impact – explosion – fire” after aircraft crash. In: *Fire and Explosion Hazards. Proceedings of 4th International Seminar*. Londonderry, NI, UK, 2003, pp. 283–293.
25. Lees F. P. *Loss prevention in the process industries (3rd ed)*. Hazard identification, assessment and control. Texas, USA, Elsevier, Inc., 2005, vol. 1, pp. 1/1–16/307. DOI: 10.1016/b978-0-7506-7555-0.x5081-6.

For citation: Kostyuchenko E. G., Zakhmatov V. D. Determination of the limit states of loaded prestressed hollow core concrete floor slabs under fire exposure. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 2–3, pp. 67–74 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.02-03.67-74.

К. Ж. РАИМБЕКОВ, канд. физ.-мат. наук, заместитель начальника по научной работе, Кокшетауский технический институт Комитета по чрезвычайным ситуациям МВД Республики Казахстан (Республика Казахстан, 020000, Акмолинская обл., г. Кокшетау, ул. Акана-серы, 136; e-mail: kendeбай_63@mail.ru)

А. Б. КУСАИНОВ, магистр естественных наук, доцент кафедры защиты в чрезвычайных ситуациях, Кокшетауский технический институт Комитета по чрезвычайным ситуациям МВД Республики Казахстан (Республика Казахстан, 020000, Акмолинская обл., г. Кокшетау, ул. Акана-серы, 136; e-mail: arman_1703@mail.ru)

УДК 614.8.02

АНАЛИЗ ПОЖАРОВ В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН МЕТОДАМИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ

Рассмотрены статистические данные по пожарам, происшедшим в Республике Казахстан в период с 2005 по 2016 гг. С помощью методов математической статистики проведен анализ производственных и бытовых пожаров. Установлено, что число пожаров за последние годы сократилось. Выявлены точечная и интервальная оценки, которые выступают в качестве контроля критических показателей при мониторинге и прогнозировании чрезвычайных ситуаций. Рассчитаны средние интервальные значения для 16 регионов Республики Казахстан, по которым проведен сравнительный анализ.

Ключевые слова: математическая статистика; чрезвычайная ситуация; пожар; мониторинг чрезвычайных ситуаций; прогнозирование чрезвычайных ситуаций; эмпирический закон распределения выборки.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.02-03.75-81

Введение

Минимизация рисков возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС) и их последствий является одним из важных приоритетов государства. Для этих целей реализуются различные управленческие решения: мониторинг и прогнозирование ЧС, подготовка сил и средств, обучение населения и др. [1].

Немаловажное значение при управлении рисками играет анализ ЧС, происшедших в предыдущие годы [2–6]. В настоящее время специалистами в области предупреждения и ликвидации ЧС проводятся различные виды анализа.

В настоящей работе авторами предлагается математический анализ пожаров, происшедших в Республике Казахстан [7].

Цель и задача исследования — адаптация методов математического анализа к оценке пожарной безопасности муниципальных образований Республики Казахстан.

Методология

Методологической основой исследования является теория математической статистики. До настоящего времени в Республике Казахстан не проводились исследования по оценке пожарной безопасности с применением элементов математической

статистики. Однако решение вопросов по повышению уровня пожарной безопасности регионов Республики Казахстан без подобных исследований невозможно.

В связи с этим возникла необходимость в адаптации известных методов математической статистики к оценке пожарной безопасности в Республике Казахстан. Использование элементов математической статистики позволило провести оценку пожарной безопасности для 16 регионов Республики Казахстан, чем и определяется актуальность исследования [8]. Применение методов математической статистики к оценке пожарной безопасности необходимо для принятия управленческих решений по обеспечению необходимого уровня пожарной безопасности регионов на основании предельных интервальных значений.

Авторами проведен математический анализ производственных и бытовых пожаров, происшедших в Республике Казахстан в период с 2005 по 2016 гг. (рис. 1) [9].

Составим вариационный ряд (т. е. расположим в порядке возрастания количество пожаров) генеральной совокупности объемом $n = 12$ выборок (число пожаров) [10]. Для наглядности распределение ко-

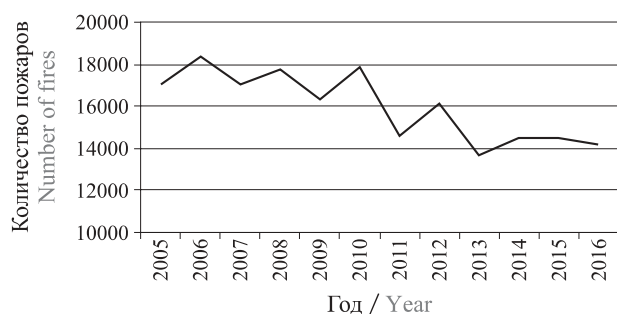


Рис. 1. Полигон распределения количества пожаров по годам [11]
Fig. 1. Polygon for the distribution of the number fires by year [11]

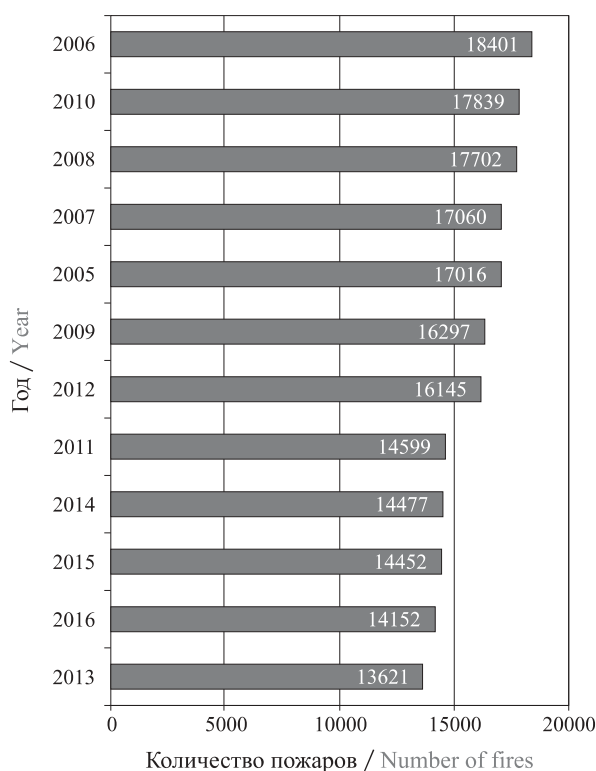


Рис. 2. Вариационный ряд количества пожаров
Fig. 2. Variational number of fires

личества пожаров по годам с 2005 по 2016 гг. представим в виде гистограммы (рис. 2).

Из рис. 2 видно, что количество пожаров за последние годы значительно сократилось [12]: с 18401 (наибольшее количество пожаров, зарегистрированное в 2006 г.) до 13621 (наименьшее количество пожаров, зафиксированное в 2013 г.). Соответственно, размах выборки (длина основного интервала, в который попадают все значения выборки), составил 4780 [13]. Это достаточно большая разница между количеством пожаров.

Результаты и их обсуждение

Проведем первичную обработку статистических данных. Разобьем основной интервал на 12 подынтервалов, длина каждого из которых составит $h_i =$

Таблица 1. Частота попадания числа пожаров из выборки в подынтервалы
Table 1. The frequency of the hit of the fires number from the sample to the subintervals

Подынтервал Subinterval	[13621; 14019,33)	[14019,33; 14417,66)	[14417,66; 14815,99)	[14815,99; 15214,32)	[15214,32; 15612,65)	[15612,65; 16010,98)	[16010,98; 16409,31)	[16409,31; 16807,64)	[16807,64; 17205,97)	[17205,97; 17604,30)	[17604,30; 18002,63)	[18002,63; 18401,00)
Частота попадания Frequency of hit	1	1	3	0	0	0	2	0	2	0	2	1

Таблица 2. Результаты первичной обработки статистических данных (эмпирический закон распределения выборки)
Table 2. Results of primary processing of statistical data (the empirical law of sample distribution)

Показатель Index	Середина подынтервала x_i / Subinterval middle x_i											
	13820,17	14218,5	14616,83	15015,16	15213,49	15811,82	16210,15	16608,48	17006,81	17405,14	17803,47	18201,82
Частота попадания Frequency of hit	1	1	3	0	0	0	2	0	2	0	2	1
Относительная частота Relative frequency	0,08	0,08	0,25	0	0	0	0,17	0	0,17	0	0,17	0,08
Плотность относительных частот Density of the relative frequencies	0,0002	0,0002	0,0006	0	0	0	0,0004	0	0,0004	0	0,0004	0,0002

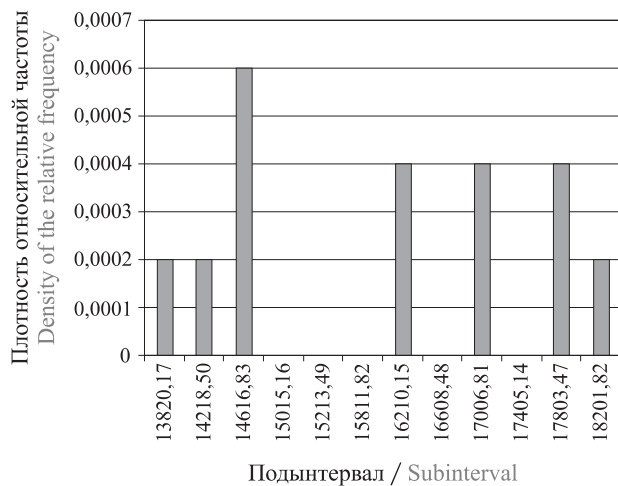


Рис. 3. Гистограмма выборки плотности относительных частот
Fig. 3. The histogram of the sample of relative-frequency density

= 398,33 ($i = \overline{1, 12}$) [14]. Определим количество попаданий значений числа пожаров в каждый подынтервал (табл. 1).

Из табл. 1 видно, что наибольшее число пожаров происходит в подынтервале от 14417,66 до 14815,99.

Далее по формулам n_i/n , $n_i/n \cdot h_i$ (где n_i — частота элемента выборки x_i) вычислим относительные частоты и плотности относительных частот [14] (табл. 2). В целях визуального анализа полученных в табл. 2 данных построена гистограмма плотности относительных частот (рис. 3).

По эмпирическому закону распределения выборки рассчитаем несмещенную оценку генеральной средней совокупности $\bar{x}_B$ по формуле [14]:

$$\bar{x}_B = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k n_i \cdot x_i. \quad (1)$$

Подставляя значения табл. 2 в формулу (1), получим $\bar{x}_B = 16010$. Данное значение достаточно велико, но в связи с тем что количество пожаров в республике сокращается, это значение со временем должно уменьшиться [13].

Далее рассчитаем смещенную оценку генеральной дисперсии (выборочная дисперсия D_B), несмещенную дисперсию (исправленная дисперсия S^2) и среднее квадратичное отклонение σ : $D_B = 2260986,1$; $S^2 = 2466530,3$ и $\sigma = 1571$ [14].

Доверительный интервал для оценки с надежностью $P = 0,95$ количества пожаров N_n в период с 2005 по 2016 гг. находим по формуле [15]:

$$\bar{x}_B - t \frac{\sigma}{\sqrt{n}} < N_n < \bar{x}_B + t \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (2)$$

где $t \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \delta$ точность оценки;

t — значение аргумента функции Лапласа $\Phi(t)$ [9].

Из условия (2) $\Phi(t) = 0,95$ находим, что $t = 1,96$. Тогда точность оценки $\delta = 890$, и формула (2) примет вид:

$$15120 < N_n < 16900. \quad (3)$$

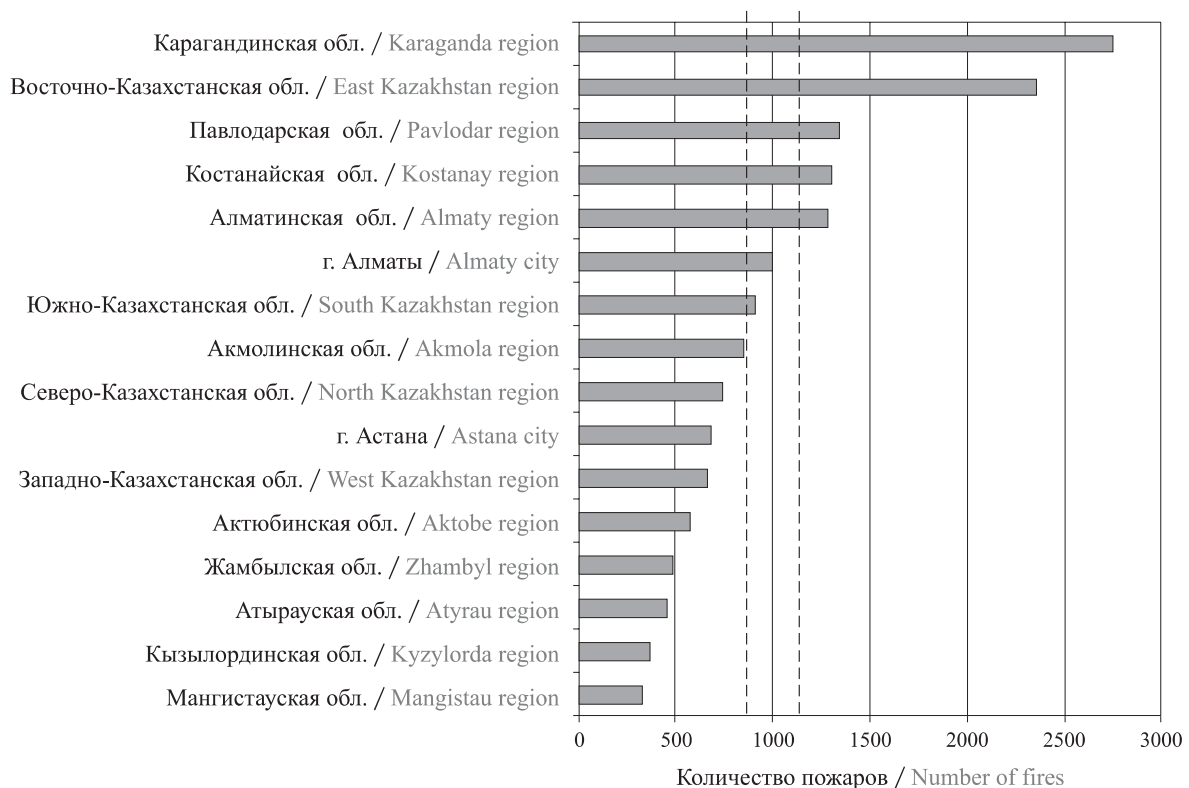


Рис. 4. Сравнительный анализ интервальных значений для регионов Казахстана (2005–2016 гг.)

Fig. 4. Comparative analysis of interval values for regions of Kazakhstan (2005–2016)

Согласно полученным интервальным значениям (3) рассчитаем средние интервальные значения для 16 регионов Республики Казахстан:

$$945 < N_{п(16)} < 1056. \quad (4)$$

По полученным интервальным значениям (4) проведем сравнительный анализ для 16 регионов Республики Казахстан (рис. 4).

Из рис. 4 видно, что в Карагандинской, Восточно-Казахстанской, Павлодарской, Костанайской и Алматинской областях количество пожаров в период с 2005 по 2016 гг. выходило за пределы правого (критического) значения интервала (4). На основании этого делаем вывод, что обстановку с пожарами в указанных регионах можно охарактеризовать как критическую.

В целях обеспечения определенного уровня пожарной безопасности уполномоченным органам в области пожарной безопасности необходимо, как минимум, удерживать количество пожаров в границах доверительного интервала (но при этом относиться к такой ситуации, как к критической), а желательнее всего — ниже правой границы доверительного интервала [16]. Для этого необходимо на постоянной

основе анализировать и прогнозировать обстановку с пожарами, разрабатывать и реализовывать соответствующие управленческие решения, а также повышать культуру безопасности общества [17, 18].

Выводы

Математический анализ пожарной безопасности в регионах Республики Казахстан показал, что в 5 регионах республики (Карагандинской, Восточно-Казахстанской, Павлодарской, Костанайской и Алматинской областях) уровень пожарной безопасности хуже среднереспубликанского показателя. В связи с этим местным исполнительным органам и уполномоченным органам в области пожарной безопасности указанных регионов необходимо усилить работу по реализации управленческих решений по минимизации пожарной опасности до границ доверительного интервала [19].

Предложенный подход к оценке уровня пожарной безопасности целесообразно использовать при проектировании противопожарных подразделений [20] и выделении средств на реализацию мероприятий по снижению пожарных рисков на соответствующих территориях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брушлинский Н. Н., Иванов О. В., Кленко Е. А., Соколов С. В. Пожарные риски (основы теории) : монография. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2015. — 65 с.
2. Annual report. Les statistiques des services d'incendie et de secours [Statistics of fire service calls in France]. — Edition 2015 (in French). URL: <https://www.interieur.gouv.fr> (дата обращения: 05.01.2018).
3. Annual report. The Singapore Civil Defense Force. — Edition 2015. URL: <https://www.scdf.gov.sg> (дата обращения: 05.01.2018).
4. Annual report. Annuario statistico del corpo nazionale dei vigili del fuoco [Annually statistics of fire service in Italy]. — Edition 2015. URL: <http://www.vigilfuoco.it> (дата обращения: 05.01.2018).
5. Annual report. Fire and Rescue Statistical Release. — Edition 2015. — London : Department for Communities and Local Government, 2015.
6. Annual report. New Zealand Fire service commission. — Edition 2015. URL: <https://fireandemergency.nz> (дата обращения: 05.01.2018).
7. Раимбеков К. Ж., Кусаинов А. Б. Прогнозирование пожаров статистическим методом // Технологии техносферной безопасности. — 2017. — № 2(72). — С. 50–54. URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2017-2/13-02-17.ttb.pdf> (дата обращения: 15.01.2018).
8. Раимбеков К. Ж., Кусаинов А. Б. Анализ подверженности Республики Казахстан чрезвычайным ситуациям природного и техногенного характера : монография. — Кокшетау : Кокшетауский технический институт КЧС МВД Республики Казахстан, 2015. — 197 с.
9. Токушев Ж. Е., Раимбеков К. Ж., Кусаинов А. Б. Управление рисками чрезвычайных ситуаций : учебно-методическое пособие. — Кокшетау : Проектно-аналитический инновационный центр Многопрофильного колледжа гражданской защиты, 2016. — 282 с.
10. Раимбеков К. Ж., Кусаинов А. Б. К вопросу о пожарной безопасности в Республике Казахстан // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. — 2017. — Т. 24, № 3. — С. 56–60.
11. World fire statistics. Fire risks in the world. — Moscow–Berlin : Center of Fire Statistics of CTIF, 2008. — 548 p.
12. Шварев А. А., Шамишович Е. О., Шамишович В. Ф., Шварева Е. Н. Анализ чрезвычайных ситуаций в России с помощью математической статистики // Нефтегазовое дело. — 2016. — Т. 14, № 3. — С. 204–208.
13. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. — М. : Физматлит, 2006. — 816 с.

14. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика : учебник для прикладного бакалавриата. — 12-е изд. — М. : Изд-во Юрайт, 2016. — 479 с.
15. Brushlinsky N. N., Sokolov S. V., Wagner P., Hall J. R. World fire statistics. Report No. 10. — 2nd ed. — Berlin : Center of Fire Statistics of CTIF, 2005. — 200 p.
16. Perminov V. Mathematical modeling of crown forest fire initiation // Proceedings of the 10th International Conference on Mathematical Methods, Computational Techniques and Intelligent Systems (MAMECTIS'08) (Corfu, Greece, October 26–28, 2008). — WSEAS, 2008. — P. 143–148.
17. Cox G. Combustion fundamentals of fire. — London : Academic Press, 1995. — 476 p.
18. Bukowski R. W. A review of international fire risk prediction methods. — College Park, Maryland : University of Maryland, 2003. — 67 p.
19. Матюшин Ю. А., Чечетина Т. А. Обстановка с пожарами в Российской Федерации в I квартале 2017 года // Пожарная безопасность. — 2017. — № 2. — С. 144–162.
20. Herweg Harald, Wagner Peter. Schnell wie die Feuerwehr // VFDB. — November 2013. — Heft 4. — S. 194–204 (in German).

Материал поступил в редакцию 20 января 2018 г.

Для цитирования: Раимбеков К. Ж., Кусаинов А. Б. Анализ пожаров в Республике Казахстан методами математической статистики // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 2–3. — С. 75–81. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.02-03.75-81.

English

ANALYSIS OF FIRES IN THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN BY METHODS OF MATHEMATICAL STATISTICS

RAIMBEKOV K. Zh., Candidate of Physic-Mathematical Sciences, Deputy Head for Scientific Work, Kokshetau Technical Institute of the Committee for Emergency Situations of the Ministry of Internal Affairs of the Republic of Kazakhstan (Akan-seri St., 136, Kokshetau, Akmola region, 020000, Republic of Kazakhstan; e-mail: kendeбай_63@mail.ru)

KUSSAINOV A. B., Master of Natural Sciences, Associate Professor of Department of Emergency Protection, Kokshetau Technical Institute of the Committee for Emergency Situations of the Ministry of Internal Affairs of the Republic of Kazakhstan (Akan-seri St., 136, Kokshetau, Akmola region, 020000, Republic of Kazakhstan; e-mail: arman_1703@mail.ru)

ABSTRACT

Aims. The aim and objective of the study is to adapt the methods of mathematical analysis to the assessment of fire safety of municipal entities of the Republic of Kazakhstan.

Methods. The methodological basis of the study is the theory of mathematical statistics. Up to date, the fire safety assessment by means of mathematical statistics has not been carried out in the Republic of Kazakhstan.

It is impossible to solve the problem of increasing the level of fire safety in the regions of the Republic of Kazakhstan without such studies. Therefore, there is a need to adapt the known methods of mathematical statistics of fire safety in the Republic of Kazakhstan, to carry out such an assessment, which makes it possible to characterize security for 16 regions of the Republic of Kazakhstan that determines the relevance of the study. Applying the methodology of mathematical statistics of fire safety is necessary for making managerial decisions to ensure the necessary level of fire safety of regions on the basis of limit interval values.

Results. A sequential mathematical analysis of fire safety in the republic was carried out. On the basis of the results of the study, limit interval values of fire safety for 16 regions of the Republic of Kazakhstan are justified. According to the results of the analysis, it is determined that the interval values of fires for the regions of the republic are $945 < N_{f(16)} < 1056$, in Karaganda, East Kazakhstan, Pavlodar, Kostanay and Almaty regions, the number of fires in the period from 2005 to 2016 were beyond the limits of the right value of the interval. In this connection, the situation with fires was worse in these regions than in the republic.

Field of application of scientific results. The obtained results can be used by both local executive and authorized bodies in the field of fire safety when developing appropriate management solutions to reduce the fire risk, as well as when developing a fire fighting service.

Conclusion. The conducted mathematical analysis of fire safety in the regions of the Republic of Kazakhstan has shown that in the five regions of the republic (Karaganda, East Kazakhstan, Pavlodar, Kostanay and Almaty regions) between 2005 and 2016, the level of fire safety was worse than the average republican rate. In this connection, work on implementation of management decisions to minimize fire danger to the boundaries of the confidence interval should be strengthened in the local executive bodies and authorized bodies in the field of fire safety of these regions.

The proposed approach to assessing fire safety levels is advisable to use in the design of fire departments and allocation of funds for the implementation of activities to reduce fire risks in the relevant territories.

Keywords: mathematical statistics; emergency situation; fire; emergencies monitoring; emergencies prediction; empirical law of sample distribution.

REFERENCES

1. Brushlinskiy N. N., Ivanov O. V., Klepko E. A., Sokolov S. V. *Pozharnyye riski (osnovy teorii). Monografiya* [Fire risks (theory fundamentals). Monograph]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2015. 65 p. (in Russian).
2. *Annual report. Les Statistiques des Services d'Incendie et de Secours* [Statistics of fire service calls in France]. Edition 2015 (in French). Available at: <https://www.interieur.gouv.fr> (Accessed 5 January 2018).
3. *Annual report. The Singapore Civil Defense Force*. Edition 2015. Available at: <https://www.scdf.gov.sg> (Accessed 5 January 2018).
4. *Annual report. Annuario statistico del corpo nazionale dei vigili del fuoco* [Annually statistics of fire service in Italy]. Edition 2015 (in Italian). Available at: <http://www.vigilfuoco.it> (Accessed 5 January 2018).
5. *Annual report. Fire and rescue statistical release*. Edition 2015. London, Department for Communities and Local Government, 2015.
6. *Annual report. New Zealand Fire service commission*. Edition 2015. Available at: <https://fireandemergency.nz> (Accessed 5 January 2018).
7. Raimbekov K. Zh., Kussainov A. B. Forecast of the fires by the statistical method. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti / Technology of Technosphere Safety*, 2017, no. 2(72), pp. 50–54 (in Russian). Available at: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2017-2/13-02-17.ttb.pdf> (Accessed 15 January 2018).
8. Raimbekov K. Zh., Kussainov A. B. *Analiz podverzhennosti Respubliki Kazakhstan chrezvychaynym situatsiyam prirodnogo i tekhnogennogo kharaktera. Monografiya* [Analysis of the vulnerability of the Republic of Kazakhstan to emergency situations of natural and man-made nature. Monograph]. Kokshetau, Kokshetau Technical Institute of Committee of Emergency Situations of the Ministry of Internal Affairs of the Republic of Kazakhstan Publ., 2015. 197 p. (in Russian).
9. Tokushev Zh. E., Raimbekov K. Zh., Kussainov A. B. *Upravleniye riskami chrezvychaynykh situatsiy* [Management of emergency situation risks]. Kokshetau, Design and Analytical Innovation Center of the Multidisciplinary Civil Protection College Publ., 2016. 282 p. (in Russian).
10. Paimbekov K. Zh., Kussainov A. B. To the question of fire safety in the Republic of Kazakhstan. *Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MChS Rossii / Bulletin of Voronezh Institute of State Fire Service of Emercom of Russia*, 2017, vol. 24, no. 3, pp. 56–60 (in Russian).
11. *World fire statistics. Fire risks in the world*. Moscow, Berlin, Center of Fire Statistics of CTIF, 2008. 548 p. (in Russian).
12. Shvarev A. A., Shamshovich E. O., Shamshovich V. F., Shvareva E. N. Analyses of emergency situation with the help of mathematical statistics in Russia. *Neftegazovoye delo / Oil and Gas Business*, 2016, vol. 14, no. 3, pp. 204–208 (in Russian).
13. Kobzar A. I. *Prikladnaya matematicheskaya statistika. Dlya inzhenerov i nauchnykh rabotnikov* [Applied mathematical statistics. For engineers and scientists]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2006. 816 p. (in Russian).
14. Gmurman V. E. *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika: uchebnik dlya prikladnogo bakalavriata* [Theory of probability and mathematical statistics. Textbook for applied baccalaureate]. 12th ed. Moscow, Yurayt Publ., 2016. 479 p. (in Russian).

15. Brushlinsky N. N., Sokolov S. V., Wagner P., Hall J. R. *World fire statistics. Report No. 10*. 2nd ed. Berlin, Center of Fire Statistics of CTIF, 2005. 200 p.
16. Perminov V. Mathematical modeling of crown forest fire initiation. In: *Proceedings of the 10th International Conference on Mathematical Methods, Computational Techniques and Intelligent Systems (MAMECTIS'08)* (Corfu, Greece, October 26–28, 2008). WSEAS, 2008, pp. 143–148.
17. Cox G. *Combustion fundamentals of fire*. London, Academic Press, 1995. 476 p.
18. Bukowski R. W. *A review of international fire risk prediction methods*. College Park, Maryland, University of Maryland, 2003. 67 p.
19. Matyushin Yu. A., Chechetina T. A. Fire situation in the Russian Federation in first half-year 2017. *Pozharnaya bezopasnost / Fire Safety*, 2017, no. 2, pp. 144–162 (in Russian).
20. Herweg Harald, Wagner Peter. Schnell wie die Feuerwehr. *VFDB*, November 2013, heft 4, ss. 194–204 (in German).

For citation: Raimbekov K. Zh., Kussainov A. B. Analysis of fires in the Republic of Kazakhstan by methods of mathematical statistics. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 2–3, pp. 75–81 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.02-03.75-81.



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.

А. Д. ИЩЕНКО, канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры пожарной тактики и службы, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: adiko@mail.ru)

В. В. КЛЮЙ, канд. пед. наук, доцент, профессор кафедры организации пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: opipasr@mail.ru)

С. В. ПОЛЫНЬКО, канд. техн. наук, доцент, заместитель начальника кафедры организации пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: opipasr@mail.ru)

А. А. ТАРАНЦЕВ, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры организации пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149); заведующий лабораторией проблем безопасности транспортных систем, Институт проблем транспорта им. Н. С. Соломенко Российской академии наук (ИПТ РАН) (Россия, 199178, г. Санкт-Петербург, 12-я линия ВО, 13; e-mail: t_54@mail.ru)

УДК 614.84

О ПОСТРОЕНИИ УТОЧНЕННОГО СОВМЕЩЕННОГО ГРАФИКА ДЛЯ РАСЧЕТА СИЛ И СРЕДСТВ ДЛЯ ТУШЕНИЯ ПОЖАРА

Рассмотрена задача построения уточненного совмещенного графика для расчета сил и средств пожарной охраны, привлекаемых к тушению возможного пожара, который может использоваться при разработке планов тушения пожаров для наиболее важных зданий и сооружений в гарнизонах пожарной охраны. Показано, что в отличие от стандартного совмещенного графика усовершенствованный график, помимо площади пожара, площади тушения, требуемого и фактического расхода огнетушащего вещества, учитывает периметр пожара у огнестойких ограждений (стен помещения) и текущий объем воды, расходуемый на тушение. Оценивается динамика линейной скорости распространения пожара и путь, пройденный его фронтом. Для облегчения и ускорения расчетов разработана специальная компьютерная программа. Приведены примеры усовершенствованных совмещенных графиков.

Ключевые слова: пожар; план тушения пожара; совмещенный график; расчет сил и средств; огнетушащее вещество; действия пожарных.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.02-03.82-92

Введение

Борьба с пожарами является одной из важнейших функций государства, ввиду чего 21.12.1994 был принят специальный Федеральный закон № 69-ФЗ “О пожарной безопасности” [1], разработана нормативная база, включающая ГОСТы (например, ГОСТ 12.1.004–91*), технический регламент [2], своды правил (СП) и другие документы [3]. Порядок тушения пожаров регламентирован приказом МЧС от 31.03.2011 № 156 [4]. Особенности тушения пожаров на различных объектах изложены в учебниках пожарной тактики [5–8], справочниках руководителя тушения пожара [9] и начальника караула пожарной части [10], руководствах [11] и других отечественных и зарубежных работах [12–15].

Тем не менее процесс тушения пожаров связан с риском для жизни и здоровья пожарных как у нас,

так и за рубежом [16–18]. В связи с этим был проведен ранее и проводится в настоящее время большой объем исследований в части развития и тушения пожаров [19–25], в том числе с применением робототехнических систем [26].

Важное место в обеспечении пожарной безопасности занимает составление планов тушения пожаров (ПТП) [27] с расчетом необходимого количества сил и средств (СиС) для наиболее значимых объектов в гарнизонах пожарной охраны. Неотъемлемой составляющей ПТП является построение совмещенного графика [5–8] для расчета сил и средств, необходимых для тушения прогнозируемого пожара класса А [2] в помещениях и зданиях объектов.

На совмещенном графике в декартовой системе координат одновременно отображается изменение во времени: площади пожара $S_{\text{п}}(t)$, площади туше-

ния $S_t(t)$, требуемого расхода огнетушащего вещества (ОТВ) (чаще всего воды) $Q_t(t)$ и его фактического расхода $Q_\phi(t)$ на тушение. Исходными данными для построения совмещенного графика являются: геометрия площади помещения; линейная скорость V распространения пламени по поверхности пожарной нагрузки; интенсивность подачи ОТВ I [9, 10]; вид стволов (как правило, “Б” для помещений) и время подачи их на тушение. При построении стандартного совмещенного графика принимаются следующие основные допущения:

- пожарная нагрузка однородна и равномерно распределена по площади помещения;
- линейная скорость $V(t)$ распространения пламени в первые 10 мин (пока пожарная нагрузка не прогрелась) вдвое меньше номинальной V_n , а затем достигает этой величины;
- тушение пожара осуществляется в глубину 5 м от фронта пожара.

Расчетный метод построения стандартного совмещенного графика согласно [5–8] регламентирует следующие действия.

1. Исходя из места расположения очага пожара определяется путь R , пройденный фронтом пожара:

$$R(t) = \int_0^t V(t) dt, \quad (1)$$

где t — время, отсчитываемое с момента начала пожара.

2. По зависимости $R(t)$ на основе геометрических соображений определяются площади $S_n(t)$ и $S_t(t)$. При этом чаще всего рассматриваются типовые случаи, когда очаг пожара в центре помещения, у стены или в углу.

3. По величине $S_t(t)$ определяется требуемый расход ОТВ $Q_{тр}$ на тушение пожара:

$$Q_{тр} = S_t I. \quad (2)$$

4. По данным о виде применяемых стволов (как правило, “Б”) определяется их минимально необходимое количество N_B для тушения:

$$N_B = \Pi(Q_{тр}/q) + K, \quad (3)$$

где $\Pi(x)$ — целая часть числа x , например: $\Pi(5,7) = 5$;
 q — расход ОТВ из ствола; для ствола “Б” $q \approx 3,7$ л/с;

K — параметр, равный 1 для стандартного совмещенного графика.

5. В соответствии с расписанием выездов (расположением ближайших пожарных частей, привлекаемых к тушению данного пожара) определяется время подачи стволов и строится соответствующая ступенчатая функция $N_B(t)$.

6. Исходя из динамики подачи стволов на тушение $N_B(t)$ определяется фактический расход ОТВ на тушение:

$$Q_\phi(t) = N_B(t) q. \quad (4)$$

7. При выполнении условия

$$Q_\phi(t) > Q_{тр} \quad (5)$$

определяется время локализации пожара t_L по признаку достаточности количества стволов, подаваемых на тушение.

Таким образом, стандартный совмещенный график представляет собой набор функций $\{S_n(t), S_t(t), Q_{тр}(t), N_B(t), Q_\phi(t)\}$, располагаемых совместно в декартовой (прямоугольной) системе координат с горизонтальной осью, где отложено время t , отсчитываемое с момента начала возможного пожара. Зависимость $Q_\phi(t)$ совместно с расходом ОТВ $Q_{защ}$ на защиту конструкций от опасных факторов пожара [2] используется при составлении ПТП для расчета СиС и предварительного планирования действий по тушению возможного пожара, в том числе для оценки достаточности водоснабжения путем сопоставления суммарного расхода ОТВ $Q_{тз} = Q_\phi + Q_{защ}$ с табличным значением водоотдачи $Q_{таб}$ сети наружного противопожарного водопровода [9] и определения ранга пожара.

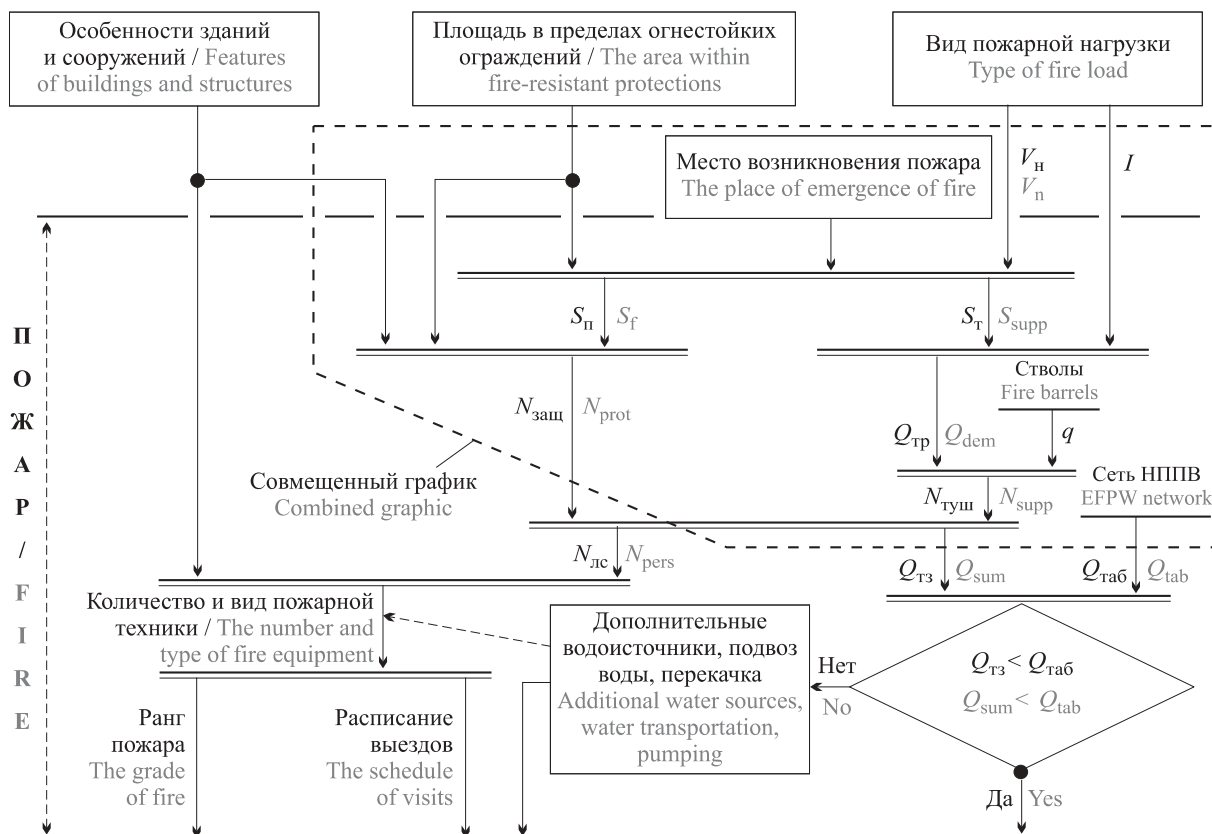
Обобщенная схема расчета СиС с учетом построения совмещенного графика, разработанная в [3], приведена на рис. 1.

Проблема

Тем не менее существующий подход [5–8] к построению стандартных совмещенных графиков имеет ряд недостатков:

- динамика параметров $S_n(t)$, $S_t(t)$, $Q_{тр}(t)$, $N_B(t)$ и $Q_\phi(t)$ при $t > t_L$ отображается весьма условно (в работе [28] приводятся лишь выражения, аналогичные (2)–(5), но не сам график; в учебнике [7] оговорено, что линейная скорость V убывает по мере подачи стволов на тушение, но рассматривается только упрощенный случай пожара прямоугольной формы; в работе [29] также весьма условно показана динамика S_n и S_t при $t > t_L$);
- такой упрощенный вид совмещенного графика при $t > t_L$ не дает объективной оценки времени прекращения открытого горения и изменения объема ОТВ $M(t)$, расходуемого на тушение;
- не предусматривается определение изменения периметра стен помещения (здания), подвергающегося воздействию пламени (“обогреваемого” периметра), и оценка риска превышения пределов огнестойкости стен [30];

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ОБЪЕКТА
THE SOURCE DATA OBJECT



Локализация пожара, ликвидация открытого горения
Location of the fire, the elimination of open burning

Рис. 1. Обобщенная схема расчета СиС для тушения пожара: $N_{т}$, $N_{защ}$ — число стволов, подаваемых соответственно на тушение и защиту; $N_{лс}$ — количество привлекаемого личного состава; сеть НППВ — сеть наружного противопожарного водопровода
Fig. 1. General scheme of the calculation of forces and means to extinguish the fire: N_{supp} , N_{prot} — the number of trunks on suppression and protection, respectively; N_{pers} — the number of involved personnel; EFPW network — external fire-prevention water network

- не рассматриваются варианты подачи избыточного количества стволов на тушение, когда в выражении (3) $K > 1$;
 - отмечается значительная трудоемкость построения совмещенного графика.
 - предлагается аналитическое выражение для оценки величины линейной скорости V распространения фронта пламени во времени в зависимости от количества стволов, подаваемых на тушение;
 - предлагается выражение для изменения “обогреваемого” периметра ограждающих конструкций во времени для оценки их устойчивости при пожаре при известных пределах огнестойкости [30];
- Целью настоящей статьи является разработка методики построения усовершенствованного совмещенного графика, лишенного данных недостатков. Для этого решаются следующие задачи:

Таблица 1. Параметры свободного развития пожара при расположении очага в центре помещения
Table 1. Parameters for the free development of the fire in the hearth in the center of the room

$R, м / R, m$	$S_{п}, м^2 / S_{ф}, м^2$	$П, м / П, m$	$П_{т}, м / П_{supp}, m$
$< 0,5a$	πR^2	0	$2\pi R$
$\in \left[\frac{a}{2}; \frac{b}{2} \right)$	$R^2 \left(\pi - 2 \arccos \frac{a}{2R} \right) + a \sqrt{R^2 - a^2/4}$	$4\sqrt{R^2 - a^2/4}$	$4R \arcsin \frac{a}{2R}$
$\in \left[\frac{b}{2}; \sqrt{\frac{a^2}{4} + \frac{b^2}{4}} \right)$	$R^2 \left(\pi - 2 \arccos \frac{a}{2R} - 2 \arccos \frac{b}{2R} \right) + a \sqrt{R^2 - 0,25a^2} + b \sqrt{R^2 - 0,25b^2}$	$4\sqrt{R^2 - a^2/4} + 4\sqrt{R^2 - b^2/4}$	$2R\pi - 4R \arccos \frac{a}{2R} - 4R \arcsin \frac{b}{2R}$

Таблица 2. Параметры свободного развития пожара при расположении очага у большей стенки ($2a > b$)

Table 2. Parameters for the free development of the fire in the hearth most of the wall ($2a > b$)

$R, м / R, m$	$S_{п}, м^2 / S_{г}, м^2$	$П, м / П, m$	$П_{т}, м / П_{supp}, m$
$< 0,5b$	$0,5\pi R^2$	$2R$	πR
$\in \left[\frac{b}{2}; a \right)$	$R^2 \left(\frac{\pi}{2} - \arccos \frac{b}{2R} \right) + \frac{b}{2} \sqrt{R^2 - b^2/4}$	$b + 2\sqrt{R^2 - b^2/4}$	$R \left(\pi - 2 \arccos \frac{b}{2R} \right)$
$\in \left[a; \sqrt{a^2 + \frac{b^2}{4}} \right)$	$R^2 \left(\frac{\pi}{2} - \arccos \frac{a}{R} - \arccos \frac{b}{2R} \right) +$ $+ a \sqrt{R^2 - a^2} + 0,5b \sqrt{R^2 - 0,25b^2}$	$b + 2\sqrt{R^2 - a^2} +$ $+ 2\sqrt{R^2 - b^2/4}$	$\pi R - 2R \arccos \frac{a}{R} -$ $- 2R \arccos \frac{b}{2R}$

Таблица 3. Параметры свободного развития пожара при расположении очага у большей стенки ($2a \leq b$)

Table 3. Parameters for the free development of the fire in the hearth most of the wall ($2a \leq b$)

$R, м / R, m$	$S_{п}, м^2 / S_{г}, м^2$	$П, м / П, m$	$П_{т}, м / П_{supp}, m$
$< a$	$0,5\pi R^2$	$2R$	πR
$\in \left[a; \frac{b}{2} \right)$	$R^2 \left(\frac{\pi}{2} - \arccos \frac{a}{R} \right) + a \sqrt{R^2 - a^2}$	$2 \left(R + \sqrt{R^2 - a^2} \right)$	$R \left(\pi - 2 \arccos \frac{a}{R} \right)$
$\in \left[\frac{b}{2}; \sqrt{a^2 + \frac{b^2}{4}} \right)$	$R^2 \left(\frac{\pi}{2} - \arccos \frac{a}{R} - \arccos \frac{b}{2R} \right) +$ $+ a \sqrt{R^2 - a^2} + 0,5b \sqrt{R^2 - 0,25b^2}$	$b + 2\sqrt{R^2 - a^2} +$ $+ 2\sqrt{R^2 - b^2/4}$	$\pi R - 2R \arccos \frac{a}{R} -$ $- 2R \arccos \frac{b}{2R}$

Таблица 4. Параметры свободного развития пожара при очаге у меньшей стенки

Table 4. Parameters for the free development of the fire in the hearth have a smaller wall

$R, м / R, m$	$S_{п}, м^2 / S_{г}, м^2$	$П, м / П, m$	$П_{т}, м / П_{supp}, m$
$< 0,5a$	$0,5\pi R^2$	$2R$	πR
$\in \left[\frac{a}{2}; b \right)$	$R^2 \left(\frac{\pi}{2} - \arccos \frac{a}{2R} \right) + \frac{a}{2} \sqrt{R^2 - a^2/4}$	$a + 2\sqrt{R^2 - a^2/4}$	$R \left(\pi - 2 \arccos \frac{a}{2R} \right)$
$\in \left[b; \sqrt{\frac{a^2}{4} + b^2} \right)$	$R^2 \left(\frac{\pi}{2} - \arccos \frac{a}{2R} - \arccos \frac{b}{R} \right) +$ $+ 0,5a \sqrt{R^2 - 0,25a^2} + b \sqrt{R^2 - b^2}$	$a + 2\sqrt{R^2 - a^2/4} +$ $+ 2\sqrt{R^2 - b^2}$	$\pi R - 2R \arccos \frac{b}{R} -$ $- 2R \arccos \frac{a}{2R}$

Таблица 5. Параметры свободного развития пожара при расположении очага в углу помещения

Table 5. Parameters for the free development of the fire in the hearth in corner of room

$R, м / R, m$	$S_{п}, м^2 / S_{г}, м^2$	$П, м / П, m$	$П_{т}, м / П_{supp}, m$
$< a$	$0,25\pi R^2$	$2R$	$0,5\pi R$
$\in [a; b)$	$\frac{R^2}{2} \left(\frac{\pi}{2} - \arccos \frac{a}{R} \right) + \frac{a}{2} \sqrt{R^2 - a^2}$	$a + R + \sqrt{R^2 - a^2}$	$R \left(\frac{\pi}{2} - 2 \arccos \frac{a}{R} \right)$
$\in \left[b; \sqrt{a^2 + b^2} \right)$	$\frac{R^2}{2} \left(\frac{\pi}{2} - \arccos \frac{a}{R} - \arccos \frac{b}{R} \right) +$ $+ 0,5a \sqrt{R^2 - a^2} + 0,5b \sqrt{R^2 - b^2}$	$a + \sqrt{R^2 - a^2} +$ $+ b + \sqrt{R^2 - b^2}$	$\frac{\pi R}{2} - R \arccos \frac{b}{R} -$ $- R \arccos \frac{a}{R}$

- разработана компьютерная программа для построения усовершенствованного совмещенного графика, позволяющая в интерактивном режиме моделировать развитие пожара и варианты его тушения при различной динамике подачи стволов на тушение $N_B(t)$ с оценкой изменения площадей

$S_{п}(t)$ и $S_{г}(t)$, периметра пожара $П(t)$, фактического расхода $Q_{ф}(t)$ и общего количества $M(t)$ ОТВ.

Построение усовершенствованного совмещенного графика значительно облегчает расчет СиС при составлении ПТП [4], а также при подготовке пожарных специалистов.

Построение усовершенствованного совмещенного графика

Для построения усовершенствованного совмещенного графика предложено, помимо вышеупомянутых действий 1–7, давать оценку изменения линейной скорости распространения пламени по пожарной нагрузке по выражению

$$V(t) = V_n \left(1 - \frac{Q_\phi(t)}{Q_{тр}} \right). \quad (6)$$

Отрицательные значения скорости $V(t)$ могут свидетельствовать о том, что площадь пожара S_n стала сокращаться, т. е. достигнуто одно из условий его локализации.

Для упрощения и ускорения расчетов разработана специальная компьютерная программа SPFIRE.EXE, в которой динамика изменения площади $S_n(t)$, “обогреваемого” периметра стен $\Pi(t)$ и периметра тушения $\Pi_t(t)$ определяется по геометрическим соотношениям из табл. 1–5 с учетом (1) и предельного соотношения

$$\left(\begin{array}{l} S_n = ab \\ \Pi = 2(a + b) \end{array} \right) \text{ при}$$

$$R_{\max} = \begin{cases} 0,5\sqrt{a^2 + b^2} & \text{очаг в центре помещения;} \\ \sqrt{a^2 + 0,25b^2} & \text{очаг у большей стены;} \\ \sqrt{0,25a^2 + b^2} & \text{очаг у меньшей стены;} \\ \sqrt{a^2 + b^2} & \text{очаг в углу помещения,} \end{cases} \quad (7)$$

где a, b — ширина и длина помещения соответственно;

$R_{\max}$ — максимальное расстояние от очага пожара до наиболее удаленной части помещения.

Используются также известные выражения (2)–(4) и (6), а количество ОТВ, расходуемое на тушение, определяется как:

$$M(t) = \int_0^t Q_\phi(t) dt. \quad (8)$$

С помощью программы SPFIRE.EXE проведено моделирование четырех вариантов возможного пожара (очаг в углу, у меньшей стены, у большей стены и в центре помещения) на складе размером 10×20 м с пожарной нагрузкой, для которой номинальная линейная скорость распространения пламени $V_n \approx 1$ м/мин, интенсивность подачи ОТВ (воды) на тушение $I = 0,2$ л/(м²·с), и построены усовершенствованные совмещенные графики (рис. 2). На них изображены совместно параметры пожара и тушения $\{S_n(t), S_t(t), Q_{тр}(t), Q_\phi(t), \Pi(t), M(t)\}$, позволяющие объективно (в рамках оговоренных допущений) оценить время локализации пожара t_d и время ликвидации открытого горения, а также динамику из-

менения указанных параметров при различном числе N_B подаваемых на тушение стволов. Для справки: на рис. 3 показана динамика подачи стволов $N_B(t)$, изменения расстояния $R(t)$ и линейной скорости фронта пожара $V(t)$. На рис. 2, в, 2, г и рис. 3, в, 3, г пунктиром показаны параметры при подаче одного сверхнормативного ствола, на рис. 2, г и 3, г штрихпунктиром отмечена динамика параметров при подаче двух сверхнормативных стволов (8 вместо требуемых 6).

Выводы

Таким образом, проиллюстрирована возможность построения усовершенствованных совмещенных графиков развития и тушения пожара, на которых в динамике совместно представлены основные параметры: $\{S_n(t), S_t(t), Q_{тр}(t), Q_\phi(t), \Pi(t), M(t)\}$, позволяющие определить не только время локализации пожара, но и время ликвидации открытого горения, что крайне условно делалось в стандартных совмещенных графиках.

Показана возможность сокращения времени ликвидации открытого горения и, как следствие, общего объема ОТВ, использованного при подаче сверхнормативного количества стволов на тушение. Обеспечена возможность оценки времени воздействия пламени на ограждающие конструкции и поврежденной пожаром площади помещения.

Усовершенствованный совмещенный график позволяет более качественно планировать действия по тушению возможного пожара, так как становится возможным спрогнозировать время ликвидации открытого горения, необходимый для тушения объем ОТВ, оценить риск разрушения ограждающих конструкций от продолжительности воздействия пламени на периметр помещения и, при необходимости, предложить меры по защите ограждающих конструкций в зависимости от их пределов огнестойкости.

Процесс построения совмещенного графика реализован в виде компьютерной программы, что позволяет оперативно рассмотреть различные варианты развития и тушения пожара.

На основе проведенного моделирования показано, что сверхнормативная подача стволов на тушение пожара хотя и потребует соответственно большего расхода ОТВ и количества пожарных, но ускорит ликвидацию открытого горения и позволит сэкономить общий объем ОТВ, что имеет существенное значение при ограниченных размерах пожарных водоемов и необходимости защиты нижележащих этажей от повреждения избыточным количеством воды.

Рассмотренный подход может использоваться как при создании и переработке ПТП, так и при подготовке специалистов в области пожарной безопасности.

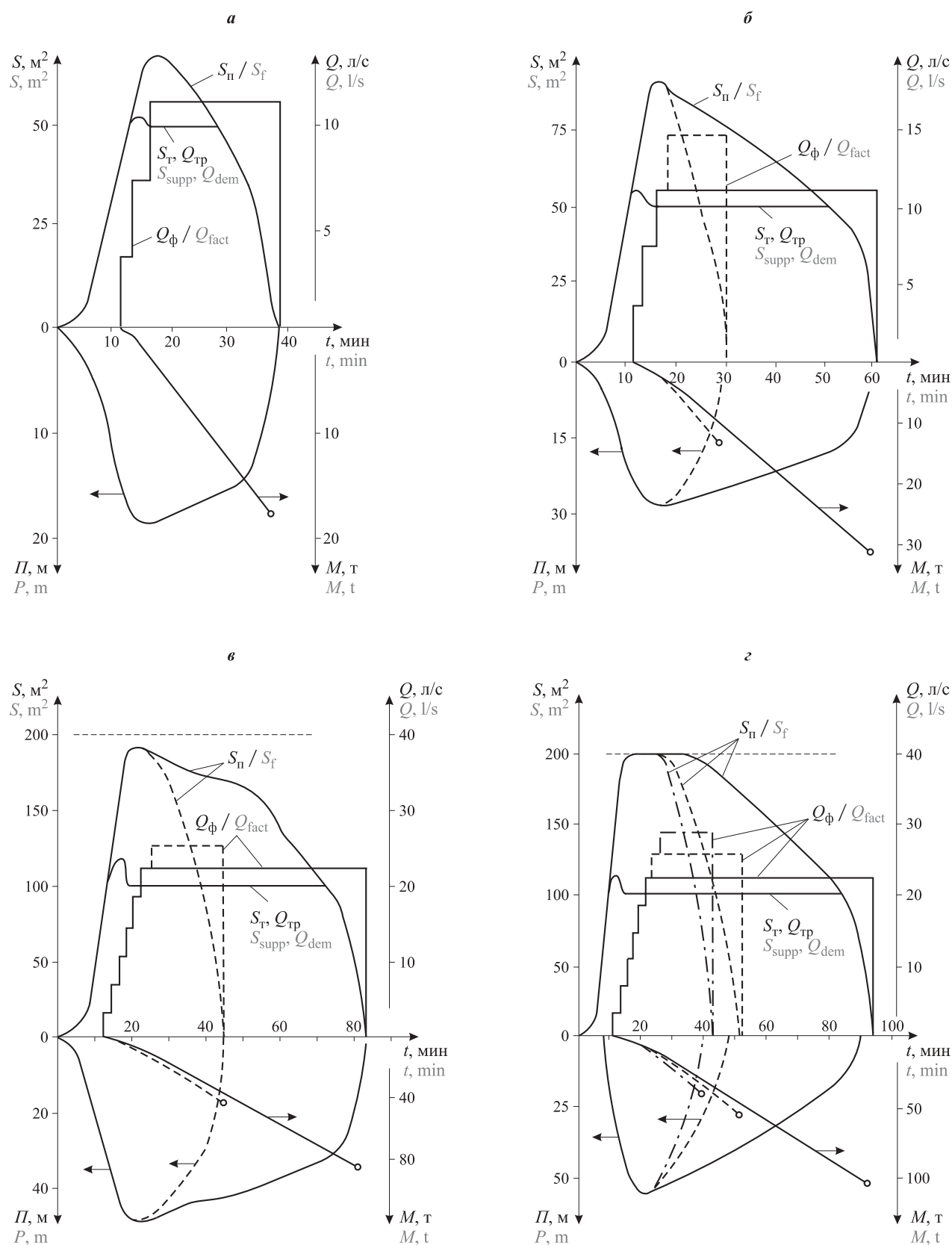


Рис. 2. Примеры усовершенствованных совмещенных графиков для пожара класса А в помещении 10×20 м при $V_n = 1$ м/мин и $I = 0,2$ л/(м²·с) при расположении очага пожара в углу помещения (а), у меньшей стены (б), у большей стены (в), в центре (г)

Fig. 2. Examples of combined improved graphics for the fire class A in the room 10×20 m at $V_n = 1$ m/min and $I = 0.2$ l/(m²·s) in location of the fire in the corner of premise (a), in a small wall (b), in most wall (v), in center (g)

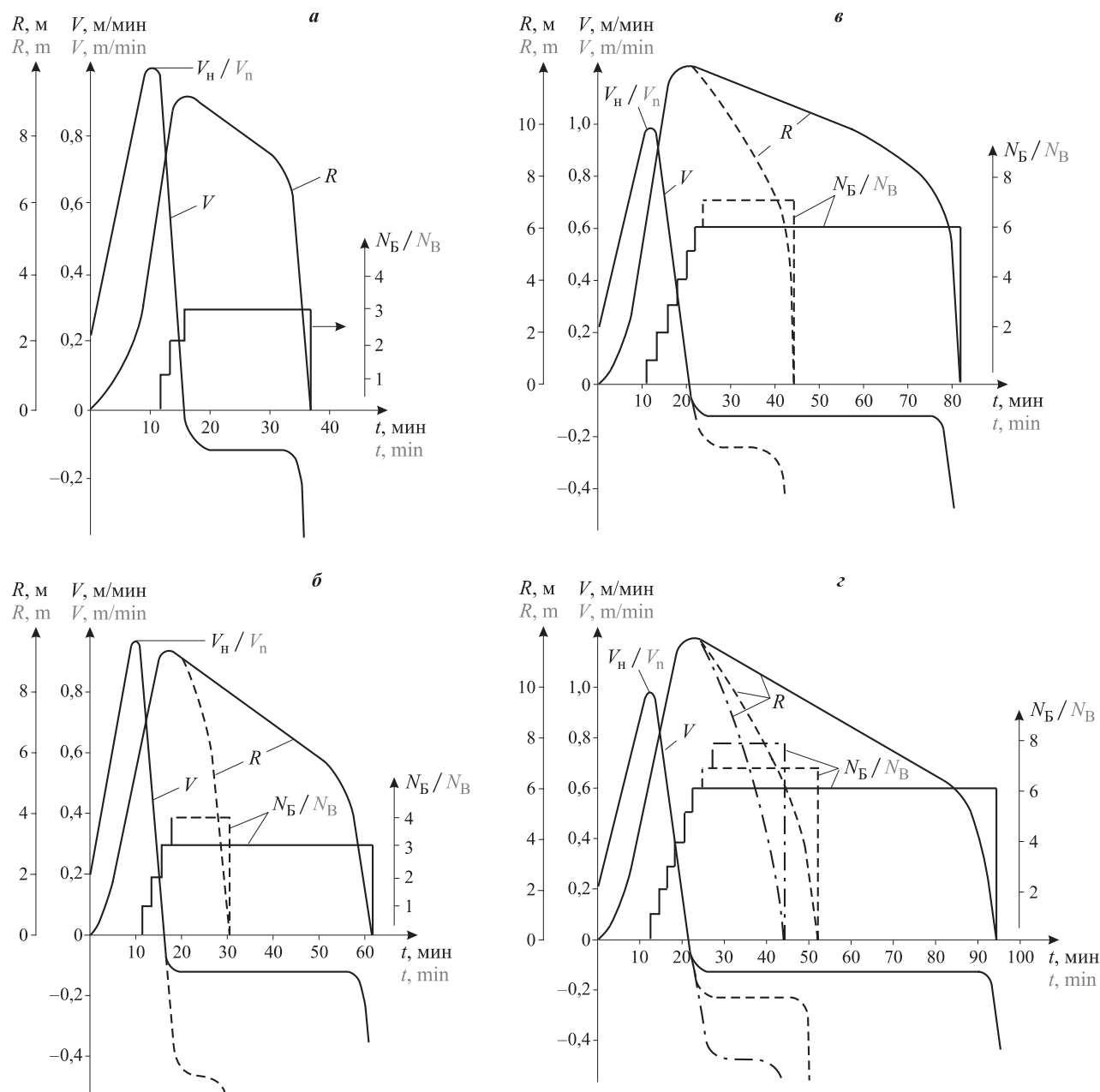


Рис. 3. Примеры оценки линейной скорости V распространения пожара класса А, расстояния R от очага пожара до крайней части его фронта и числа стволов “Б” N_B , поданных на тушение, при расположении очага в углу помещения (а), у меньшей стены (б), у большей стены (в), в центре (г)

Fig. 3. Examples of evaluating linear velocity V of propagation of fire class A, the distance R from the fire to the extreme parts of its front and the number N_B filed trunks “B” to extinguish in location of the fire in the corner of premise (a), in a small wall (b), in most wall (v), in center (g)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О пожарной безопасности : Федер. закон РФ от 21.12.1994 № 69-ФЗ (ред. от 29.07.2017). URL: <http://docs.cntd.ru/document/%209028718> (дата обращения: 25.12.2017).
2. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон РФ от 22.07.2008 № 123-ФЗ (в ред. от 29.07.2017). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения: 10.05.2017).
3. Таранцев А. А., Дорожкин А. С., Потапенко В. В. О взаимосвязях в нормативных документах в части обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений // Проблемы управления рисками в техносфере. — 2016. — № 4(40). — С. 29–34.
4. Порядок тушения пожаров подразделениями пожарной охраны : приказ МЧС РФ от 31.03.2011 № 156. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902273382> (дата обращения: 25.12.2017).

5. Решетов А. П., Ключ В. В., Бондарь А. А., Косенко Д. В. Планирование и организация тушения пожаров. Пожарная тактика : учебник. — СПб. : Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС РФ, 2015. — 426 с.
6. Бондарь А. А., Косенко Д. В., Ключ В. В., Решетов А. П. Пожаротушение : учебное пособие. — СПб. : Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС РФ, 2017. — Ч. 1. — 165 с.
7. Пожарная тактика : учебник / Под ред. Я. С. Повзика. — М. : ВИПТШ МВД СССР, 1984. — 480 с.
8. Терехин В. В. Пожарная тактика. Понятие о тушении пожара. — Екатеринбург : Калан, 2010. — 356 с.
9. Повзик Я. С. Справочник руководителя тушения пожара. — М. : Спецтехника, 2001. — 201 с.
10. Мельник А. А., Мартинович Н. В., Калужина Ж. С. Справочник начальника караула пожарной части. — 3-е изд., перераб. и доп. — Красноярск : Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2017. — 176 с.
11. Norman J. Fire officer's handbook of tactics. Part 1. — 4th ed. — Tulsa : Penn Well Corporation, 2012. — Vol. XIX. — 634 p.
12. Essentials of fire fighting. — 5th ed. / International Fire Service Training Association. — Stillwater : Oklahoma State University, 2008.
13. Kerber S., Madrzykowski D. Fire fighting tactics under wind driven fire conditions: 7-story building experiments / NIST Technical Note 1629. — Gaithersburg : U. S. Department of Commerce, April 2009. — 593 p. DOI: 10.6028/nist.tn.1629.
14. Gsell J. Assessment of fire suppression capabilities of water mist. Fighting compartment fires with the cutting extinguisher : PhD thesis. — Belfast : Ulster University, 2010. — 138 p.
15. Madrzykowski D., Kerber S. Fire fighting tactics under wind driven conditions: laboratory experiments / NIST Technical Note 1618. — Gaithersburg : U. S. Department of Commerce. — January 2009. — 413 p. DOI: 10.6028/nist.tn.1618.
16. Fahy R. F., LeBlanc P. R. Firefighter fatalities in the United States-2005. — Quincy, MA : National Fire Protection Association, 2006. — 30 p.
17. Karter M. J. Patterns of firefighter fireground injuries. — Quincy, MA : National Fire Protection Association, 2012.
18. Career firefighter dies in wind driven residential structure fire — Virginia / NIOSH Report F2007-12. — Morgantown : NIOSH, Fire Fighter Fatality Investigation and Prevention Program, 2008.
19. Таранцев А. А. Методы расчетной оценки динамики пожаров в помещениях // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2013. — Т. 22, № 3. — С. 82–85.
20. Астахов П. В., Волков С. А. Компьютерное моделирование пожара на складах с высотным стеллажным хранением при помощи программы “Fire Dynamics Simulator” // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — 2014. — № 2. — С. 24–28.
21. Кузьмин А. А., Романов Н. Н., Волков Д. П. Исследование температурного поля в ограждающих конструкциях на основе результатов моделирования объемного пожара в помещениях // Проблемы управления рисками в техносфере. — 2016. — № 4(40). — С. 58–65.
22. McGrattan K., Klein B., Hostikka S., Floyd J. Fire dynamics simulator (version 6) // National Institute of Standards and Technology Special Publication 1018. — Washington : U. S. Government Printing Office, 2013. — 149 p.
23. Dwaikat M. B., Kodur V. K. Effect of fire scenario, restraint conditions, and spalling on the behavior of RC beams // Proceedings of 5th International Conference on Structures in Fire. — Singapore, 2008. — P. 369–379.
24. Lautenberger C., Fernandez-Pello A. C. Modeling ignition of combustible fuel beds by embers and heated particles // International Conference on Modelling, Monitoring and Management of Forest Fires (17–19 September 2008, Toledo, Spain). URL: http://cpl.berkeley.edu/publications/lautenberger_forest_fires_2008.pdf (дата обращения: 20.12.2017).
25. Izydorek M., Zeeveld P., Samuels M., Smyser J. Structural stability of engineered lumber in fire conditions. — Northbrook, IL : Underwriters Laboratories, Inc., 2008. — 178 p. URL: <http://www.global-firersearch.com/reports/research/structural-stability-of-engineered-lumber-in-fire-conditions#.WpF7jd8pLIU> (дата обращения: 20.12.2017).
26. Kim Y.-D., Kim Y.-G., Lee S.-H., Kang J.-H., An J. Portable fire evacuation guide robot system // International Conference on Intelligent Robots and Systems (10–15 October 2009, St. Louis, USA). — IEEE, 2009. — P. 2789–2794. DOI: 10.1109/iros.2009.5353970.
27. Методические рекомендации по составлению планов тушения пожара и карточек тушения пожара : утв. письмом МЧС РФ от 27.02.2013 № 2-4-87-1-18. URL: <http://docs.cntd.ru/document/499028650> (дата обращения: 15.12.2017).

28. Кимстач И. Ф., Девлишев П. П., Евтюшкин Н. М. Пожарная тактика : учебное пособие. — М. : Стройиздат, 1984. — 592 с.
29. Подгруппный А. В., Захаревский Б. Б., Денисов А. Н., Сверчков Ю. М. Методические указания к решению тактических задач по теме “Основы прогнозирования обстановки на пожаре. Локализация и ликвидация пожаров”. — М. : АГПС МЧС России, 2005. — 37 с.
30. Справочник по огнестойкости и пожарной опасности строительных конструкций, пожарной опасности строительных материалов и огнестойкости инженерного оборудования зданий. — М. : ВНИИПО, 1999. — 63 с.

Материал поступил в редакцию 1 января 2018 г.

Для цитирования: Ищенко А. Д., Ключ В. В., Полянко С. В., Таранцев А. А. О построении уточненного совмещенного графика для расчета сил и средств для тушения пожара // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 2-3. — С. 82–92. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.02-03.82-92.

English

ABOUT BUILDING A REVISED COMBINED GRAPHICS THE CALCULATION OF FORCES AND MEANS TO EXTINGUISH THE FIRE

ISHCHENKO A. D., Candidate of Technical Sciences, Docent, Professor of Fire Tactics and Service Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: adiko@mail.ru)

KLYUY V. V., Candidate of Pedagogical Sciences, Docent, Professor of Fire and Rescue Works Department, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail: opipasr@mail.ru)

POLYNKO S. V., Candidate of Technical Sciences, Deputy Chief of Department of Fire and Rescue Works Department, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail: opipasr@mail.ru)

TARANTSEV A. A., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Fire and Rescue Works Department, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation); Head of Laboratory of Problems of Transport Systems Safety, Solomenko's Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Sciences (12-ya Line VO, 13, Saint Petersburg, 199178, Russian Federation; e-mail: t_54@mail.ru)

ABSTRACT

Article belongs to fire tactics, her materials can be used when calculating forces and means necessary for suppression of the alleged fire of a class A at drawing up plans of fire extinguishing for the most significant objects.

The existing order of drawing up the combined schedules (i. e. schedules on which it is at the same time presented the loudspeaker of the fire area S_p , the area of suppression of S_{supp} , demanded Q_{dem} and the actual Q_{fact} of a consumption of fire extinguishing substance) for calculation of forces and means has a number of shortcomings. Namely:

- doesn't consider dynamics of perimeter of the protecting designs which are affected by dangerous factors of the fire and having limited limits of fire resistance;
- doesn't provide (as a rule) assessment of time of elimination of the open burning causing the general duration of fire extinguishing;
- doesn't consider the volume of the fire extinguishing substance (water) spent for suppression that is important at the limited capacity of reservoirs;
- assumes carrying out labor-consuming calculations, and the computer programs convenient for experts and students, are practically absent or sin with inaccuracies.

In this regard the authors who are experts in the field of fire tactics have offered a method of creation of the specified combined schedules in which besides the S_f , S_{supp} , Q_{dem} and Q_{fact} parameters, dynamics of the “warmed” perimeter and amount of the spent fire extinguishing substance is considered. The method is based on the known provisions of fire and tactical calculations and allows to estimate duration of impact of a flame on room walls, the general time of suppression and volume (weight) of the spent fire extinguishing substance.

The method of creation of the specified combined schedule is realized in the form of the computer program in a format of the EXE-file which isn't demanding the specialized software and high qualification of users. In article examples of creation of the specified combined schedules consistent with experience of many specialists in suppression of the fires are given. The method and the program have been successfully tested and used in the educational process.

Keywords: fire; fire extinguishing plan; combined schedule; forces and means calculation; extinguishing agent; firemen's activity.

REFERENCES

1. *On fire safety*. Federal law of Russian Federation on 21.12.1994 No. 69-FZ (ed. on 29.07.2017) (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/%209028718> (Accessed 25 December 2017).
2. *Technical regulations for fire safety requirements*. Federal Law of Russian Federation on 22.07.2008 No. 123-FZ (ed. on 29.07.2017) (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (Accessed 10 May 2017).
3. Tarantsev A. A., Dorozhkin A. S., Potapenko V. V. On the relationships in the regulations in terms of ensuring fire safety of buildings and structures. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere / Problems of Technosphere Risk Management*, 2016, no. 4(40), pp. 29–34 (in Russian).
4. *Procedure of extinguishing fires by the fire departments*. Order of Emercom of the Russian Federation on 31.03.2011 No. 156 (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902273382> (Accessed 25 December 2017).
5. Reshetov A. P., Klyuy V. V., Bondar A. A., Kosenko D. V. *Planirovaniye i organizatsiya tusheniya pozharov. Pozharnaya taktika. Uchebnik* [Planning and organization of suppression of fires. Firefighting tactics. Tutorial]. Saint Petersburg, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia Publ., 2015. 426 p. (in Russian).
6. Bondar A. A., Kosenko D. V., Klyuy V. V., Reshetov A. P. *Pozharotusheniye. Uchebnoye posobiye* [Fire extinguishing. Tutorial]. Saint Petersburg, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of the Russia Publ., 2017, part 1. 165 p. (in Russian).
7. Povzik Ya. S. (ed.). *Pozharnaya taktika. Uchebnik* [Firefighting tactics. Tutorial]. Moscow, High Engineering Fire Technical School of Ministry of the Interior of USSR Publ., 1984. 480 p. (in Russian).
8. Terebnev V. V. *Pozharnaya taktika. Ponyatiye o tushenii pozhara* [Firefighting tactics. The concept of fire fighting]. Yekaterinburg, Kalan Publ., 2010. 356 p. (in Russian).
9. Povzik Ya. S. *Spravochnik rukovoditelya tusheniya pozhara* [Directory of head of fire extinguishing]. Moscow, Spetstekhnika Publ., 2001. 201 p. (in Russian).
10. Melnik A. A., Martinovich N. V., Kalyuzhina Zh. S. *Spravochnik nachalnika karaula pozharoy chasti* [Directory of chief of the guard fire station]. 3th ed. Krasnoyarsk, Siberian Fire and Rescue Academy of State Fire Service of Emercom of Russia Publ., 2017. 176 p. (in Russian).
11. Norman J. *Fire officer's handbook of tactics*. Part 1. 4th ed. Tulsa, Penn Well Corporation, 2012, vol. XIX. 634 p.
12. International Fire Service Training Association. *Essentials of fire fighting*. 5th ed. Stillwater, Oklahoma State University, 2008.
13. Kerber S., Madrzykowski D. *Fire fighting tactics under wind driven fire conditions: 7-story building experiments NIST Technical Note 1629*. Gaithersburg, U. S. Department of Commerce, April 2009. 593 p. DOI: 10.6028/nist.tn.1629.
14. Gsell J. *Assessment of fire suppression capabilities of water mist. Fighting compartment fires with the cutting extinguisher*. PhD thesis. Belfast, Ulster University, 2010. 138 p.
15. Madrzykowski D., Kerber S. *Fire fighting tactics under wind driven conditions: laboratory experiments. NIST Technical Note 1618*. Gaithersburg, U. S. Department of Commerce, January 2009. 413 p. DOI: 10.6028/nist.tn.1618.
16. Fahy R. F., LeBlanc P. R. *Firefighter fatalities in the United States-2005*. Quincy, MA, National Fire Protection Association, 2006. 30 p.

17. Karter M. J. *Patterns of firefighter fireground injuries*. Quincy, MA, National Fire Protection Association, 2012.
18. *Career firefighter dies in wind driven residential structure fire — Virginia*. NIOSH Report F2007–12. Morgantown, NIOSH, Fire Fighter Fatality Investigation and Prevention Program, 2008.
19. Tarantsev A. A. Estimation methods of fire dynamics in premises. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 3, pp. 82–85 (in Russian).
20. Astakhov P. V., Volkov S. A. Fire computer modelling in warehouses with high-rise shelf storage by using the program “Fire Dynamics Simulator”. *Pozhary i chrezvychaynyye situatsii: predotvrashcheniye, likvidatsiya / Fire and Emergencies: Prevention, Elimination*, 2014, no. 2, pp. 24–28 (in Russian).
21. Kuzmin A. A., Romanov N. N., Volkov D. P. Temperature field in enclosures investigation on the basis of the volume indoor fire simulation results. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere / Problems of Technosphere Risk Management*, 2016, no. 4(40), pp. 58–65 (in Russian).
22. McGrattan K., Klein B., Hostikka S., Floyd J. *Fire dynamics simulator (version 6)*. National Institute of Standards and Technology Special Publication 1018. Washington, U. S. Government Printing Office, 2013. 149 p.
23. Dwaikat M. B., Kodur V. K. Effect of fire scenario, restraint conditions, and spalling on the behavior of RC beams. In: *Proceedings of 5th International Conference on Structures in Fire*. Singapore, 2008, pp. 369–379.
24. Lautenberger C., Fernandez-Pello A. C. Modeling ignition of combustible fuel beds by embers and heated particles. In: *International Conference on Modelling, Monitoring and Management of Forest Fires* (17–19 September 2008, Toledo, Spain). Available at: http://cpl.berkeley.edu/publications/lautenberger_forest_fires_2008.pdf (Accessed 20 December 2017).
25. Izydorek M., Zeeveld P., Samuels M., Smyser J. Structural stability of engineered lumber in fire conditions. Northbrook, IL, Underwriters Laboratories, Inc., 2008. 178 p. Available at: <http://www.global-firereseach.com/reports/research/structural-stability-of-engineered-lumber-in-fire-conditions#.WpF7jd8pLIU> (Accessed 20 December 2017).
26. Kim Y.-D., Kim Y.-G., Lee S.-H., Kang J.-H., An J. Portable fire evacuation guide robot system. In: *International Conference on Intelligent Robots and Systems* (10–15 October 2009, St. Louis, USA). IEEE, 2009, pp. 2789–2794. DOI: 10.1109/iroso.2009.5353970.
27. *Methodical recommendations on drawing up plans for extinguishing the fire and cards of fire extinguishing*. Letter of Emercom of Russia on 27.02.2013 No. 2-4-87-1-18 (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/499028650> (Accessed 15 December 2017).
28. Kimstach I. F., Devlishev P. P., Yevtyushkin N. M. *Pozharnaya taktika. Uchebnoye posobiye* [Fire-fighting tactics. Tutorial]. Moscow, Stroyizdat, 1984. 592 p. (in Russian).
29. Podgrushnyy A. V., Zakharevskiy B. B., Denisov A. N., Sverchkov Yu. M. *Metodicheskiye ukazaniya k resheniyu takticheskikh zadach po teme “Osnovy prognozirovaniya obstanovki na pozhare. Lokalizatsiya i likvidatsiya pozharov”* [Guidance to the solution of tactical problems on the subject “Fundamentals of forecasting on fire. Localization and liquidation of fires”]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2005. 37 p. (in Russian).
30. *Handbook of fire resistance and fire danger of building structures, the fire hazard of building materials and fire resistance of engineered buildings*. Moscow, VNIPO Publ., 1999. 63 p. (in Russian).

For citation: Ishchenko A. D., Klyuy V. V., Polynko S. V., Tarantsev A. A. About building a revised combined graphics the calculation of forces and means to extinguish the fire. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 2-3, pp. 82–92 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.02-03.82-92.

А. И. МЕЛЬНИКОВ, ассистент кафедры комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: ICA_kbs@mgsu.ru)

УДК 614.84.664

ВЛИЯНИЕ МЕЖФАЗНОГО НАТЯЖЕНИЯ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ПОДАЧИ И УДЕЛЬНЫЙ РАСХОД ФТОРИРОВАННОГО ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЯ С ДОБАВКАМИ ХЛОРИДА АММОНИЯ

В результате экспериментальных исследований процесса тушения пламени горючих жидкостей определена качественно особая зависимость между поверхностным и межфазным натяжением и оптимальной интенсивностью подачи пены из водного раствора фторированного пенообразователя с добавками хлорида аммония. Выявлены зависимости удельного расхода пенообразователя и интенсивности подачи пены от коэффициента растекания водно-солевого раствора по поверхности гептана и гептана по водно-солевому раствору пенообразователя с содержанием хлорида аммония. Определено влияние коэффициента растекания водно-солевого раствора на время тушения гептана. Представлена зависимость времени тушения пламени гептана от интенсивности подачи пены, полученной из водно-солевого раствора пенообразователя. Определена зависимость оптимальной интенсивности и минимального удельного расхода пенообразователя от величины коэффициента растекания водно-солевого раствора по поверхности гептана. Установлено влияние изменения концентрации электролита — хлорида аммония на поверхностное и межфазное натяжение и огнетушащую эффективность пены. Выявлено, что снижение способности горючего растекаться по раствору пенных пленок приводит к повышению огнетушащей эффективности, что выражается в снижении минимального удельного расхода раствора пенообразователя и оптимальной интенсивности подачи пены, полученной из этого раствора.

Ключевые слова: огнетушащая эффективность; фторированный пенообразователь; коэффициент растекания; оптимальная интенсивность подачи; минимальный удельный расход.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.02-03.93-98

Введение

Водные растворы пенообразователя кристаллизуются при низкой температуре. Для эффективного понижения температуры замерзания водных растворов пенообразователя применяют противоморозные добавки. Одной из таких присадок является хлорид аммония, представляющий собой бесцветное кристаллическое вещество, растворимое в воде и обладающее небольшой гигроскопичностью [1].

Хлорид аммония обладает способностью понижать точку замерзания водного раствора пенообразователя. При этом температура замерзания раствора зависит от концентрации хлорида аммония. Увеличение его концентрации в водных растворах приводит к понижению температуры замерзания, что в свою очередь происходит в результате увеличения подвижности атомов водорода в молекулах воды. Благодаря этому раствор труднее перевести в твердое состояние.

Информация о применении хлорида аммония в качестве противоморозной добавки для водных

растворов пенообразователей, а также ее влияние на тушение горючих и легковоспламеняющихся жидкостей в литературе отсутствует. В связи с этим необходимо провести ряд экспериментов для исследования влияния добавок хлорида аммония на поверхностное и межфазное натяжение водного раствора, а также для получения оптимальной интенсивности подачи пены из водного раствора фторированного пенообразователя с добавками хлорида аммония для тушения пламени.

Хлорид аммония является сильным электролитом, т. е. электролитом, степень диссоциации которого в растворе равна единице (т. е. диссоциирует полностью) независимо от концентрации раствора.

При проведении экспериментальных исследований процесса тушения горючих жидкостей для определения зависимости времени тушения от оптимальной интенсивности подачи раствора пены огромное внимание стоит уделить влиянию на время тушения межфазного натяжения и коэффициента растекания [2–6].

Известно, что электролиты снижают межфазное натяжение водных растворов поверхностно-активных веществ, но при этом резко увеличивают поверхностное натяжение водного раствора на границе с воздухом [7–10]. Для данного исследования пенообразователь должен содержать фторированные стабилизаторы, которые обеспечивают поверхностное натяжение менее 20 мН/м. В качестве такой основы использовали смесь первичных алкилсульфатов с длиной углеродной цепи 8–12 атомов [11–15]. Состав содержал 0,05 % масс. перфторированного сульфобетайна с радикалом, содержащим 6–8 перфторированных атомов углерода. Конкретную формулу вещества производители пенообразователя держат в секрете, но общий вид молекулы описан в работах [16–18]. Производство этого компонента ограничено в связи с его отрицательным влиянием на окружающую среду [19, 20].

Целью настоящей работы является определение влияния межфазного натяжения на оптимальную интенсивность подачи и минимальный удельный расход водного раствора фторированного пенообразователя, содержащего добавки хлорида аммония. Для этого необходимо выявить зависимости поверхностного и межфазного натяжения на границе с гептаном от концентрации пенообразователя в водно-солевом растворе с содержанием хлорида аммония и времени тушения пламени гептана от интенсивности подачи пены, полученной из водно-солевого раствора пенообразователя с различной концентрацией хлорида аммония.

Методы исследования

В качестве пенообразователя использовали пленкообразующий пенообразователь “Шторм-М”, в качестве электролита — хлористый аммоний. Перед огневыми испытаниями была установлена зависимость поверхностного и межфазного натяжения 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 следующим образом. Приготавливали рабочий раствор пенообразователя. Затем в горелку заливали горючее и зажигали его. Время свободного горения горючей жидкости составляло (60 ± 5) с. Полученный раствор пенообразователя заливали в миксер, где в течение 30 с происходило образование пены. После этого пену переливали в разъемный герметичный контейнер и взвешивали на весах. 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 принимали среднеарифметическое трех значений времени тушения.

Результаты и их обсуждение

Зависимость поверхностного и межфазного натяжения на границе с гептаном от концентрации пенообразователя в водно-солевом растворе, содержащем хлорид аммония, представлена на рис. 1.

Результаты измерений показали, что величина поверхностного и межфазного натяжения резко снижается с повышением концентрации хлорида аммония в растворе пенообразователя — с 40,0 до 15,0 мН/м и с 12,0 до 0,1 мН/м соответственно.

Результаты экспериментов показали также, что растворы пенообразователя с концентрацией 2,0 % масс. и выше приобретают положительный коэффициент растекания. Для дальнейших исследований возьмем 2 %-ный раствор пенообразователя с добавками хлорида аммония.

Результаты тушения пламени гептана подачей в основание резервуара пены, полученной из водно-

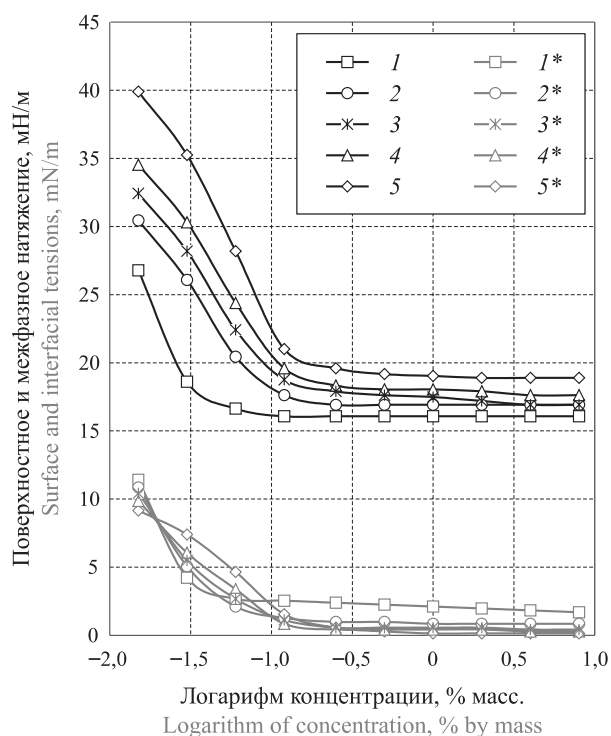


Рис. 1. Зависимость поверхностного (I–5) и межфазного (I*–5*) натяжения на границе с гептаном от концентрации пенообразователя в водно-солевом растворе при содержании хлорида аммония, % масс.: 1, I* — 0; 2, 2* — 2,0; 3, 3* — 5,0; 4, 4* — 10,0; 5, 5* — 20,0

Fig. 1. Dependence of surface (I–5) and interfacial (I*–5*) tensions on a border with heptane on concentration of foaming agent in aqueous salt solution containing ammonium chloride, % by mass: 1, I* — 0; 2, 2* — 2.0; 3, 3* — 5.0; 4, 4* — 10.0; 5, 5* — 20.0

солевого раствора пенообразователя с такими же концентрациями хлорида аммония, представлены на рис. 2.

Экспериментами установлено, что по мере увеличения концентрации электролита — хлорида аммония поверхностное и межфазное натяжение снижается, огнетушащая эффективность пены также уменьшается, что выражается в повышении удельного расхода пенообразующего раствора с 1,9 до 5,0 кг/м² и

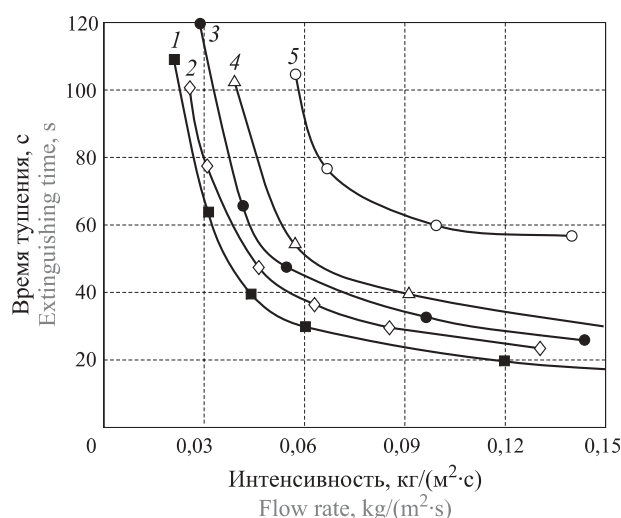


Рис. 2. Зависимость времени тушения пламени гептана от интенсивности подачи пены, полученной из 2 %-ного водно-солевого раствора пенообразователя с концентрацией хлорида аммония, % масс.: 1 — 0; 2 — 2,0; 3 — 5,0; 4 — 10,0; 5 — 20,0

Fig. 2. The dependence of time of extinguishing flame of heptane from the flow rate of foam obtained from 2 % aqueous-salt solution of foaming agent with a concentration of ammonium chloride, % by mass: 1 — 0; 2 — 2.0; 3 — 5.0; 4 — 10.0; 5 — 20.0

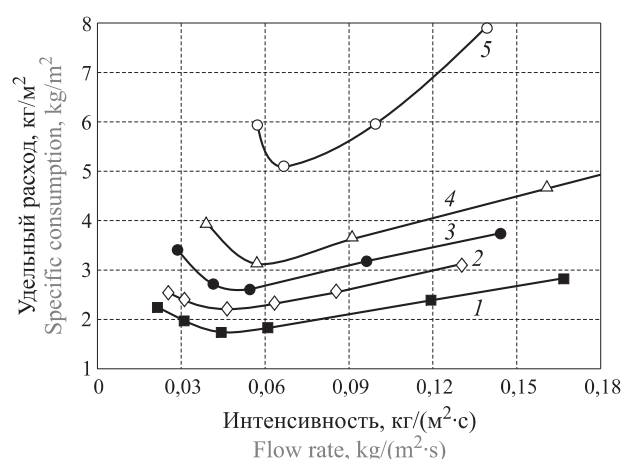


Рис. 3. Зависимость удельного расхода пенообразователя от интенсивности подачи пены, полученной из его водно-солевого раствора с концентрацией хлорида аммония, % масс.: 1 — 0; 2 — 2,0; 3 — 5,0; 4 — 10,0; 5 — 20,0

Fig. 3. Dependence of specific consumption from flow rate of foam supply obtained from the aqueous-salt solution of foaming agent with the concentration of ammonium chloride, % by mass: 1 — 0; 2 — 2.0; 3 — 5.0; 4 — 10.0; 5 — 20.0

оптимальной интенсивности подачи полученной из него пены с 0,045 до 7,0 кг/(м²·с) (рис. 3 и 4).

Как видно из рис. 4, кривые имеют явно выраженный минимум, который смещается с изменением межфазного натяжения. По мере снижения его величины возрастает минимальный расход пенообразователя и повышается оптимальная интенсивность подачи пены. Синхронно уменьшается и время тушения.

На рис. 5 представлена зависимость удельного расхода раствора пенообразователя и оптимальной интенсивности подачи пены от коэффициента растекания горючего по водному раствору. Величина коэффициента растекания горючего по раствору возрастает. Межфазное натяжение снижается резко — с 2,0 до 0,1 мН/м.

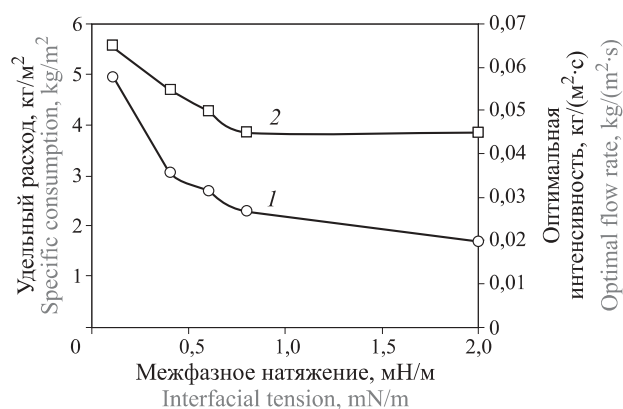


Рис. 4. Влияние межфазного натяжения на минимальный удельный расход (1) водного раствора пенообразователя, содержащего добавки хлорида аммония, и оптимальную интенсивность подачи (2) полученной из него пены

Fig. 4. The effect of interfacial tension on the minimum specific consumption (1) of an aqueous solution of a foaming agent containing ammonium chloride additives and the optimum intensity of the supply (2) of the foam obtained from it

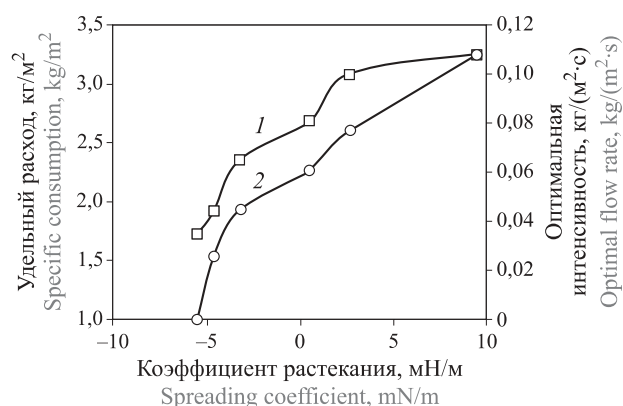


Рис. 5. Зависимость оптимальной интенсивности подачи пены (1) и минимального удельного расхода пенообразователя (2) от величины коэффициента растекания

Fig. 5. Dependence of the optimum flow rate (1) and the minimum specific consumption of the foam-generator (2) from the spreading coefficient

Как и ожидалось, снижение способности горючего растекаться по раствору пенных пленок приводит к повышению огнетушащей эффективности, что выражается в снижении минимального удельного расхода раствора пенообразователя и оптимальной интенсивности подачи полученной из него пены.

Выводы

Результаты экспериментов показывают, что время перед повторным воспламенением гептана из-под слоя пены тесно связано с соотношением коэффи-

циентов растекания раствора по гептану и гептана по раствору. При применении противоморозной добавки хлорида аммония для уменьшения температуры кристаллизации пенообразователя снижается устойчивость пены, что приводит к снижению ее огнетушащей эффективности и увеличению времени тушения гептана. На основе проведенных исследований было установлено, что при увеличении концентрации электролита — хлорида аммония повышается оптимальная интенсивность подачи пены из пенообразующего раствора, при этом наблюдается увеличение его удельного расхода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федун Р. Г., Рахимова О. С. Влияние межмолекулярных взаимодействий в водных растворах солей на их способность к замерзанию // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 1: Математика. Физика. — 2010. — Вып. 13. — С. 89–93.
2. 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.
3. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F. Heat balance of extinguishing process of flammable liquid by sprayed water // Advanced Materials Research. — 2014. — Vol. 1070-1072. — P. 1794–1798. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amr.1070-1072.1794.
4. Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф. Основные параметры процесса тушения пламени нефтепродуктов пенной низкой кратности // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2014. — Т. 23, № 7. — С. 65–73.
5. Шароварников А. Ф., Молчанов В. П., Воевода С. С., Шароварников С. А. Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов. — М.: Изд. дом “Калан”, 2002. — 448 с.
6. Шрайбер Г., Порст П. Огнетушащие средства. Химико-физические процессы при горении и тушении. — М.: Стройиздат, 1975. — 240 с.
7. Korzeniewski S., Cortina T. Firefighting foams — Reebok redux // Industrial Fire Journal. — April 2008. — P. 18–20.
8. Cortina T. The safety & benefits of AFFF agents. Special analysis: Foam // Industrial Fire Journal. — June 2007. — P. 70–75.
9. 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.
10. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F., Byakov A. V. The analysis of oil suppression by aqueous film forming foam through a gas-salt layer of water // Advanced Materials Research. — 2014. — Vol. 1073-1076. — P. 2353–2357. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amr.1073-1076.2353.
11. 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). — Wuhan, China: DEStech Publications, Inc., 2015. — P. 17–22.
12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. 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. — P. 297–309. DOI: 10.1007/s10694-007-0030-8.
16. Дегаяев Е. Н., Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф. Влияние кратности пен на основные параметры процесса тушения углеводородов // Проблемы техносферной безопасности—2015: матер. 4-й Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов. — М.: Академия ГПС МЧС России, 2015. — С. 24–28.

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. Корольченко Д. А., Дегаев Е. Н., Шароварников А. Ф. Горение гептана в модельном резервуаре // *Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety*. — 2015. — Т. 24, № 2. — С. 67–70.
19. 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.
20. Шароварников С. А., Корольченко Д. А., Ляпин А. В. Тушение многокомпонентных смесевых топлив фторсинтетическими пенообразователями подслоным способом // *Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety*. — 2014. — Т. 23, № 6. — С. 76–80.

Материал поступил в редакцию 12 февраля 2018 г.

Для цитирования: Мельников А. И. Влияние межфазного натяжения на интенсивность подачи и удельный расход фторированного пенообразователя с добавками хлорида аммония // *Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety*. — 2018. — Т. 27, № 2-3. — С. 93–98. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.02-03.93-98.

English

INFLUENCE OF INTERFACIAL TENSION ON FLOW RATE AND SPECIFIC CONSUMPTION OF FLUORINATED FOAMING AGENT, CONTAINING ADDED AMMONIUM CHLORIDE

MELNIKOV A. I. Postgraduate Student of Department of Integrated Safety in Civil Engineering, National Research Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoe Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail: ICA_kbs@mgsu.ru)

ABSTRACT

In the work, the influence of surface and interfacial tension on the optimum flow rate of an aqueous solution of a fluorinated — foaming agent with the addition of ammonium chloride was determined. Also, the dependence of the time of extinguishing the flame of heptane from the flow rate of foam, obtained from aqueous-salt solution of foaming agent was discovered. Therefore, the dependence of the optimal flow rate and minimum specific foaming agent solution from the value of the coefficient of the spreading of water-salt solution on the surface of heptane's was defined. It was established that with increasing concentration of the electrolyte (ammonium chloride), surface and interfacial tension is reducing, the fire extinguishing efficiency of the foam is also declining, resulting in increasing of the optimal flow rate of foaming solution and also in increasing of the specific consumption. It is shown that as the interfacial tension decreases, the minimum consumption of the foaming agent and the optimum flow rate of the foam supply increases, and the quench time decreases synchronously. It is determined that with changing of the size of interfacial tension, the curves have a pronounced minimum, which is shifted. It is revealed that the decrease in the ability of the fuel to spread over a solution of foam films leads to an increase in the fire-extinguishing efficiency, which is manifested in a reduction in the minimum specific consumption and the optimum flow rate of supply of the foaming solution.

Keywords: fire extinguishing efficiency; fluorinated foaming agent; spreading coefficient; optimum flow rate; minimum specific consumption.

REFERENCES

1. Fedunov R. G., Rakhimova O. S. The influence of intermolecular interactions in water-salt solutions on their freez ability. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 1: Matematika. Fizika / The Science Journal of Volgograd State University. Mathematics. Physics*, 2010, issue 13, pp. 89–93 (in Russian).

2. 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.
3. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F. Heat balance of extinguishing process of flammable liquid by sprayed water. *Advanced Materials Research*, 2014, vol. 1070-1072, pp. 1794–1798. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amr.1070-1072.1794.
4. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F. Main parameters of extinguishing of the oil flame by low expansion foam. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 7, pp. 65–73.
5. 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).
6. Schreiber G., Porst P. *Ognetushashchiye sredstva. Khimiko-fizicheskiye protsessy pri gorenii i tushenii* [Fire extinguishing agents. Chemical-physical processes during combustion and extinguishing]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1975. 240 p. (in Russian).
7. Korzeniowski S., Cortina T. Firefighting foams — Reebok redux. *Industrial Fire Journal*, April 2008, pp. 18–20.
8. Cortina T. The safety & benefits of AFFF agents. Special analysis: Foam. *Industrial Fire Journal*, June 2007, pp. 70–75.
9. 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.
10. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F., Byakov A. V. The analysis of oil suppression by aqueous film forming foam through a gas-salt layer of water. *Advanced Materials Research*, 2014, vol. 1073-1076, pp. 2353–2357. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amr.1073-1076.2353.
11. 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). Wuhan, China, DEStech Publications, Inc., 2015, pp. 17–22.
12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. Degaev E. N., Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F. Effect of the multiplicity of foams on the main parameters of the hydrocarbon quenching process. In: *Problemy tekhnosfernoy bezopasnosti–2015. Materialy 4-y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh i spetsialistov* [Problems of Technospheric Security–2015. Proceedings of 4th International Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Specialists]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2015, pp. 24–28 (in Russian).
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.colsurfa.2015.01.062.
18. Korolchenko D. A., Degaev E. N., Sharovarnikov A. F. Combustion of heptane in a model tank. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 2, pp. 67–70 (in Russian).
19. 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.
20. Sharovarnikov S. A., Korolchenko D. A., Lyapin A. V. Extinguishing of the multicomponent composite fuels by aqueous film forming foam by sublayer way. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 6, pp. 76–80 (in Russian).

For citation: Melnikov A. I. Influence of interfacial tension on flow rate and specific consumption of fluorinated foaming agent, containing added ammonium chloride. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 2-3, pp. 93–98 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.02-03.93-98.

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

УДК 614.841.315

ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОЖАРА ОТ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ПОЖАРНОГО РИСКА

Рассмотрены основные положения методик по расчету пожарного риска на производственных объектах. Проведен анализ нормативных документов по оценке вероятности появления источника зажигания и мер по его исключению. Отмечена актуальность вопроса по оценке вероятности возникновения пожара от электрооборудования. Представлен перечень потенциальных источников зажигания, учитываемых при расчете пожарного риска.

Ключевые слова: пожарный риск; электрооборудование; источник зажигания; производственные объекты; пожарная безопасность.



ВОПРОС:

Согласно Методике (приказ МЧС России № 404 от 10.07.2009) при определении расчетных величин пожарного риска на производственных объектах требуется проводить анализ пожарной опасности технологической среды и параметров технологических процессов на объекте. Такой анализ предусматривает сопоставление показателей пожарной опасности веществ и материалов, обращающихся в технологическом процессе, с его параметрами. По данным параметрам определяется перечень потенциальных источников зажигания пожароопасной технологической среды с учетом показателей пожарной опасности веществ и материалов.

С этой целью устанавливаются возможные причины возникновения пожароопасных ситуаций, которые могут привести к образованию горючей среды и появлению источника зажигания. Наиболее частой причиной является нарушение технологического процесса, например истечение жидкости из емкости при сливноналивных операциях, разрушение корпуса оборудования вследствие превышения номинального давления и температуры, появление источника зажигания в месте образования пожаровзрывоопасных концентраций смесей.

В качестве промежуточной величины для определения расчетных величин пожарного риска на объекте используют значения соответствующего потенциального пожарного риска для конкретного объекта или помещения (участка). При рассмотрении нескольких сценариев возникновения пожара расчетную частоту возникновения пожара принимают равной суммарной частоте реализации всех возможных в здании сценариев возникновения пожара. Для определения частоты реализации пожароопасных ситуаций могут использоваться статистические данные по аварий-

ности или расчетные данные по надежности технологического оборудования, соответствующие специфике рассматриваемого объекта.

Каким образом учитывается надежность, частота и вероятность возникновения пожара от электрооборудования как потенциального источника зажигания горючей среды?

ОТВЕТ:

Ежегодно в России из-за неправильной эксплуатации электрооборудования происходит более 40 тыс. пожаров (30 % от общего числа). Этот факт требует более пристального рассмотрения вопроса обеспечения пожарной безопасности производственных объектов, на которых одним из основных источников зажигания является электрооборудование.

В ст. 50 ФЗ-123 [1] указано, что исключить появление в горючей среде источника зажигания можно одним или несколькими способами, а именно:

- 1) применением электрооборудования, соответствующего классу пожароопасной и (или) взрывоопасной зоны, категории и группе взрывоопасной смеси;
- 2) применением в конструкции быстродействующих средств защитного отключения электроустановок или других устройств, исключающих появление источников зажигания;
- 3) применением оборудования и режимов проведения технологического процесса с защитой от статического электричества;
- 4) использованием устройств молниезащиты зданий, сооружений и оборудования;
- 5) поддержанием безопасной температуры нагрева веществ, материалов и поверхностей, которые контактируют с горючей средой;

6) применением способов и устройств ограничения энергии искрового разряда в горючей среде до безопасных значений;

7) использованием искробезопасного инструмента при работе с легковоспламеняющимися жидкостями и горючими газами.

Перечисленные способы позволяют снизить вероятность возникновения пожара в помещении от электрооборудования, но не дают конкретных количественных данных для расчета пожарного риска.

На сегодняшний день можно говорить о том, что частота возникновения пожара от электрооборудования принимается равной частоте пожаров на электростанциях, которая составляет $2,2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$. Данное умозаключение вытекает из примера расчета величины потенциального пожарного риска в производственном помещении в случае возгорания кабелей, представленного в проекте второй редакции Пособия по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов (п. 3.10 и табл. П.2.3) [2], разработанного в развитие Методики [3]. В Пособии [2] указаны основные показатели пожарной опасности по типовой горючей нагрузке в помещениях (см. табл. П.1.3, П.1.9 и П.1.10 [2]), которые позволяют выполнить расчет количества дыма и токсичных газообразных продуктов, выделяемых при горении электрических изделий (провода и кабели). Другой информации о вероятности возникновения пожара из-за неисправности электрооборудования в Методике [3] нет.

В соответствии со ст. 50 ФЗ-123 [1] при расчете пожарного риска следует учитывать вероятность возникновения пожара не только от нарушений при эксплуатации электрооборудования, но и от разрядов статического электричества (в том числе молнии). Для выполнения требований данной статьи следует пользоваться методом экспериментального определения вероятности возникновения пожара от электрических изделий, изложенным в прил. 5 ГОСТ 12.1.004–91 [4]. Согласно [4] вероятность возникновения пожара от электрического оборудования не должна превышать 10^{-6} в год. Для пожаровзрывоопасного объекта ее следует определять на этапе его проектирования, строительства и эксплуатации. В качестве вероятных источников зажигания в ГОСТе [4] рассматриваются:

- разряд атмосферного электричества (прямой удар молнии, его вторичные проявления, занос высокого потенциала);
- электрическая искра или дуга, образующаяся при коротком замыкании, при проведении электросварочных работ, искрении токопроводящих частей электрооборудования, а также в результате разряда статического электричества;
- фрикционные искры от удара и трения;

- открытое пламя и искры при сжигании топлива в печах, проведении газосварочных и других огневых работ, несоблюдении режима курения и т. д.;
- вещества, отдельные узлы и поверхности технологического оборудования, нагретые свыше допустимой температуры и контактирующие с горючей средой;
- перегрузка электрических коммуникаций и электрооборудования при неисправности или несоответствии аппаратов защиты электрических сетей, несоответствии сечения жил кабельных изделий нагрузке электроприемников, повышении напряжения в сети и т. п.

Большая часть вероятностей появления вышеперечисленных источников зажигания на проектируемых объектах определяется по статистическим данным, получение которых требует значительных человеческих и временных ресурсов, но вполне реализуема. Сбором данных должна заниматься проектная организация на действующих объектах. Для наблюдения выбирают оборудование, работающее в период нормальной эксплуатации и в условиях, аналогичных тем, в которых будет эксплуатироваться проектируемое изделие. Для получения статистических данных следует учитывать информацию, представленную в руководящих документах, инструкциях, журналах неисправностей и выявленных дефектов в работе оборудования, актах проверок объекта органами Госпожнадзора и т. п.

На основании полученных статистических данных рассчитывается также коэффициент безопасности K_6 . Его следует учитывать при расчете вероятности появления горючего вещества от каждой из рассматриваемых в ГОСТе [4] причин. Коэффициент безопасности необходим для оценки вероятности отказа молниеотводов на объекте и вероятности сжигания топлива в печах на его отдельных участках.

Представленный в [4] метод оценки вероятности возникновения пожара от электрических изделий, а также оценка вероятности появления потенциального источника зажигания полностью согласуются с положениями ст. 50 ФЗ-123 [1] и должны применяться совместно с Методикой [3] для более точного определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности (в ред. от 29.07.2017) : Федер. закон РФ от 22.07.2008 № 123-ФЗ; принят Гос. Думой 04.07.2008; одобр. Сов. Федерации 11.07.2008 // Собр. законодательства РФ. — 2008. — № 30 (ч. I), ст. 3579.
2. Пособие по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов. — 2-я ред. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2016.

3. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах (изм. на 14.12.2010) : приказ МЧС России от 10.07.2009 № 404; введ. 10.07.2009 // Пожарная безопасность. — 2009. — № 3.

4. ГОСТ 12.1.004–91. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Общие требования (с изм. № 1). — Введ. 01.07.1992. — М. : Стандартинформ, 2006.

Для цитирования: Харламенков А. С. Оценка вероятности возникновения пожара от электрооборудования для расчета пожарного риска // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 2–3. — С. 99–101.

English

ASSESSMENT OF THE PROBABILITY OF FIRE FROM ELECTRICAL EQUIPMENT FOR CALCULATING FIRE RISK

KHARLAMENKOV A. S., Senior Lecturer,
Department of Special Electrical Engineering,
Automation Systems and Communication,

State Fire Academy of Emercom of Russia
(Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366,
Russian Federation; e-mail: h_a_s@live.ru)

ABSTRACT

The main provisions of methods for calculating fire risk at production facilities are considered. The analysis of normative documents on an estimation of probability of occurrence of an ignition source and measures on its exclusion is executed. Relevance of the issue to assess the risk of fire from electrical equipment is noted. A list of potential sources of ignition, included in the calculation of fire risk is presented.

Keywords: fire risk; electrical equipment; ignition source; industrial buildings; fire safety.

For citation: Kharlamenkov A. S. Assessment of the probability of fire from electrical equipment for calculating fire risk. *Pozharovzryvobezопасnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 2-3, pp. 99–101 (in Russian).



НАНОКОСТЮМ ДЛЯ ПОЖАРНЫХ: НЕ ГОРИТ, НЕ ПРОПУСКАЕТ ТОК

Пожарные подразделения МЧС России приняли в опытную эксплуатацию особые магнитные костюмы (разработка МИСиС). Они выдерживают рекордную температуру, а также защищают своих владельцев от ядов, опасных биологических агентов и электромагнитного излучения.

Изюминка костюма — в его уникальном материале, который удостоился премии Правительства России. По степени прочности и стойкости к различным поражающим факторам он превосходит все известные мировые аналоги.

Ноу-хау разработки заключается в уникальной технологии напыления на ткань так называемых магнитопластов. Для этого сначала получают порошок из сплавов редкоземельных металлов, таких как ферриты бария или стронция. Потом добавляют к этой мелкодисперсной фракции связующий полимер. Получившийся состав текстурируют на защитной ткани, после чего она становится более стойкой к воздействию теплового, электромагнитного потоков и прочих негативных факторов.

<http://www.mk.ru/science/2015/06/05/pozharnykh-odenut-v-kostyummy-kotorye-ne-goryat-v-ogne.html>

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ!

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

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

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

Редакция просит авторов при подготовке рукописи руководствоваться изложенными ниже правилами.

1. Статья и сопутствующие ей материалы должны быть направлены в редакцию в электронном виде по адресу info@fire-smi.ru.

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

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

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

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

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

Материал статьи должен излагаться в следующем порядке.

2.1. Номер УДК (универсальная десятичная классификация).

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

2.3. Информация об авторах.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Сокращения и условные обозначения физических величин в тексте статьи должны соответствовать действующим международным стандартам. Формулы и буквенные обозначения должны быть четкими и ясными. Все буквенные обозначения, входящие в формулы, должны быть расшифрованы с указанием единиц измерения. Размерность всех характеристик должна соответствовать системе СИ. Иллюстрации в электронной версии прилагаются отдельно. Фотографии должны быть сделаны с хорошего негатива контрастной печатью (файлы растровых изображений предоставляются с разрешением не менее 300 dpi, черно-белая штриховая графика — 600 dpi). Файлы векторной графики следует предоставлять в формате той программы, в которой они созданы, либо печатать PDF-файл из этой программы. Все иллюстрации должны иметь сквозную нумерацию. Чертежи и карты в качестве иллюстраций неприемлемы. Ссылки на все рисунки в тексте обязательны.

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

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

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

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

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

В описании источников необходимо указывать всех авторов.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

При составлении References необходимо следовать схеме:

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

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

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

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

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

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

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

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

Продолжается
подписка
на журнал

2018

ПОЖАРОВЗРЫВО- БЕЗОПАСНОСТЬ



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

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

ЭЛЕКТРОННАЯ ВЕРСИЯ:

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

ПОДПИСКА ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ:

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

Межрегиональная
специализированная выставка

СТРОИТЕЛЬСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТЬ ИНФРАСТРУКТУРА

г. Курган

СК им. В.Ф. Горбенко, ул.Сибирская, 1

25-27 апреля 2018г.



Стройиндустрия
Промышленность

Жилищно-коммунальная
инфраструктура

Транспорт
Безопасность
Связь

Организаторы:

Правительство Курганской области,
ООО "Выставочная компания Сибэкспосервис"
г.Новосибирск

тел.: (383) 335 63 50 - многоканальный,
e-mail: vk ses@yandex.ru,
www.ses.net.ru

СИБЭКСПО SERVICE



ИНСТИТУТ КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Национальный исследовательский
Московский государственный
строительный университет

Научно-
исследовательские
и сертификационные
испытания:

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

Контакты:

Тел.: 8 (495) 109-05-58

e-mail: ikbs@mgsu.ru,

mail@ikbs-mgsu.com

www.ikbs-mgsu.com

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