

11-2017

ПОЖ Издательство
НАУКА

ПОЖАРОВЗРЫВО-

БЕЗОПАСНОСТЬ



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

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

КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

пожарная • промышленная • производственная • экологическая



ПРОБЛЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ
НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ
ВЫСОТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА
В ЧАСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
БЕЗОПАСНОЙ ЭВАКУАЦИИ ПРИ
ПОЖАРЕ И ТЕХНОГЕННЫХ АВАРИЯХ

9-я Выставка
технических средств охраны
и оборудования для обеспечения
безопасности и противопожарной защиты



securika
Krasnodar



Краснодар

27 февраля –
2 марта
2018

ул. Конгрессная, 1
ВКК «Экспоград Юг»

Забронируйте стенд
securika-krasnodar.ru



Оборудование
и аксессуары
для систем
видеонаблюдения



Оборудование
для систем контроля
и управления
доступом



Оборудование
и средства
для обеспечения
противопожарной защиты



Оборудование
для систем
сигнализации
и оповещения

РЕКЛАМА



Организатор «КраснодарЭКСПО»
в составе Группы компаний ITE
+7 (861) 200-12-50, 200-12-34
securika@krasnodarexpo.ru

Генеральный
информационный партнер

RUBEJ

ОДНОВРЕМЕННО С ВЫСТАВКОЙ



WorldBuild Krasnodar
YugBuild

12+

№11 ТОМ 26
2017



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

УЧРЕДИТЕЛЬ —

ООО "Издательство "ПОЖНАУКА"

Журнал издаётся 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 15.11.2017.

Выход в свет 27.11.2017.

Формат 60x84 1/8. Тираж 2000 экз.

Бумага мелованная матовая.

Печать офсетная.

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

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

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

ЗАМ. ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

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

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

НОВОСТИ, КОНФЕРЕНЦИИ, ВЫСТАВКИ

Выставка SECURIKA St. Petersburg продемонстрировала новые достижения в индустрии безопасности

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

КРАСАВИН А. В., КАРПОВ В. Л.
Проблемы формирования нормативной базы высотного строительства в части обеспечения безопасной эвакуации при пожаре и техногенных авариях

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

БУТУЗОВ С. Ю., ПРАНОВ Б. М., ПРУС Ю. В.,
СЕМИКОВ В. Л., ЯКОВЛЕВ О. В.
Модель оценки устойчивости автоматизированных систем пожаровзрывобезопасности

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

НЕДОБИТКОВ А. И.
Признаки электродугового процесса при экспертном исследовании после пожара плавкого элемента автомобильного предохранителя

БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ОБОРУДОВАНИЯ

МЕЛЬНИКОВ В. С., МЕЛЬНИКОВ М. В.,
МОЛЧАНОВ В. П., БАСТРИКОВ Д. Л.
Условия пожара разлива нефтепродуктов на теплоизоляции резервуаров

БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ, ОБЪЕКТОВ

ФИЛИППОВ В. Н., ШЕБЕКО Ю. Н., ПОНОМАРЕВ В. М.,
НАВЦЕНЯ В. Ю., БЕСПАЛЬКО С. В., ПЛИЦЫНА О. В.
Моделирование поведения железнодорожной цистерны с СУГ в очаге пламени

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

КАЛМЫКОВ С. П., ЕСИН В. М.
Время обнаружения очага пожара

ЗОСИМОВА О. С., СЕМИН А. А., КОРОЛЬЧЕНКО Д. А.
Концепции и реалии нормирования коммуникационных путей в зданиях лечебных учреждений

ВОПРОС – ОТВЕТ

ХАРЛАМЕНКОВ А. С.
Применение кабельной продукции для обеспечения пожарной безопасности с учетом различий в терминологии

CONTENTS

NEWS, CONFERENCES, EXHIBITIONS

Exhibition SECURIKA St. Petersburg demonstrated new achievements in the safety industry

GENERAL QUESTIONS OF COMPLEX SAFETY

KRASAVIN F. V., KARPOV V. L.
Problems of the formation of the regulatory framework for high-rise construction in terms of ensuring safe evacuation in case of fire and man-made accidents

MATHEMATICAL MODELING, NUMERICAL METHODS AND PROGRAM COMPLEXES

BUTUZOV S. Yu., PRANOV B. M., PRUS Yu. V.,
SEMIKOV V. L., YAKOVLEV O. V.
Stability evaluation model of computer-aided fire-explosion safety systems

ELECTRICAL ENGINEERING

NEDOBITKOV A. I.
Arc process features at post fire expert examination of car fuse elements

SAFETY OF TECHNOLOGICAL PROCESSES AND EQUIPMENT

MELNIKOV V. S., MELNIKOV M. V.,
MOLCHANOV V. P., BASTRIKOV D. L.
Conditions of petroleum products spill fire on the heat insulation of tanks

SAFETY OF BUILDINGS, STRUCTURES, OBJECTS

FILIPPOV V. N., SHEBEKO Yu. N., PONOMAREV V. M.,
NAVTSENYA V. Yu., BESPALCO S. V., PLITSINA O. V.
Modeling of the behavior of the railway LPG tank in the hearth flame

LIFE SAFETY

KALMYKOV S. P., ESIN V. M.
Fire detection time

ZOSIMOVA O. S., SEMIN A. A., KOROLCHENKO D. A.
Concepts and realities of rationing of communication paths in the buildings of medical institutions

QUESTION – ANSWER

KHARLAMENKOV A. S.
Application of cable products for fire safety with differences in terminology



Стр. 5



Стр. 7



Стр. 21



Стр. 41

Стр. 64



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 15.11.2017.

Date of publication 27.11.2017.

Format is 60x84 1/8.

Printing is 2000 copies.

Chalk-overlay mat paper.

Offset printing.

Printed at "DIALOG", Ltd.

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

EDITOR-IN-CHIEF:

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

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF:

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

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

EDITORIAL BOARD:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



25–27 октября 2017 г.

Санкт-Петербург
КВЦ «ЭКСПОФОРУМ»

ВЫСТАВКА SECURIKA St. Petersburg ПРОДЕМОНСТРИРОВАЛА НОВЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ В ИНДУСТРИИ БЕЗОПАСНОСТИ

Организаторы:



primexpo



“ПРИМЭКСПО” / ITE Санкт-Петербург

E-mail: security@primexpo.ru

Тел.: +7 (812) 380 60 00

380 60 09

С 25 по 27 октября 2017 г. в Санкт-Петербурге в КВЦ “ЭКСПОФОРУМ” состоялась 26-я Международная выставка технических средств охраны и оборудования для обеспечения безопасности и противопожарной защиты Securika St. Petersburg.

В торжественной церемонии официального открытия выставки приняли участие:

- **Олег Владимирович Лахин**, заместитель председателя Комитета по вопросам законности, правопорядка и безопасности Санкт-Петербурга
- **Сергей Борисович Карязин**, заместитель председателя Комитета правопорядка и безопасности Ленинградской области — начальник департамента пожарной безопасности и гражданской защиты
- **Дмитрий Владимирович Сахаров**, руководитель Управления Федеральной службы по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций по Северо-Западному федеральному округу
- **Александр Александрович Красилич**, заместитель начальника Управления вневедомственной охраны войск национальной гвардии Российской Федерации по г. Санкт-Петербургу и Ленинградской области

- **Алексей Валентинович Богданов**, заместитель генерального директора Государственного “Эрмитажа”
- **Елена Владимировна Ублиева**, заместитель генерального директора компании “ЭкспоФорум-Интернешнл”
- **Ирина Анатольевна Любина**, директор компании “ПРИМЭКСПО”/ITE Санкт-Петербург

Олег Владимирович Лахин зачитал приветственное слово от имени губернатора Санкт-Петербурга Георгия Сергеевича Полтавченко, а Сергей Борисович Карязин — от имени губернатора Ленинградской области Александра Юрьевича Дрозденко. Оба губернатора подчеркнули важность проведения выставки для решения задач по обеспечению безопасности во всех сферах жизни и предотвращению современных угроз.

Александр Александрович Красилич отметил, что на выставке широко представлены российские разработки, которые стали достойными аналогами зарубежных решений, а зачастую и превосходят их по техническим характеристикам.





Подтвердил востребованность отечественной продукции и Алексей Валентинович Богданов, который подвел итоги профессионального конкурса “Эталон безопасности” и наградил победителей и лауреатов памятными дипломами и призами.

В этом году на суд профессиональной конкурсной комиссии было представлено 10 инновационных продуктов в области обеспечения безопасности. Победителями конкурса стали:

- в номинации “Технические средства обеспечения безопасности” — компания ООО “Т8 Сенсор” с продуктом “Распределенный акустический сенсор “Дунай”;
- в номинации “Системы охранного телевидения и наблюдения” — компания ООО “Петрум” с продуктом “Ethernet коммутатор с поддержкой PoE+”;
- в номинации “Системы и средства обеспечения пожарной безопасности” — ООО “Холдинг Гефест” с заявкой “Автономное устройство газового пожаротушения “AMFE JOB”.

Лауреатами конкурса стали компании: ООО НПП “Сибирский Арсенал”, ООО “МАКРОТЕК”, ООО “Огнеза”, ООО “ТД Евротехпласт”, ООО “СПЕЦВИДЕОПРОЕКТ”.

В выставке Securika St. Petersburg приняли участие **107 компаний** из России, Германии, Китая, Тайваня и Украины, в том числе более 30 компаний, никогда ранее не принимавших участие в выставке.

На выставке были представлены охранные и пожарные сигнализации, системы охранного телевидения и наблюдения, системы и средства противопожарной защиты, системы контроля и управления доступом, технические средства обеспечения безопасности, системы связи и оповещения, решения для защиты информации.

Многие компании представили новинки и обновленные версии уже признанных на рынке продуктов. В их числе — система электронного контроля, защиты и организации доступа с помощью смартфона blue-Comtract нового поколения, разработанная компанией

Winkhaus; взрывозащищенный гермобокс от компании “Бик-Информ”; новые уличные и скоростные купольные IP-видеокамеры BEWARD, представленные торговым домом “Альт-СБ”; комбинированные огнестойкие кабели от компании “ТПД Паритет” и универсальные монтажные кабели от компании “СПКБ Техно”, а также другие продукты и решения.

За 3 дня выставку посетил 3831 человек — специалисты проектных и монтажных организаций, охранных предприятий, строительных компаний, предприятий оптовой и розничной торговли оборудованием для обеспечения безопасности и противопожарной защиты, а также специалисты отделов безопасности и противопожарной защиты предприятий различных отраслей. В их числе — представители АО “Ленгидропроект”, ПАО “Нижнекамскнефтехим”, ОА “Атомэнерго”, ГК “Телрос”, компания “Яндекс”, ООО “Проектсервис”, ПАО “Сбербанк”, АО “Проектный институт № 1”, ОАО “ЛЕННИИПРОЕКТ”, ПАО “Банк ВТБ”, АО “ЛЕНМОРНИИПРОЕКТ”, ГУП “Петербургский метрополитен”, ООО “Газпром проектирование”, АО “Транснефть-Сибирь”, компания “Филип Моррис Ижора”, АО “Росжелдорпроект”, ПАО “Ижорские заводы”, ООО “ЛЕНМОНТАЖ”, компания “Гарант ПБ”, ООО “Петербургтеплоэнерго”, УК аэропорта “Пулково”, ООО “Газпром межрегионгаз”, Русский музей, ПАО “Банк “Санкт-Петербург”, ГК “ТЕЛРОС”, Русский музей, ОАО “РЖД”, СЗФ ПАО “Мегафон”, АО “Петрозлектросбыт”, ООО “Тиккурила”, ГК “ДОРАДО”, ПАО “Вымпелком” (Билайн), ФГУП “Росморпорт”, ЗАО “Зенит-Арена” и других компаний.

В рамках деловой программы выставки состоялись:

- Конференция “Новые требования законодательства по обеспечению антитеррористической безопасности объектов”
- Конференция “Пожарная безопасность. Новое в законодательстве, вопросы проектирования и обслуживания”
- Конференция для installаторов “Видеонаблюдение в деталях: практика применения новых технологий”. Спонсор конференции: компания ITV/AxxonSoft
- Научно-практическая конференция “Информационная безопасность. Невский диалог”
- Профессиональный конкурс “Эталон безопасности”;
- Семинары и технические презентации компаний-участников выставки

Мероприятия в рамках деловой программы выставки посетили более 600 человек. С учетом высокого интереса специалистов к проведенным мероприятиям деловая программа выставки Securika St. Petersburg 2018 будет еще более насыщенной, что позволит обсудить более широкий круг актуальных профессиональных вопросов.

27-я Международная выставка технических средств охраны и оборудования для обеспечения безопасности и противопожарной защиты Securika St. Petersburg состоится 24–26 октября 2018 г. в Санкт-Петербурге, в КВЦ “ЭКСПОФОРУМ”.

А. В. КРАСАВИН, канд. техн. наук, начальник управления промышленной, ядерной, радиационной, пожарной безопасности и ГОЧС, Главгосэкспертиза России (Россия, 101000, г. Москва, Фуркасовский пер., 6)

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

УДК 614.84:721.011.27+624.0

ПРОБЛЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ ВЫСОТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В ЧАСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОЙ ЭВАКУАЦИИ ПРИ ПОЖАРЕ И ТЕХНОГЕННЫХ АВАРИЯХ

Проведен анализ положений и нормативных требований проекта СП “Здания и комплексы высотные. Требования пожарной безопасности” (далее — проект СП). Проанализированы международные стандарты в части определения нормативных требований к использованию лифтов для эвакуации людей. Осуществлена верификация положений и нормативных требований отечественных нормативных документов в области проектирования противопожарной защиты высотных зданий с положениями и нормативными требованиями аналогичных международных стандартов. Определены параметры расхождения положений проекта СП и направленно-сти развития отечественных нормативных правовых актов и нормативных документов по пожарной безопасности в части организации эвакуации (спасения) людей в высотных зданиях и комплексах. Предложены способы решения проблемы обеспечения безопасной эвакуации (спасения) людей при пожарах и техногенных авариях в высотных зданиях и комплексах, оптимизации требований к пределам огнестойкости основных несущих конструкций и противопожарных преград. Обоснована необходимость реализации процесса эвакуации людей на объектах высотного строительства механическими средствами внутреннего транспорта.

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

DOI: 10.18322/PVB.2017.26.11.7-13

Введение

В ходе многолетней практики реализации объектов высотного строительства на территории России выявлены отдельные проблемы, одной из которых является отсутствие нормативно-технических документов, отвечающих требованиям современного уровня развития строительной отрасли, необходимым для проектирования высотных зданий и комплексов.

Строительным сообществом длительное время и неоднократно поднимался вопрос о необходимости разработки и утверждения нормативных документов в области высотного строительства в целях снижения затрат и сокращения сроков подготовки проектной документации.

На сегодняшний день при координации Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации утверждены и внесены в перечень национальных стандартов и сводов правил (частей таких стандартов и сводов правил) отдельные положения, в результате применения ко-

торых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований Технического регламента о безопасности зданий и сооружений (Федеральный закон № 384-ФЗ), СП 267.1325800.2016 “Здания и комплексы высотные. Правила проектирования” и СП 253.1325800.2016 “Инженерные системы высотных зданий”.

В настоящее время ведется активное обсуждение второй редакции проекта свода правил “Здания и комплексы высотные. Требования пожарной безопасности” (далее — Проект СП). Предлагаемое содержание и наполнение нормативными требованиями данного Проекта СП [1] вызывают озабоченность профессионального сообщества.

Целью написания настоящей статьи является привлечение к формированию положений и нормативных требований указанного свода правил наибольшего количества специалистов, организаций, проектных и научно-исследовательских институтов, задействованных в области высотного строительства, в том числе имеющих наработки использования

инновационных конструкторских решений, современных инженерных систем и строительных материалов. Авторами проведен анализ нормативных требований как отечественных, так и международных стандартов в области высотного строительства. Для определения вектора дальнейшего развития отечественных нормативных правовых актов и нормативных документов по пожарной безопасности представлены научные изыскания, решения и мероприятия по обеспечению безопасной эвакуации людей при пожарах и техногенных авариях, апробированные на построенных и введенных в эксплуатацию высотных зданиях и комплексах.

Анализ проекта СП “Здания и комплексы высотные. Требования пожарной безопасности”

Анализ предлагаемых на обсуждение вариантов редакций Проекта СП показал наличие общих положений и требований, повторяющихся в технических регламентах и иных национальных стандартах и сводах правил, предназначенных для проектирования объектов капитального строительства различного функционального назначения с нормативной высотой. Однако определения и положения, связанные с раскрытием специфики высотного строительства, представлены в ограниченном объеме, что не позволяет в полной мере сформировать комплекс требований и положений, необходимых для проектирования противопожарной защиты высотных зданий.

Предложенные в нормативном документе требования, по мнению профессионального сообщества, нуждаются в доработке и совершенствовании. Отдельные положения взяты из ранее используемых при проектировании высотных зданий территориальных строительных нормативов и национальных стандартов, таких как: МГСН 4.19–2005 “Временные нормы и правила проектирования multifunctionальных высотных зданий и зданий-комплексов в городе Москве”; ТСН 31-332–2006 “Жилые и общественные высотные здания”; СТО НОСТРОЙ 54–2011 “Системы обеспечения комплексной безопасности высотных зданий и сооружений”.

Сложившаяся в России ситуация с традиционными подходами к проектированию высотных зданий приводит к неоправданному расходованию строительных материалов, потере полезной площади, затруднению в выборе эффективных архитектурных, инженерно-технических, объемно-планировочных и конструктивных решений.

В связи с этим, прежде чем ограничивать в российских нормах допустимую высоту зданий, площадь этажа, использование для эвакуации лифтов или устанавливать повышенные (в сравнении с за-

рубежными требованиями) пределы огнестойкости строительных конструкций зданий и противопожарных преград, необходимо разобраться, почему в зарубежных нормах данные запреты и ограничения отсутствуют.

По мнению профессионального строительного сообщества, желательно предусмотреть процедуру наполнения (корректировки) свода правил “Здания и комплексы высотные. Требования пожарной безопасности” положениями и требованиями с учетом внедрения инновационных технологий и решений, а также технических характеристик и параметров современных инженерных систем, появляющихся на строительном рынке. Целесообразно также предусмотреть создание в развитие (дополнение) указанного свода правил постоянно обновляющегося приложения (реестра), систематизирующего согласованные в рамках вновь утверждаемых СТУ проектные решения с соответствующими компенсирующими мероприятиями.

К примеру, в США практически каждый год обновляется NEC — National Electric Code (он же NFPA). В Англии с аналогичной частотой выходят обновления BS 7671.

Как показывает опыт, наполнение нормативного документа конкретными числовыми требованиями, как правило, усложняет внедрение прогрессивных конструктивных решений и современных материалов. Отсутствие вариативности принятия возможных решений ограничивает проектировщиков и не позволяет им в полной мере использовать инновационные технологии, а также внедрять современные инженерные системы.

В качестве решений по устройству активной противопожарной защиты целесообразно рассматривать возможность использования инновационных инженерных систем и устройств, в том числе:

- направленных не только на обнаружение, но и на предупреждение возгораний (термопластыри (термодатчики) сигнализации температуры предельного нагрева электрических кабелей), позволяющих обесточивать электрооборудование и сети до возникновения коротких замыканий с последующим возгоранием, а также оповещать технический персонал о возможных неисправностях электросетей и оборудования;
- использующих пониженный (экономичный) расход воды на внутреннее пожаротушение (автоматические системы водяного пожаротушения и внутреннего противопожарного водопровода тонкораспыленной и температурно-активированной водой), способствующих упрощению доставки огнетушащих веществ к очагу пожара в высотной части зданий, а также значительно

уменьшающих материальный ущерб от пролитой воды;

- направленных на организацию процесса комбинированной эвакуации, спасения (самоспасения) людей при пожарах и техногенных авариях.

Использование специализированного внутреннего транспорта (лифтов) для организации комбинированной поэтапной эвакуации людей

Отечественные и зарубежные научные исследования, касающиеся обеспечения безопасной эвакуации людей из высотных зданий, доказали обоснованность требований, предписывающих эвакуацию людей из высотных зданий только по лестничным клеткам. Этими исследованиями [2–22] систематически, на протяжении 50 лет, доказывается необходимость использования специализированных (пожарозащищенных) лифтовых установок (кабина лифта, лифтовая шахта, лифтовый холл, машинное отделение, электроснабжение) для эвакуации людей из высотных зданий и комплексов. Использование таких лифтов для эвакуации людей позволяет значительно сократить время их выхода из высотного здания и тем самым повышает уровень безопасности людей при пожарах и техногенных авариях на объектах высотного строительства.

В настоящее время международные стандарты NFPA 101 “Life Safety Code”, NFPA 5000 “Building Construction and Safety Code”, ISO/TR 25743:2010 “Lifts (elevators) — Study of the use of lifts for evacuation during an emergency”, BTS (Building Traffic Simulator, ELEVATE, ELVAC), BS 9999:2008 “Code of practice for fire safety in the design, management and use of buildings”, IBC/2009 ICC International Building Code содержат алгоритм и требования к использованию лифтов для эвакуации людей при пожаре. Эвакуация при пожарах и техногенных авариях посредством лифтов реализована в таких высотных зданиях, как Stratosphere Tower в Лос-Анджелесе, the Shaft в Лондоне, Eureka Tower в Мельбурне, Burj Dubai Tower в Дубае.

Отечественным профессиональным строительным сообществом неоднократно поднимался вопрос о необходимости внесения в нормативные правовые акты и нормативные документы по пожарной безопасности в области проектирования противопожарной защиты высотных зданий положений по эвакуации людей с помощью специализированных лифтов, имеющих режим “перевозки пожарных подразделений”. В 2017 г. данная проблема обсуждалась на многих научно-практических конференциях и форумах, посвященных обеспечению пожарной безопасности высотных зданий.

Тенденции развития отечественных нормативных правовых актов и нормативных документов по пожарной безопасности в области проектирования противопожарной защиты подтверждают необходимость использования специализированных лифтов для эвакуации (спасения) людей при пожарах, на что указано в ч. 15 ст. 89 Технического регламента о требованиях пожарной безопасности (Федеральный закон № 123-ФЗ), ГОСТ Р 55966–2014 (ЕН 81-76:2011) “Лифты. Специальные требования безопасности к лифтам, используемым для эвакуации инвалидов и других маломобильных групп населения”, ГОСТ Р 22.9.11–2013 “Аварийно-спасательные средства спасения из высотных зданий”, СП 59.13330.2016 “Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения. Актуализированная редакция СНиП 35-01–2001”, СП 158.13330.2014 “Здания и помещения медицинских организаций. Правила проектирования”, СТО НОСТРОЙ 2.35.73–2012 “Системы обеспечения комплексной безопасности высотных зданий и сооружений”.

Зарубежные исследования показывают, что использование внутреннего вертикального транспорта для эвакуации людей при пожаре в высотных зданиях не только целесообразно, но и необходимо [22–26]. Выход людей в поэтажные безопасные зоны не является завершающим этапом процесса эвакуации из-за вероятности дальнейшего развития пожара, сопутствующих ему техногенных аварий и возможного обрушения здания. В данном случае лифт может оказаться единственным путем эвакуации (спасения) для людей, включая маломобильные группы населения, из здания в целом и из зон безопасности в частности.

Вывод

Подводя итоги вышесказанного, важно еще раз обратить внимание профессионального сообщества на то, что окончательная редакция СП “Здания и комплексы высотные. Требования пожарной безопасности” призвана сократить количество разрабатываемых СТУ, что особенно актуально для жилых зданий высотой от 75 до 100 м и общественных (многофункциональных) — высотой от 50 до 100 м.

Представляется целесообразным рассмотреть на этапе обсуждения проекта свода правил “Здания и комплексы высотные. Требования пожарной безопасности” возможность включения положений по обеспечению безопасной эвакуации людей при пожарах и техногенных авариях с помощью лифтов, функционирование которых в начальной стадии пожара эквивалентно режиму “перевозки пожарных подразделений”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Холицевников В. В. В помощь разработчикам свода правил “Здания и комплексы высотные. Требования пожарной безопасности” // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2017. — Т. 26, № 8. — С. 70–76.
2. Холицевников В. В. Оптимизация путей движения людских потоков. Высотные здания : дис. ... канд. техн. наук. — М. : МИСИ, 1969. — 251 с.
3. Великовский Л. Б., Холицевников В. В. Вопросы эвакуации из высотных зданий // Архитектура СССР. — 1969. — № 1 — С. 46–49.
4. Predtechenskiy V. M., Kholshchevnikov V. V. Flow regularities and standardization technique of multi-storey building circulation areas // Proceedings of Symposium on Tall Buildings. — 1971. — 22 p.
5. Холицевников В. В., Вольф-Трон Л. И., Ройтбурд С. М. Лифты как средство эвакуации людей из многоэтажных зданий // Подъемно-транспортное и свайное оборудование. — 1978. — № 2. — С. 18–21.
6. Ройтбурд С. М., Холицевников В. В. Безопасная эвакуация людей из многоэтажных зданий. Перспективный аналитический обзор. — М. : ВНИИТИ, 1979. — 11 с.
7. Kholshchevnikov V. V., Predtechenskiy V. M. Analysis and modeling the relationships between pedestrian flow parameters // International Council for Building. Report No. 14/86/37. — 1986. — 14 p.
8. Холицевников В. В., Ройтбурд С. М. Эффективность использования лифтов для эвакуации людей // Сб. ВНИИС Госстроя СССР. — 1986. — № 8. — С. 24–31.
9. Холицевников В. В. Оперативная оценка проектов высотных зданий на соответствие критериям безопасной эвакуации людей // Глобальная безопасность. — 2000. — № 3, 4. — С. 9–11.
10. Kholshchevnikov V. V. Foot traffic flows: actual observations, experiments and theory (Людские потоки: натурные наблюдения, эксперимент, теория) // Fire bridge : Proceedings of International Conference. — Northern Ireland, University of Ulster, 2–6 September 2000. — 20 p.
11. Общие требования к комплексному обеспечению безопасности многофункциональных высотных зданий и комплексов. Раздел 1: Противопожарная защита высотных зданий и уникальных объектов : учебно-методическое пособие в помощь специалистам проектных и монтажных организаций, страховым компаниям, службам безопасности / Под общ. ред. М. М. Любимова. — М. : Университет комплексных систем безопасности и инженерного обеспечения, ВАНКБ, 2004. — 200 с.
12. Холицевников В. В., Самошин Д. А. К вопросу безопасности использования лифтов при эвакуации из высотных зданий // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2006. — Т. 15, № 5. — С. 45–47.
13. Холицевников В. В., Самошин Д. А. Нормирование безопасной эвакуации людей из высотных зданий // Промышленное и гражданское строительство. — 2007. — № 2. — С. 50–52.
14. Холицевников В. В., Самошин Д. А. Анализ процесса эвакуации людей из высотных зданий // Жилищное строительство. — 2008. — № 8. — С. 24–26.
15. Холицевников В. В., Кудрин И. С. Анализ условий обеспечения требуемого уровня индивидуального пожарного риска в высотных зданиях // Жилищное строительство. — 2010. — № 1. — С. 11–14.
16. Самошин Д. А., Кудрин И. С., Истратов Р. Н. К вопросу о безопасной эвакуации людей из высотных зданий // Пожарная безопасность в строительстве. — 2010. — № 6. — Стр. 64–67.
17. Карпов В. Л., Медяник М. В. О необходимости реализации процесса превентивного спасения людей при пожаре в уникальных высотных зданиях // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2017. — Т. 26, № 8. — С. 25–30. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.08.25-30.
18. Ройтбурд С. М. Использование пассажирских лифтов для эвакуации и спасения при пожаре в зданиях // Лифт. — 2012. — № 2. — С. 69–75.
19. Bukowski R., Fleming R., Tubbs J., Marrion C., Dirksen J., Duke C., Prince D., Richardson L. F., Beste L. D., Stanlaske D. Elevator Control // NFPA Journal. — March/April 2006. — P. 43–57.
20. Sunder S. S., Gann R. G., Grosshandler W. L., Lew H. S., Bukowski R. W., Sadek F., Gayle F. W., Gross J. L., McAllister T. P., Averill J. D., Lawson J. R., Nelson H. E., Cauffman S. A. Final report on the collapse of the World Trade Center towers” / NIST NCSTAR 1, WTC Investigation. — Washington : NIST, 2005. — 248 p. DOI: 10.6028/nist.ncstar.1.
21. Bärlund K., Mäkelä M., Kattainen A., Siikonen M. L. Evacuation mode for total building evacuation // Building Safety Journal. — 2006. — No. 6. — P. 36–39.

22. Kinsey M. J., Galea E. R., Lawrence P. J. Stairs or lifts — A study of human factors associated with lift/elevator usage during evacuations using an online survey // *Pedestrian and Evacuation Dynamics* / Peacock R., Kuligowski E., Averill J. (eds.). — Boston, MA : Springer, 2011. — P. 627–636. DOI: 10.1007/978-1-4419-9725-8_56.
23. Kinsey M. J., Galea E. R., Lawrence P. J. Human factors associated with the selection of lifts/elevators or stairs in emergency and normal usage conditions // *Fire Technology*. — 2010. — Vol. 48, Issue 1. — P. 3–26. DOI: 10.1007/s10694-010-0176-7.
24. Thompson P., Nilsson D., Boyce K., McGrath D. Evacuation models are running out of time // *Fire Safety Journal*. — 2015. — Vol. 78. — P. 251–261. DOI: 10.1016/j.firesaf.2015.09.004.
25. Fryar C. D., Carroll M. D., Ogden C. L. Prevalence of obesity among children and adolescents: United States, trends 1963–1965 through 2009–2010. — Hyattsville, MD : National Center for Health Statistics, 2012. — 6 p. URL: [http://www.nccpeds.com/ContinuityModules-Fall/Fall %20Continuity% 20Source%20Materials/Obesity-2009-10%20Trends.pdf](http://www.nccpeds.com/ContinuityModules-Fall/Fall%20Continuity%20Source%20Materials/Obesity-2009-10%20Trends.pdf) (дата обращения: 20.09.2017).
26. Levy J., Segal L. M., Thomas K., Laurent R., Lang A., Rayburn J. F as in Fat: How Obesity Threatens America's Future 2012. — USA : Trust for America's Health, Robert Wood Johnson Foundation, 2013.

Материал поступил в редакцию 25 сентября 2017 г.

Для цитирования: Красавин А. В., Карпов В. Л. Проблемы формирования нормативной базы высотного строительства в части обеспечения безопасной эвакуации при пожаре и техногенных авариях // *Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety*. — 2017. — Т. 26, № 11. — С. 7–13. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.11.7-13.

English

PROBLEMS OF THE FORMATION OF THE REGULATORY FRAMEWORK FOR HIGH-RISE CONSTRUCTION IN TERMS OF ENSURING SAFE EVACUATION IN CASE OF FIRE AND MAN-MADE ACCIDENTS

KRASAVIN F. V. Candidate of Technical Sciences, Head of Management of Industrial, Nuclear, Radiation, Fire Safety, Glavgosexpertiza Russia (Furkasovskiy Side-St., 6, Moscow, 101000, Russian Federation)

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

ABSTRACT

One of the locomotives for the development of the construction industry as a whole is the area of high-rise construction. Often, it is in the process of implementing high-rise buildings that the search for and approbation of innovative design solutions, engineering systems and technical communications, and modern building materials is carried out.

The main problem that prevents the implementation of high-rise buildings is the lack of regulatory and technical documents that meet the requirements of the current level of development of the construction industry. This problem is one of the reasons for the emergence of administrative barriers, increasing costs and timing of preparation of project documentation for high-rise buildings, obstacles to the introduction of innovative technologies and engineering systems.

The proposed content and filling with regulatory requirements, currently being developed codes of rules for the design of high-rise buildings and complexes, including in terms of providing fire safety, is a concern of the professional community.

Filling the regulatory requirements and provisions, newly developed documents of the domestic regulatory framework, is not progressive enough and lags behind the level of proposed solutions of similar international standards for the design of high-rise buildings.

In contrast to international standards, there is no requirement and provision for evacuation (rescue) of people in case of fire and man-made accidents from high-rise buildings and complexes by specialized mechanical means of internal transport.

The relevance of this article is due to the need to introduce changes and additions to the evacuation of people in high-rise buildings and complexes with the help of specialized mechanical means of internal transport. This procedure is possible in view of the fact that the set of rules “Buildings and high-rise complexes. Fire Safety Requirements”, not approved, currently under discussion.

Keywords: high-rise buildings; fire safety; evacuation; rescue; elevators for transportation of fire departments.

REFERENCES

1. Kholshchevnikov V. V. To help developers of set of rules “High-rise buildings and complexes. Fire safety requirements”. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 8, pp. 70–76 (in Russian).
2. Kholshchevnikov V. V. *Optimization of routes of movement of human streams. High-rise buildings*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, 1969. 251 p. (in Russian).
3. Velikovskiy L. B., Kholshchevnikov V. V. Evacuation from high-rise buildings. *Arkitektura SSSR / Architecture in the USSR*, 1969, no. 1, pp. 46–49 (in Russian).
4. Predtechenskiy V. M., Kholshchevnikov V. V. Flow regularities and standardization technique of multi-storey building circulation areas. In: *Proceedings of Symposium on Tall Buildings*, 1971. 22 p.
5. Kholshchevnikov V. V., Wolf-Trop L. I., Roitburd S. M. Elevators as a means of evacuation from high-rise buildings. *Podyemno-transportnoye i svaynoye oborudovaniye / Materials Handling and Piling Equipment*, 1978, no. 2, pp. 18–21 (in Russian).
6. Roitburd S. M., Kholshchevnikov V. V. *Bezopasnaya evakuatsiya lyudey iz mnogoetazhnykh zdaniy. Perspektivnyy analiticheskiy obzor* [Safe evacuation of people from high-rise buildings. Promising analytical review]. Moscow, VINITI Publ., 1979. 11 p. (in Russian).
7. Kholshchevnikov V. V., Predtechenskiy V. M. Analysis and modeling the relationships between pedestrian flow parameters. *International Council for Building*, Report No. 14/86/37, 1986. 14 p.
8. Kholshchevnikov V. V., Roitburd S. M. Efficiency of the use of elevators for evacuation. *Sbornik VNIIS Gosstoya SSSR / Proceedings of VNIIS Gosstroy USSR*, 1986, no. 8, pp. 24–31 (in Russian).
9. Kholshchevnikov V. V. Rapid assessment of projects of high-rise buildings against the criteria of safe evacuation of people. *Globalnaya bezopasnost / Global Security*, 2000, no. 3, 4, pp. 9–11 (in Russian).
10. Kholshchevnikov V. V. Foot traffic flows: actual observations, experiments and theory. In: *Fire bridge: Proceedings of International Conference*. Northern Ireland, University of Ulster, 2–6 September 2000. 20 p.
11. Lyubimov M. M. (ed.). *Obshchiye trebovaniya k kompleksnomu obespecheniyu bezopasnosti mnogo-funktionalnykh vysotnykh zdaniy i kompleksov. Razdel 1: Protivopozharnaya zashchita vysotnykh zdaniy i unikalnykh obyektoy: uchebno-metodicheskoye posobiye v pomoshch spetsialistam proyektnykh i montazhnykh organizatsiy, strakhovym kompaniyam, sluzhbam bezopasnosti* [General requirements for integrated security multifunctional high-rise buildings and complexes. Section 1: Fire protection of tall buildings and unique objects: a teaching manual to help professionals design and Assembly organizations, insurance companies, security services]. Moscow, University of Complex Security Systems and Engineering Maintenance, WSCS, 2004. 200 p. (in Russian).
12. Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A. On the safety of using elevators in the evacuation from high-rise buildings. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2006, vol. 15, no. 5, pp. 45–47 (in Russian).
13. Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A. Rating the safe escape of people from high-rise buildings and its provision with software. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo / Industrial and Civil Engineering*, 2007, no. 2, pp. 50–52 (in Russian).
14. Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A. Analysis of the evacuation people process from high-rise buildings. *Zhilishchnoye stroitelstvo / Housing Construction*, 2008, no. 8, pp. 24–26 (in Russian).
15. Kholshchevnikov V. V., Kudrin I. S. Analysis of conditions of provision of required level of individual fire risk in high-rise buildings. *Zhilishchnoye stroitelstvo / Housing Construction*, 2010, no. 1, pp. 11–14 (in Russian).

16. Samoshin D. A., Kudrin I. S., Istratov R. N. On the safe evacuation of people from high-rise buildings. *Pozharnaya bezopasnost v stroitelstve / Fire Safety in Construction*, 2010, no. 6, pp. 64–67 (in Russian).
17. Karpov V. L., Medyanik M. V. About the necessity of realization of process of preventive rescue of people during the fire in a unique high-rise buildings. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 8, pp. 25–30 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.08.25-30.
18. Roitburd S. M. Use of passenger elevators for evacuation and rescue in case of fire in buildings. *Lift / Elevator*, 2012, no. 2, pp. 69–75 (in Russian).
19. Bukowski R., Fleming R., Tubbs J., Marrion C., Dirksen J., Duke C., Prince D., Richardson L. F., Beste L. D., Stanlaske D. Elevator Control. *NFPA Journal*, March/April 2006, pp. 43–57.
20. Sunder S. S., Gann R. G., Grosshandler W. L., Lew H. S., Bukowski R. W., Sadek F., Gayle F. W., Gross J. L., McAllister T. P., Averill J. D., Lawson J. R., Nelson H. E., Cauffman S. A. *Final report on the collapse of the World Trade Center towers. NIST NCSTAR 1, WTC Investigation*. Washington, NIST, 2005. 248 p. DOI: 10.6028/nist.ncstar.1.
21. Bärlund K., Mäkelä M., Kattainen A., Siikonen M. L. Evacuation mode for total building evacuation. *Building Safety Journal*, 2006, no. 6, pp. 36–39.
22. Kinsey M. J., Galea E. R., Lawrence P. J. Stairs or lifts — A study of human factors associated with lift/elevator usage during evacuations using an online survey. In: Peacock R., Kuligowski E., Averill J. (eds.). *Pedestrian and Evacuation Dynamics*. Boston, MA, Springer, 2011, pp. 627–636. DOI: 10.1007/978-1-4419-9725-8_56.
23. Kinsey M. J., Galea E. R., Lawrence P. J. Human factors associated with the selection of lifts/elevators or stairs in emergency and normal usage conditions. *Fire Technology*, 2010, vol. 48, issue 1, pp. 3–26. DOI: 10.1007/s10694-010-0176-7.
24. Thompson P., Nilsson D., Boyce K., McGrath D. Evacuation models are running out of time. *Fire Safety Journal*, 2015, vol. 78, pp. 251–261. DOI: 10.1016/j.firesaf.2015.09.004.
25. Fryar C. D., Carroll M. D., Ogden C. L. *Prevalence of obesity among children and adolescents: United States, trends 1963–1965 through 2009–2010*. Hyattsville, MD, National Center for Health Statistics, 2012. 6 p. Available at: <http://www.nccpeds.com/ContinuityModules-Fall/Fall%20Continuity%20Source%20Materials/Obesity-2009-10%20Trends.pdf> (Accessed 20 September 2017).
26. Levy J., Segal L. M., Thomas K., Laurent R., Lang A., Rayburn J. *F as in Fat: How Obesity Threatens America's Future 2012*. USA, Trust for America's Health, Robert Wood Johnson Foundation, 2013.

For citation: Krasavin F. V., Karpov V. L. Problems of the formation of the regulatory framework for high-rise construction in terms of ensuring safe evacuation in case of fire and man-made accidents. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 11, pp. 7–13 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.11.7-13.

С. Ю. БУТУЗОВ, д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры информационных технологий, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: butuzov_s_yu@mail.ru)

Б. М. ПРАНОВ, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры прикладных информационных технологий Института общественных наук, Российская академия народного хозяйства и государственной службы (Россия, 119571, г. Москва, просп. Вернадского, 82, стр. 1; e-mail: boris.prinov@gmail.com)

Ю. В. ПРУС, д-р физ.-мат. наук, профессор, заведующий кафедрой управления и экономики Государственной противопожарной службы, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: prus.yurii@gmail.ru)

В. Л. СЕМИКОВ, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры управления и экономики Государственной противопожарной службы, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: vlsemikov@km.ru)

О. В. ЯКОВЛЕВ, д-р техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр "Информатика и управление" РАН (Россия, 119333, г. Москва, ул. Вавилова, 44, корп. 2; e-mail: olexvl@yandex.ru)

УДК 681.3.067;614+004

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ

Проведен анализ методов оценки надежности и устойчивости функционирования автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) пожаровзрывоопасных предприятий. Показано, что в настоящее время при проектировании данных систем на единой программно-аппаратной базе принимается условие, что физико-технические характеристики элементов систем не меняются во времени. Однако в условиях быстротекущих технологических процессов (взрывы, пожары на промышленных предприятиях) из-за временной деградации, помех, недостатков в сборке и т. д. теоретические показатели эффективности могут снижаться до 25 %. Во избежание данных неточностей в расчетах при проектировании автоматизированных систем пожаровзрывобезопасности (АСПВБ) промышленных предприятий предложена математическая модель оценки устойчивости функционирования этих систем, являющихся частью АСУТП, которая основана на исследованиях в области устойчивости автоматических технических систем Э. Рауса и энтропийных методов А. Дж. Вилсона. Проведено моделирование надежности и устойчивости функционирования каналов передачи информации для различных вариантов построения АСПВБ. Показано, что для оптимизации затрат может быть использован комплексный подход, основанный на использовании единой программно-аппаратной платформы микропроцессорной платформы АСУТП.

Ключевые слова: автоматизированные системы управления технологическим процессом; системная магистраль передачи данных; автоматизированные системы пожаровзрывобезопасности; устойчивость и надежность технических систем; энтропия технической системы; энтропийная модель оценки устойчивости.

DOI: 10.18322/PVB.2017.26.11.14-20

Введение

В условиях современного экономического подъема возрастает актуальность надежного функционирования автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) промышленных предприятий, являющихся критически важными для российской экономики.

Автоматизированные системы пожаровзрывобезопасности (АСПВБ) в настоящее время стали играть

ключевую роль в структуре АСУТП. При этом они являются сверхбыстродействующими подсистемами, способными обеспечить детектирование избыточного давления взрывоопасных технологических установок в течение 0,1 мкс. В этом случае возможно осуществить в реальных масштабах времени сброс давления, чтобы защитить технологическое оборудование от разрушения и персонал предприятия от гибели [1].

© Бутузов С. Ю., Пранов Б. М., Прус Ю. В., Семиков В. Л., Яковлев О. В., 2017

Однако соблюдение данного требования увеличивает частоту опроса датчиков давления свыше 10^7 с^{-1} , частота системной магистрали передачи данных должна составлять более 10 МГц, а для обеспечения надежного детектирования избыточного давления — до 100 МГц. В этом случае актуальным становится вопрос устойчивой работы шины АСПВБ, а именно каналов передачи информации [2].

Целью данной работы является создание методики оценки надежности функционирования каналов передачи информации на основе моделирования величины энтропии АСПВБ. Для достижения данной цели разработана математическая энтропийная модель, основанная на научных работах А. Дж. Вилсона [3] и Э. Рауса [4].

Теоретический анализ

Анализ научно-технической литературы показал, что в настоящее время отсутствуют системные научные исследования устойчивости функционирования АСПВБ [5–8].

Для расчетов АСУТП используются модели, представленные в [9–11]. Данные расчетные модели базируются на условии, что технические характеристики элементов автоматизированной системы не меняются во времени, вне зависимости от воздействующих факторов. Например, такой параметр, как скорость передачи данных, который является основным лимитирующим показателем системы. В этом случае расчет скорости передачи данных строится на основании произведения $P\theta$ (где P — разрядность системной шины; θ — ее тактовая частота).

В реальных же условиях на производительность системной магистрали передачи данных (шина) оказывают влияние всевозможные факторы: проводимость материалов, которая меняется во времени, помехи, недостатки конструкции и сборки, а также многие другие факторы. По данным, взятым из [12, 13], разность между теоретической скоростью передачи данных и практической может уменьшаться до 25 % от расчетной величины.

В современных АСУТП, создаваемых на единой программно-аппаратной базе, при возникновении чрезвычайной ситуации возможен конфликт между информационными потоками различных подсистем. Может возникнуть ситуация, при которой первичная информация от высокоскоростных высокопроизводительных источников может быть заблокирована менее производительной линией, что приведет к полному отказу системы [14].

Разработчики АСПВБ для недопущения подобной ситуации вынуждены предусматривать резервные каналы передачи информации, что влечет за собой увеличение первоначальной стоимости технического проекта.

Разработанная в настоящей работе модель оценки поможет проводить оптимизацию структуры системы, что, в свою очередь, повысит надежность функционирования системы в целом.

Методика

Для создания модели оценки устойчивости функционирования информационных каналов АСПВБ, основанной на изменении величины информационной энтропии системы [1], первоначально необходимо получить характеристическое уравнение системы

$$D(S) = a_0 S^n + a_1 S^{n-1} + \dots + a_{n-1} S + a_n, \quad (1)$$

где $a_0, a_1, \dots, a_n$ — коэффициенты характеристического уравнения системы;

S — энтропия системы;

n — количество подсистем АСПВБ.

Известно [4], что необходимым условием устойчивости системы любого порядка является положительность всех коэффициентов характеристического уравнения (1): $a_0 > 0, a_1 > 0, \dots, a_n > 0$.

Действительно, уравнение (1) можно представить в виде произведений множителей, содержащих корни $S_1, S_2, \dots, S_n$:

$$a_0 (S - S_1) \cdot (S - S_2) \dots (S - S_n) = 0. \quad (2)$$

Если все корни характеристического уравнения будут отрицательными, то все множители выражения (2) будут иметь вид:

$$a_0 (S + |a_1|) \cdot (S + |a_2|) \dots (S + |a_n|) = 0, \quad (3)$$

где $|a_i|$ — значения корней.

Произведя умножение в (3), получим (1), в котором все коэффициенты будут определяться положительными членами $|a_i|$ выражения (3), т. е. будут положительными.

Для систем, в которых одна или две подсистемы, необходимое условие устойчивости является и достаточным условием. Для систем, в которых три и более подсистем, условие положительности коэффициентов характеристического уравнения является необходимым, но недостаточным условием.

Для того чтобы оценить устойчивость системы, необходимо использовать алгоритм, основанный на исследованиях английского математика Э. Рауса [4]. Для оценки устойчивости построим таблицу.

В первой строке таблицы записывают в порядке возрастания индексов коэффициенты характеристического уравнения (1), имеющие четный индекс: $a_0, a_2, a_4, a_6, \dots$, во второй строке — с нечетным индексом: $a_1, a_3, a_5, \dots$.

В данном случае число строк таблицы равно степени характеристического уравнения (1) плюс единица.

Матрица коэффициентов характеристического уравнения
The coefficient matrix of the characteristic equation

Коэффициент r_i Coefficient r_i	Строка Row	Столбец / Column			
		1	2	3	4
—	1	$a_0 = c_{11}$	$a_2 = c_{21}$	$a_4 = c_{31}$	...
—	2	$a_1 = c_{12}$	$a_3 = c_{22}$	$a_5 = c_{32}$	...
$r_3 = a_0/a_1$	3	$c_{13} = a_2 - r_3 a_3$	$c_{23} = a_4 - r_3 c_{33}$	$c_{33} = a_6 - r_3 a_7$	...
$r_4 = a_1/c_{13}$	4	$c_{14} = a_3 - r_4 c_{23}$	$c_{24} = a_5 - r_4 c_{33}$	$c_{34} = a_7 - r_4 c_{43}$	...
$r_5 = c_{13}/c_{14}$	5	$c_{15} = c_{23} - r_5 c_{23}$	$c_{25} = c_{33} - r_5 c_{33}$	$c_{35} = c_{43} - r_5 c_{43}$	...
...	...	...	...	...	...
$r_i = \frac{c_{1,i-2}}{c_{1,i-1}}$	i	$c_{1,i} = c_{2,i-2} - r_i c_{2,i-1}$	$c_{2,i} = c_{3,i-2} - r_i c_{3,i-1}$	$c_{3,i} = c_{4,i-2} - r_i c_{4,i-1}$	...

Тогда условие устойчивости можно сформулировать так: для того чтобы система была устойчива, необходимо и достаточно, чтобы коэффициенты первого столбца таблицы имели один и тот же знак.

Данный процесс может быть легко автоматизирован в силу простоты его формализации.

Оценивать работу системы следует при моделировании информационного воздействия. Предположим, что в АСПВБ одновременно задействуются несколько информационных каналов.

В этом случае для АСПВБ, построенной по *дискректному* принципу, величина энтропии S_d определяется по формуле [15]:

$$S_d = -\sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i, \quad (4)$$

где p_i — вероятность появления сигнала в i -м канале.

Известно [6], что в АСПВБ всегда задействован хотя бы один информационный канал (например, канал передачи значения давления в технологическом оборудовании). В этом случае вероятность появления сигнала в данном информационном канале равна единице. Если сигналы в других каналах отсутствуют, то, очевидно, вероятность появления сигналов в них равна нулю, т. е. для заранее известного информационного сообщения выражение (4) будет состоять из слагаемых двух видов: либо $1 \cdot \log_2 1$, либо $0 \cdot \log_2 0$. Слагаемое первого вида равно нулю, а значит, $\lim_{x \rightarrow 0} (x \cdot \log_2 x) = 0$ и, следовательно, энтропия заранее известного сообщения равна нулю.

Следует определить, какое максимальное значение может принимать слагаемое $-p_i \log_2 p_i$. Для этого продифференцируем уравнение (4) и приравняем производную нулю:

$$\begin{aligned} (d/(dp_i))(-p_i \log_2 p_i) &= \\ &= -p_i \log_2 p_i - p_i - p_i(1/p_i) \log_2 e = 0, \end{aligned} \quad (5)$$

т. е. $p_i = 1/e$.

Так как все слагаемые выражения (4) не превышают значения $(1/e) \log_2 e$, то из этого следует, что энтропия АСПВБ есть величина конечная при любом количестве информационных подсистем. Очевидно, при таком распределении вероятностей p_i энтропия принимает максимальное значение, что коррелирует с результатами Э. Рауса.

Теперь воспользуемся методом неопределенных множителей Лагранжа и найдем максимум функции в виде формулы (6), составленной с учетом дополнительного условия $\sum_{i=1}^n p_i = 1$:

$$F = -\sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i - \lambda \sum_{i=1}^n p_i. \quad (6)$$

Дифференцируя (6) по p_i и приравнявая производную нулю, получаем уравнение (7) или (8):

$$\frac{dF}{dp_i} = -\log_2 p_i - \left(\frac{1}{p_i}\right) p_i \log_2 e - \lambda = 0; \quad (7)$$

$$-\log_2 p_i = \log_2 e + \lambda. \quad (8)$$

Анализируя выражение (6), можно сделать вывод, что вероятность p_i не зависит от переменной суммирования, что может быть только в том случае, если все вероятности равны между собой: $p_1 = p_2 = \dots = p_n = p = 1/n$. Следовательно,

$$S_d^{\max} = -\sum_{i=1}^n \frac{1}{n} \log_2 \frac{1}{n} = \log_2 n.$$

Известно [3], что энтропия стремится к своему максимальному значению. Основываясь на этом, можно заключить, что энтропия системы достигает максимального значения, когда вероятности появления информационных сигналов равны.

Следует отметить, что формула (4) верна в ситуации, когда заранее неизвестно, какое сообщение будет передано в тот или иной момент времени, т. е. выбор конкретного сообщения для адресата случаен.

Примером использования такой ситуации может быть АСПВБ, в которой задействуют единый информационный канал. При этом информационные сигналы поступают к адресату независимо друг от друга.

В случае создания АСПВБ, в которой ряд сигналов зависит друг от друга, величина информационной энтропии определяется по зависимости, отличной от (4).

Тогда систему сигналов (X, Y) рассматриваем как один сигнал, а множество состояний такого совокупного сигнала представим состоящими из пар вида (x_i, y_j) , где $i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, n$. При известных вероятностях $p(x_i, y_j)$ появления пары (x_i, y_j) энтропия системы сигналов (X, Y) определяется выражением

$$S(X, Y) = -\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n p(x_i, y_j) \log_2 p(x_i, y_j). \quad (9)$$

Согласно теореме умножения вероятностей имеем:

$$p(x_i, y_j) = p(y_j) p(x_i | y_j); \quad (10)$$

$$p(x_i, y_j) = p(x_i) p(y_j | x_i), \quad (11)$$

где $p(x_i), p(y_j)$ — вероятности появления сигналов соответственно $x_i \in X, y_j \in Y$;

$p(x_i | y_j)$ — условная вероятность появления элемента $x_i \in X$ при условии, что уже имеется сигнал $y_j \in Y$;

$p(y_j | x_i)$ — условная вероятность появления сигнала $y_j \in Y$ при условии, что уже имеется сигнал $x_i \in X$.

Подставляя в (9) выражение (10), получаем формулу

$$S(X, Y) = -\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n p(y_j) p(x_i | y_j) \times \log_2 [p(y_j) p(x_i | y_j)]. \quad (12)$$

Учитывая, что $\log_2 (p(y_j) p(x_i | y_j)) = \log_2 p(y_j) + \log_2 p(x_i | y_j)$, последнее выражение запишем в виде:

$$S(X, Y) = -\sum_{j=1}^n p(y_j) \log_2 p(y_j) \sum_{i=1}^n p(x_i | y_j) - \sum_{j=1}^n p(y_j) \sum_{i=1}^n p(x_i | y_j) \log_2 p(x_i | y_j). \quad (13)$$

Имея в виду, что $\sum_{i=1}^n p(x_i | y_j) = 1$, получаем выражение

$$S(X, Y) = -\sum_{j=1}^n p(y_j) \log_2 p(y_j) - \sum_{j=1}^n p(y_j) \sum_{i=1}^n p(x_i | y_j) \log_2 p(x_i | y_j). \quad (14)$$

В соответствии с (4) первая сумма (14) представляет собой энтропию сигнала Y , а вторую сумму

второго члена (14) можно рассматривать как энтропию сигнала X при условии, что второй сигнал Y получил конкретное значение Y_j . Эту условную энтропию относительно элемента Y_j можно назвать частной условной энтропией, которую обозначим как $S(X | y_j)$.

Аналогичное выражение можно получить и для $S(Y | x_i)$.

Следует показать, в каких пределах может изменяться энтропия объединения двух информационных сигналов — X и Y . Выражение для условной энтропии будет иметь вид:

$$S(X | Y) = -\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n p(y_j) p(x_i | y_j) \log_2 p(x_i | y_j). \quad (15)$$

Известно [9], что для независимых случайных событий условные вероятности равны безусловным. Если предположить, что составляющие X и Y сигнала (X, Y) независимы, то в выражении (14) возможна замена $p(x_i | y_j) = p(x_i)$, и тогда оно может быть преобразовано к виду:

$$S(X | Y) = -\sum_{i=1}^n p(x_i) \log_2 p(x_i) \sum_{j=1}^n p(y_j). \quad (16)$$

Учитывая, что $\sum_{j=1}^n p(y_j) = 1$, имеем выражение

$$S(X | Y) = -\sum_{i=1}^n p(x_i) \log_2 p(x_i) = S(X). \quad (17)$$

Иными словами, условная энтропия при независимых сигналах равна безусловной энтропии, что приводит к тому, что $S(X, Y) = S(X) + S(Y)$.

Для случая, когда информационные сигналы X и Y полностью зависимы, значения энтропий системы будут определяться следующим образом.

Пусть сигнал X принял значение x_i , а сигнал Y — значение y_k . В этом случае условная вероятность $p(y_k | x_i) = 1$, а все остальные принимают нулевое значение. Тогда в формулу (15) будут входить слагаемые вида либо $p(x_i) \cdot 1 \cdot \log_2 1$, либо $p(x_i) \cdot 0 \cdot \log_2 0$. В любом случае эти слагаемые равны нулю, поэтому $S(X | Y) = 0$.

Результаты и их обсуждение

В результате исследований получена формула (14), позволяющая оценивать величину информационной энтропии для оценки надежности функционирования каналов передачи информации.

Тенденцией настоящего времени, связанной с уменьшением финансовых затрат на АСУТП, является создание на единой программно-аппаратной базе автоматизированных систем различного технологического назначения. Однако в данном случае необходимо разбираться в противоречиях, которые

могут возникать в части формулирования требований к тактовой частоте процессора и тактовой частоте системной магистрали передачи данных (системная шина).

Зависимость (14) должна учитываться проектировщиками АСУТП промышленных предприятий при расчете количества каналов передачи информации в интегрированных системах.

Повышение надежности может быть достигнуто за счет создания дополнительных каналов передачи информации, которые не задействуются в нормальных условиях. Однако, если возникает сигнал тревоги, идущий от датчиков избыточного давления, данные каналы будут задействованы, что не позволит допустить отказ АСПВБ в условиях чрезвычайной ситуации, обусловленной взрывами на промышленном предприятии.

Выводы

Таким образом, представленные результаты по определению энтропий каналов передачи информации АСПВБ, позволяют количественно определить данные параметры, что, в свою очередь, дает возможность оценить устойчивость функционирования данной системы [1].

Результаты настоящей работы следует использовать при проектировании информационных каналов АСПВБ на единой микропроцессорной аппаратной базе в целях недопущения превышения критического значения энтропии системы.

Данный подход позволит повысить надежность функционирования АСПВБ, особенно в условиях возможных дестабилизирующих воздействий, при которых объем информации в системе может резко возрасть.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бутузов С. Ю. Энтропийный метод определения эффективности функционирования информационных каналов автоматизированных комплексных систем безопасности промышленных предприятий // Вестник Академии Государственной противопожарной службы МЧС России. — 2005. — № 4. — С. 6–9.
2. Бородин И. Ф., Кирилин Н. И. Основы автоматики и автоматизации производственных процессов. — М.: Колосс, 1977. — 328 с.
3. Вильсон А. Дж. Энтропийные методы моделирования сложных систем / Пер. с англ. — М.: Наука, 1978. — 248 с.
4. Куликовский Л. Ф., Мотов В. В. Теоретические основы информационных процессов. — М.: Высшая школа, 1987. — 248 с.
5. Топольский Н. Г. Автоматизация систем пожарной безопасности АЭС. — М.: ВПИТШ МВД России, 1994. — 200 с.
6. Топольский Н. Г. Основы автоматизированных систем пожаровзрывобезопасности объектов. — М.: МИПБ МВД России, 1997. — 164 с.
7. Ефимов М. В. Теория автоматического управления. — М.: МГУП, 2006. — 420 с.
8. Rosenbrok H. H. Computer-aided control system design. — London: Academic Press, 1974. — 230 p.
9. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. — М.: КноРус, 2010. — 664 с.
10. Юркевич Е. В., Азаренкова Н. В., Долкарт В. М. Методология регулирования энтропии в корпоративных информационных системах // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. — 2013. — Т. 133, № 2. — С. 39–48.
11. Воронов А. А. Основы теории автоматического управления: Автоматическое регулирование непрерывных линейных систем. — 2-е изд., перераб. — М.: Энергия, 1980. — 312 с.
12. Aroca R. A., Tomkins A., Doi Y., Yamamoto T., Voinigescu S. P. Circuit performance characterization of digital 45-nm CMOS technology for applications around 110 GHz // IEEE Symposium on VLSI Circuits. — 2008. — P. 162–163. DOI: 10.1109/VLSIC.2008.4585991.
13. Siljak D. Analyses and syntheses of feedback of control systems in parameters plane // IEEE Journal of Oceanic Engineering. — 2017. — Vol. 42. — P. 253–262.
14. Бутузов С. Ю. Моделирование автоматизированных информационно-управляющих систем интегральной безопасности высокорисковых объектов // Технологии техносферной безопасности. — 2007. — Вып. 2(12). — 9 с. URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2007-2/13-02-07.ttb.pdf> (дата обращения: 30.08.2017).
15. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике / Пер. с англ. — М.: Иностранная литература, 1963. — 832 с.

Материал поступил в редакцию 2 сентября 2017 г.

Для цитирования: Бутузов С. Ю., Пранов Б. М., Прус Ю. В., Семиков В. Л., Яковлев О. В. Модель оценки устойчивости автоматизированных систем пожаровзрывобезопасности // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2017. — Т. 26, № 11. — С. 14–20. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.11.14-20.

STABILITY EVALUATION MODEL OF COMPUTER-AIDED FIRE-EXPLOSION SAFETY SYSTEMS

BUTUZOV S. Yu., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of Department of Information Technology, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: butuzov_s_yu@mail.ru)

PRANOV B. M., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Department of Applied Information Technology, Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration (Vernadskogo Avenue, 82, build. 1, Moscow, 119571, Russian Federation; e-mail: boris.pranov@gmail.com)

PRUS Yu. V., Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Head of Department of Management and Economics of State Fire Service, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: prus.yurii@gmail.ru)

SEMIKOV V. L., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Department of Management and Economics of State Fire Service, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: vlsemikov@km.ru)

YAKOVLEV O. V., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Leading Researcher, Federal Research Centre "Information and Management" (Vavilova St., 44, build. 2, Moscow, 119333, Russian Federation; e-mail: olexvl@yandex.ru)

ABSTRACT

In the conditions of the modern economic growth, the urgency of the reliable functioning of the computer-aided system of industrial enterprises, which are critical for the Russian economy, is growing.

The computer-aided fire-explosion safety systems now play a key role in the structure of computer-aided system. At the same time, they are a superfast system that can detect overpressure of explosive process units within 0.1 microseconds. In this case, it is possible to carry out a real-time pressure relief to protect the technological equipment from destruction and the personnel of the enterprise from destruction.

Computer-aided fire-explosion safety systems are part of computer-aided systems of technological processes. Value of operating frequency of system bus of these systems is approximately 100 MHz. So, sustainability assessment function of information transfer channel is important scientific and technical problem.

There is mathematical model of assessment of the stability of information transfer channels in the article. This model is based on scientific, theoretical and mathematical models of E. Rouse and on entropy methods of A. Wilson.

Simulation was carried out of reliability of information transfer channels for various options for building these systems. It is shown that an integrated approach based on the use of a single hardware/software platform of a microprocessor platform can be used to optimize the single of creating an ASP.

Potential destabilizing effects have a negative impact on the sustainability of the work of ASIA. Under these conditions, the amount of information sharply increases in the system. And the model of estimating the entropy will allow the reliability of the automated system as a whole to depend.

Keywords: computer-aided process control systems; system data line; computer-aided fire-explosion safety systems; stability and reliability of technical systems; entropy of technical system; entropy evaluation model of sustainability.

REFERENCES

1. Butuzov S. Yu. An entropy method for determining the efficiency of the functioning of information channels of automated integrated security systems for industrial enterprises. *Vestnik Akademii Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MChS Rossii / Bulletin of State Fire Academy of Emercom of Russia*, 2005, no. 4, pp. 6–9 (in Russian).
2. Borodin I. F., Kirilin N. I. *Osnovy avtomatiki i avtomatizatsii proizvodstvennykh protsessov* [Fundamentals of automation and automation of production processes]. Moscow, Koloss Publ., 1977. 328 p. (in Russian).
3. Wilson A. G. *Entropy in urban and regional modelling*. London, Pion Limited, 1970 (Russ. ed.: Wilson A. G. Entropiynnye metody modelirovaniya slozhnykh sistem. Moscow, Nauka Publ., 1978. 248 p.).
4. Kulikovskiy L. F., Motov V. V. *Teoreticheskiye osnovy informatsionnykh protsessov* [Theoretical basis of information processes]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1987. 248 p. (in Russian).
5. Topolskiy N. G. *Avtomatizatsiya sistem pozharной bezopasnosti AES* [Automation of fire safety systems of nuclear power plants]. Moscow, High Engineering Fire Technical School of Ministry of the Internal Affairs of Russia Publ., 1994. 200 p. (in Russian).
6. Topolskiy N. G. *Osnovy avtomatizirovannykh sistem pozharovzryvbezopasnosti obyektov* [Basics of automated fire and explosion safety systems]. Moscow, Fire Safety Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia Publ., 1997. 164 p. (in Russian).
7. Efimov M. V. *Teoriya avtomaticheskogo upravleniya* [Theory of automatic control]. Moscow, MGUP Publ., 2006. 420 p. (in Russian).
8. Rosenbrok H. H. *Computer-aided control system design*. London, Academic Press, 1974. 230 p.
9. Venttsel E. S. *Teoriya veroyatnostey* [Probability theory]. Moscow, KnoRus Publ., 2010. 664 p. (in Russian).
10. Yurkevich E. V., Azarenkova N. V., Dolkart V. M. Methodology of entropy regulation in corporate information systems. *Voprosy elektromekhaniki. Trudy VNIEM / Electromechanical Matters. VNIEM Studies*, 2013, vol. 133, no. 2, pp. 39–48 (in Russian).
11. Voronov A. A. *Osnovy teorii avtomaticheskogo upravleniya: Avtomaticheskoye regulirovaniye nepre-ryvnykh lineynykh sistem* [Fundamentals of the theory of automatic control: Automatic control of continuous linear systems]. Moscow, Energiya Publ., 1980. 312 p. (in Russian).
12. Aroca R. A., Tomkins A., Doi Y., Yamamoto T., Voinigescu S. P. Circuit performance characterization of digital 45-nm CMOS technology for applications around 110 GHz. In: *IEEE Symposium on VLSI Circuits*, 2008, pp. 162–163. DOI: 10.1109/VLSIC.2008.4585991.
13. Siljak D. Analyses and syntheses of feedback of control systems in parameters plane. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 2017, vol. 42, pp. 253–262.
14. Butuzov S. Yu. Modeling of automated information-control systems of integral safety of high-risk objects. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti / Technology of Technosphere Safety*, 2007, issue 2(12). 9 p. (in Russian). Available at: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2007-2/13-02-07.ttb.pdf> (Accessed 30 August 2017).
15. Shannon C. *Raboty po teorii informatsii i kibernetike* [Works on information theory and cybernetics]. Moscow, Inostrannaya literatura Publ., 1963. 832 p. (in Russian).

For citation: Butuzov S. Yu., Pranov B. M., Prus Yu. V., Semikov V. L., Yakovlev O. V. Stability evaluation model of computer-aided fire-explosion safety systems. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 11, pp. 14–20 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.11.14-20.

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

УДК 656.13;614.84

ПРИЗНАКИ ЭЛЕКТРОДУГОВОГО ПРОЦЕССА ПРИ ЭКСПЕРТНОМ ИССЛЕДОВАНИИ ПОСЛЕ ПОЖАРА ПЛАВКОГО ЭЛЕМЕНТА АВТОМОБИЛЬНОГО ПРЕДОХРАНИТЕЛЯ

Показано, что пожары автотранспортных средств относятся к особо тяжелым происшествиям, поэтому проблема повышения пожарной безопасности автотранспортных средств очень актуальна. Приведены результаты исследования на растровом электронном микроскопе JSM-6390LV образцов плавких вставок автомобильных предохранителей электрической сети с напряжением 12 В, подвергшихся внешнему высокотемпературному воздействию и токовой перегрузке. Даны снимки поверхностей оплавления плавких вставок автомобильных предохранителей, подвергшихся воздействию тока перегрузки и высоких температур. Установлены характерные диагностические признаки, позволяющие идентифицировать причину повреждения при пожаре (высокотемпературное воздействие, токовая перегрузка) плавких вставок автомобильных предохранителей в электрической цепи с напряжением 12 В. Установлено, что выявленные признаки являются устойчивыми и не подвержены изменениям в естественных условиях хранения автомобиля, поврежденного в результате термовоздействия.

Ключевые слова: пожар; предохранитель; плавкая вставка; токовая перегрузка; медь; алюминий; цинк; растровая электронная микроскопия; диагностический признак; микрослед; пожарно-техническая экспертиза.

DOI: 10.18322/PVB.2017.26.11.21-30

Введение

Пожары причиняют значительный материальный ущерб, в частности уничтожение или повреждение имущества, а также приводят к гибели и ранению людей. Ущерб от пожаров в промышленно развитых странах превышает 1 % национального дохода и имеет тенденцию к постоянному росту [1–3]. Пожары автотранспортных средств относятся к особо тяжелым происшествиям. В частности, в промышленно развитых странах пожары автомобилей составляют от 5 до 15 % от общего числа пожаров, при этом гибель людей достигает 6–12 % от общего числа погибших при пожарах. В связи с этим проблема повышения пожарной безопасности автотранспортных средств очень актуальна [4–6].

Данное обстоятельство подтверждается мировой практикой отзыва автотранспортных средств, в частности 231 тысяча внедорожников General Motors из-за угрозы воспламенения вследствие короткого замыкания в дверях. Отзыву подлежат Chevrolet Trailblazer, GMC Envoy, Buick Rainier, SAAB 9-7x, Isuzu Ascender, Chevrolet Trailblazer EXT и GMC Envoy XL 2005–2007 модельных годов. Основная их часть эксплуатируется в США, 3546 внедорожников зарегистрировано в Канаде, 4876 — в Мексике, еще порядка 30 тысяч — в других странах. По данным Рос-

стандарта официальный представитель Jeep, Dodge и Chrysler в России компания “ЭфСиЭй Рус” отзывает 3019 автомобилей из-за вероятности короткого замыкания. Отзыву подлежат модели Jeep Compass, Jeep Patriot, Dodge Caliber и Chrysler Sebring, реализованные с апреля 2010 г. по декабрь 2015 г.

Кроме того, на сайте Росстандарта размещена информация о том, что ПАО “АвтоВАЗ” отзывает 19 668 автомобилей Lada Xray, проданных с февраля 2016 г. Причиной отзыва автомобилей Lada Xray является возможное перетирание жгута проводов двигателя о кромку аккумуляторной площадки. Как сообщает Росстандарт, Ульяновский автомобильный завод (входящий в группу “Соллерс”) отзывает в России почти 149,6 тыс. автомобилей УАЗ “Патриот”, “Пикап”, “Карго” из-за некорректной укладки жгутов проводов датчика кислорода, трубок сцепления и тормозных шлангов.

Уместно напомнить, что по данным агентства Reuters немецкий автомобильный концерн Daimler объявил, что отзовет 1 млн. новых моделей Mercedes-Benz по всему миру из-за риска их возгорания. В сообщении компании Daimler сказано, что всего был зафиксирован 51 случай возгорания, которое, по предварительной информации компании, происходит из-за бракованных предохранителей. В сообщении отме-

чается также, что производство и реализация новых автомобилей приостановлены. Отзыв затронет автомобили классов C и E, а также классов CLA, GLA и GLC, выпущенных в 2015–2017 гг. И этот перечень можно продолжить.

Как правило, современный легковой автомобиль имеет два, а то и три блока предохранителей, поэтому большинство цепей электрооборудования (электродвигатели, лампы, электронные устройства) защищены плавкими предохранителями.

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

По мнению автора [7], экспертиза пожаров основана на комплексе специальных знаний, необходимых для исследования места пожара, отдельных конструкций, материалов, изделий и их обгоревших остатков в целях получения информации, необходимой для установления очага пожара, его причины, путей распространения горения, природы обгоревших остатков, а также для решения некоторых других задач, возникающих в ходе анализа причин, вызвавших пожар.

Следует указать, что подавляющее число выводов судебных экспертов относительно технических причин возникновения пожаров на автотранспорте носит предположительный (вероятностный) характер, что не позволяет разрабатывать и внедрять конкретные инженерные решения [8]. Это можно объяснить многими причинами, в том числе отсутствием научно обоснованных методик.

Как наглядно показано автором [7], если в очаговой зоне обнаружены характерные признаки разрушения токоведущих проводов, то неизбежно возникает вопрос о механизме повреждения (электродуговой или тепловой) и, в частности, о первичности или вторичности короткого замыкания. По мнению многих авторов, данный вопрос далеко не прост. Попытки решить его с помощью инструментальных методов криминалисты предпринимали еще в 50-х годах прошлого столетия [7]. К сожалению, апробированная и научно обоснованная универсальная методика отсутствует до настоящего времени, несмотря на наличие ряда решенных частных задач [9–14].

Например, авторы работы [15] на основе многочисленных экспериментальных данных приходят к выводу, что круглые медные глобулы с четкими линиями разграничения, традиционно определяемые как “наплывы”, образовывались не только на проводах под напряжением, но и без напряжения. На некоторых проводах под напряжением возникала дуга, приводящая к образованию круглых медных глобул

с четкими линиями разграничения. В то же время у некоторых проводов без напряжения дуга отсутствовала, но эти характерные наплывы наблюдались [15]. Под микроскопом наплывы некоторых проводов под напряжением были пористые и содержали большое количество внутренних поровых пространств, в то время как в других наплывах поровые пространства отсутствовали. Авторы [15] отмечают, что эта же тенденция была характерна и для проводов без напряжения.

В работе [15] наглядно показано, что при изучении образцов под растровым электронным микроскопом установлено отсутствие тенденций в структуре зерна или химических составах. Внутренние зерновые структуры наплывов были исследованы на предмет структурных размеров, пористости и основных изменений. Ни один из изученных физических аспектов наплывов не показал каких-либо отличительных особенностей между проводами под напряжением и без него [15].

В то же время необходимо отметить, что в работе [14] приведены фактические данные, позволяющие по характеру излома медного проводника в зоне наплыва дифференцировать причину разрушения, обусловленную электродуговым или тепловым процессом. Настоящая работа также посвящена установлению признаков, позволяющих идентифицировать причину разрушения плавкой вставки автомобильного предохранителя.

Следует указать, что при осмотре места пожара одним из первоочередных действий является визуальное исследование аппаратов защиты электросети, в том числе автомобиля [6, 7, 12, 16]. Если блок предохранителей полностью не выгорел при пожаре, дознаватель обязан в первую очередь отыскать и осмотреть состояние предохранителей, что может позволить определить электрическую цепь, проходящую в очаге пожара. В работе [6] отмечается, что при возникновении в электрической цепи сверхтока плавкий предохранитель должен отключить аварийный ток прежде, чем возникнут какие-либо нарушения в цепи. При этом плавкий элемент предохранителя расплавляется, теряет целостность, и на образовавшемся промежутке иницируется электрическая дуга. По мере развития дуги на ней происходит постепенное увеличение падения напряжения, которое приводит к уменьшению тока в цепи вплоть до его прекращения. В этом случае необходимо зафиксировать в протоколе осмотра состояние плавких предохранителей (сработал, не сработал) [7, 12]. В работе [6] указывается, что процесс перегорания плавкого элемента бортовой сети автомобиля в основном определяется только процессом плавления. Например, при плавлении проводника концы его разрушенных участков оплавлены и име-

ют на концах капли застывшего металла. При относительно малых токах короткого замыкания форма капель близка к шарообразной. Такую форму концов можно объяснить стягиванием жидкого металла под действием сил поверхностного натяжения, если имеет место смачивание между жидким и твердым металлом. При больших величинах сверхтока металл плавкого элемента расплавляется и разбрызгивается в виде жидких капель, которые могут обладать большой кинетической энергией [6]. К сожалению, практическая деятельность по расследованию причин пожаров автомобилей свидетельствует о том, что сотрудники органов дознания крайне редко изымают предохранители, а если они есть, то исследуются только визуально и при “перегорании” не конкретизируется причина, а просто фиксируется *“аварийный режим работы в защищаемой данным предохранителем электросети”*. Однако практика показывает, что даже при карбонизированном корпусе блока предохранителей имеется возможность определить состояние плавких вставок и причину их разрушения. В частности, на рис. 1 показан карбонизированный корпус монтажного блока моторного отсека автомобиля Skoda Rapid и результат эксперимента по нагреву его медной плавкой вставки.

Плавкий элемент в ходе эксперимента приобрел светло-красный цвет, что соответствует примерно 800 °С (см. рис. 1, в). При температуре пламени горелки в среднем 1982 °С медная плавкая вставка сохраняла целостность около 10 мин, после чего произошло ее пластичное разрушение под действием силы тяжести.

Целью работы является разработка научно обоснованного метода исследования плавких вставок автомобильных предохранителей, разрушенных сверхтоком или внешним высокотемпературным воздействием в процессе эксплуатации, для установления причины их повреждения в ходе пожарно-технической экспертизы.

Исходя из указанной цели поставлены следующие задачи исследования:

- провести экспериментальные исследования по электродуговому и высокотемпературному разрушению плавких вставок автомобильных предохранителей;
- доказать, что на поверхности разрушения плавких вставок автомобильных предохранителей могут быть выявлены признаки, позволяющие идентифицировать электродуговой или высокотемпературный механизм образования повреждений;
- установить, что признаки, выявленные на поверхностях разрушения плавких вставок автомобильных предохранителей, являются устойчивыми и не подвержены изменениям в естественных условиях хранения (без умышленного уничтожения признаков);

- показать, что растровую микроскопию можно использовать при исследовании плавких вставок автомобильных предохранителей в качестве основного метода.

В настоящей статье рассматриваются фактические примеры исследования плавких вставок автомобильных предохранителей штекерного типа с номинальным током срабатывания 50, 30, 25, 20, 15 и 10 А, подвергшихся высокотемпературному воздействию и токовой перегрузке. Предохранители, подвергшиеся токовой перегрузке, изымались из реально эксплуатируемых автомобилей, в том числе подвергшихся возгоранию. Высокотемпературное воздействие моделировалось на газовой горелке по аналогии с испытательной установкой, описанной в работе [15]. Как и в работе [15], адиабатическая температура для горелки составляет в среднем 1982 °С (3600 F), а температура пламени в среднем 1300 °С.

Исследования осуществлялись в Региональной университетской лаборатории инженерного профиля “IPGETAC” Восточно-Казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева с использованием растрового электронного микроскопа JSM-6390LV с приставкой энергодисперсионного микроанализа. Поверхности разрушения плавких вставок автомобильных предохранителей подвергались анализу без предварительной пробоподготовки.

Фрагменты плавких вставок автомобильных предохранителей, представленные на рис. 2, а, 2, б и 2, в, имеют классические признаки, описанные в работах [6, 7, 16] для случаев короткого замыкания или токовой перегрузки проводников. При этом визуальных отличий, обусловленных материалом предохранителя, не выявлено. На рис. 2, г приведен фрагмент плавкой вставки, выполненной из меди и подвергшейся высокотемпературному воздействию.

В работе [13] приведены карты расчетного и фактического распределений термических поражений капота легкового автомобиля, при этом максимальная температура не превышает 950 °С. Обычно принято считать, что среднеобъемная температура во второй фазе пожара легкового автомобиля достигает 850–950 °С, поэтому в настоящей статье под высокотемпературным воздействием подразумевается именно этот диапазон.

Из сравнения данных, приведенных на рис. 2, следует вывод, что визуально установить отличия в разрушении плавких вставок предохранителей, подвергшихся токовой перегрузке или высокотемпературному воздействию, затруднительно или даже невозможно, что подтверждает результаты работы [15], доказывающие тот факт, что расплавленный металл стремится принять шаровидную форму.



Рис. 1. Общий вид карбонизированного корпуса монтажного блока моторного отсека автомобиля Skoda Rapid (а), состояние плавких вставок предохранителей при вскрытом корпусе (б), фрагмент эксперимента по нагреванию плавкой вставки медного предохранителя (в)

Fig. 1. General view of the carbonized housing of the engine compartment assembly of the Skoda Rapid car (a), the state of the fuse links of the fuses with the housing opened (b), experiment on heating the fuse link of a copper fuse (v)

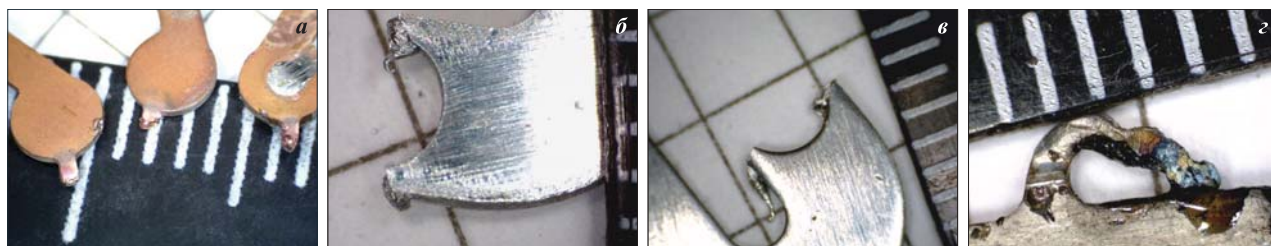


Рис. 2. Общий вид фрагментов плавких вставок автомобильных предохранителей из меди (а), цинка (б) и алюминия (в), подвергшихся токовой перегрузке (а–в), и вставок из меди, подвергшихся высокотемпературному воздействию (г)

Fig. 2. General view of fragments of fusible insertions of motor-car safety devices from a copper (a), zinc (b) and aluminium (v), exposed to the current overload (a–v), and insertions from a copper, exposed to the high temperature influence (g)

Морфологический анализ методом растровой электронной микроскопии

В ходе морфологического исследования фрагментов плавких вставок автомобильных предохранителей при помощи растрового микроскопа JSM-6390LV с небольшим ($\leq 50\times$) увеличением установлены признаки, характерные только для электродугового или высокотемпературного процессов разрушения (рис. 3).

В частности, при высокотемпературном воздействии отмечаются такие признаки, как произволь-

ная форма, пористость, складки застывшего металла, образующиеся при разрушении плавкой вставки под действием силы тяжести (см. рис. 3,г). В случае же электродугового процесса отмечается округлая форма или косой срез, гладкая, без газовых пор, поверхность (см. рис. 3,а–3,в).

По терминологии микротрасологии перечисленные выше признаки являются микроследами, наглядно доказывающими воздействие высоких температур или электродугового процесса на исследуемую плавкую вставку предохранителя.

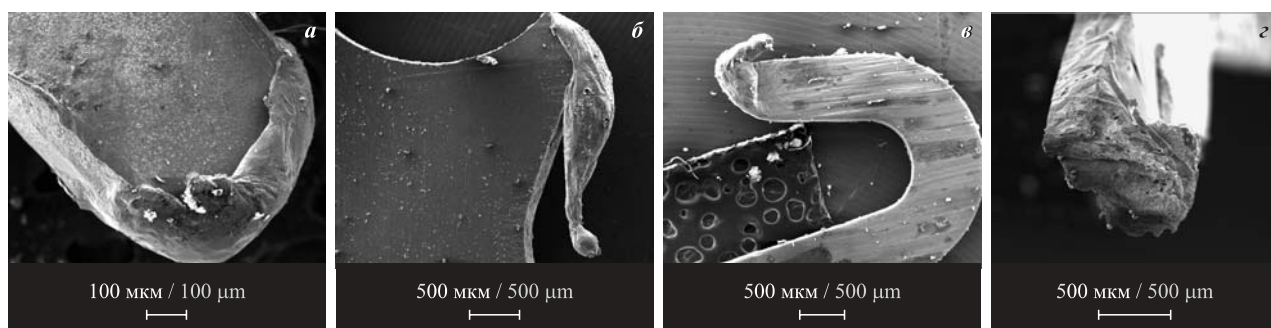


Рис. 3. Вид фрагментов плавких вставок предохранителя, подвергшихся токовой перегрузке (а–в) и высокотемпературному воздействию (г): а — из меди, увеличение $150\times$; б — из цинка, увеличение $37\times$; в — из алюминия, увеличение $35\times$; г — из меди, увеличение $50\times$

Fig. 3. Type of fragments of the fusible insertions of safety device, exposed to the current overload (a–v) and high temperature influence (g): a — from a copper, increase of $150\times$; b — from zinc, increase of $37\times$; v — from an aluminium, increase of $35\times$; g — from a copper, increase of $50\times$

Необходимо напомнить, что в работе [12] приведен снимок алюминиевого проводника со следами большого переходного сопротивления в виде волнообразных наплывов и микрооплавлений. Следует

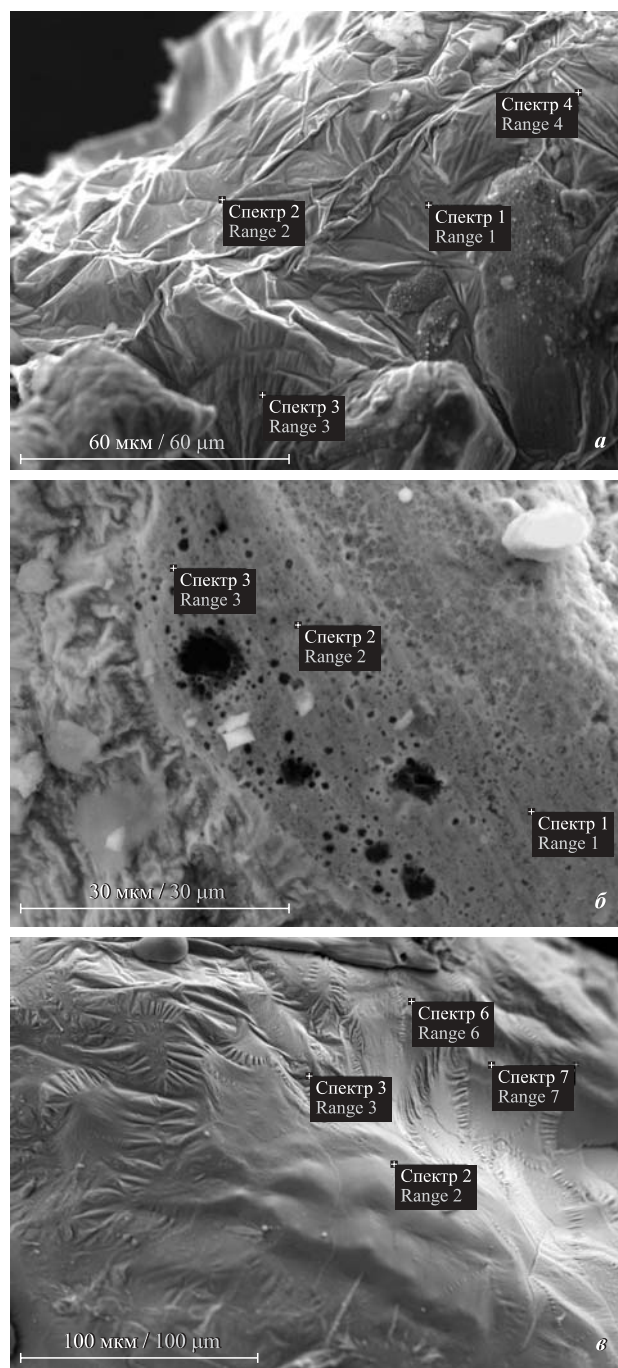


Рис. 4. Вид фрагментов плавких вставок предохранителя из цинка (*а, б*) и алюминия (*в*), подвергшихся токовой перегрузке: *а* — волнообразные наплывы, увеличение 950 $\times$; *б* — микрооплавления, увеличение 1900 $\times$; *в* — волнообразные наплывы, увеличение 550 $\times$

Fig. 4. Type of fragments of fusible insertions of safety device from the zinc (*a, b*) and aluminium (*v*), exposed to the current overload: *a* — undulating influxes, increase of 950 $\times$; *b* — microscopic burn-offs, increase of 1900 $\times$; *v* — undulating influxes, increase of 550 $\times$

указать, что при увеличении свыше 200 $\times$ волнообразные наплывы и микрооплавления наблюдаются на поверхности разрушения вследствие воздействия электродугового процесса на плавкие вставки предохранителей, выполненные не только из алюминия, но и из цинка (рис. 4).

В табл. 1–3 приведены результаты микроанализа для участков, изображенных на рис. 4.

В случае токовой перегрузки на поверхности предохранителей, выполненных из цинка или алюминия, наблюдаются шарообразные капли металла (рис. 5). Результаты микроанализа данного участка приведены в табл. 4.

Резюмируя изложенное, можно сделать вывод, что по терминологии микротрасологии такие признаки на поверхности разрушения плавких вставок предохранителей, выполненных из алюминия и цинка, как волнообразные наплывы, микрооплавления и шарообразные капли металла, являются микроследами электродугового процесса.

На рис. 6 приведен вид поверхности разрушения плавкой вставки медного предохранителя, подверг-

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

Table 1. The results of the microanalysis of the section shown in fig. 4, *a*

Номер точки измерения Measurement point number	Химический элемент, % масс. Chemical element, % by mass						
	O	Mg	Al	Si	Ti	Cu	Zn
Спектр 1 Range 1	1,81	0,18	3,14	0,23	0,11	0,23	94,31
Спектр 2 Range 2	1,72	0,79	11,31	0,06	0,33	0,00	85,80
Спектр 3 Range 3	2,01	0,00	1,89	0,37	0,13	0,00	95,60
Спектр 4 Range 4	2,19	0,65	9,73	0,25	0,23	0,00	86,94

Таблица 2. Результаты микроанализа участка, приведенного на рис. 4, *б*

Table 2. The results of the microanalysis of the section shown in fig. 4, *b*

Номер точки измерения Measurement point number	Химический элемент, % масс. Chemical element, % by mass					
	O	Al	P	Ti	Cu	Zn
Спектр 1 Range 1	7,56	0,79	2,04	6,71	0,50	82,41
Спектр 2 Range 2	7,40	0,68	1,54	6,44	0,58	83,37
Спектр 3 Range 3	9,68	0,69	1,06	6,79	0,46	81,32

Таблица 3. Результаты микроанализа участка, приведенного на рис. 4,в

Table 3. The results of the microanalysis of the section shown in fig. 4,в

Номер точки измерения Measurement point number	Химический элемент, % масс. Chemical element, % by mass			
	O	Mg	Al	Cu
Спектр 2 Range 2	23,06	3,84	71,38	1,72
Спектр 3 Range 3	25,82	3,40	60,26	10,53
Спектр 6 Range 6	20,73	4,03	72,84	2,40
Спектр 7 Range 7	28,28	3,73	56,80	11,18

Таблица 4. Результаты микроанализа участка, приведенного на рис. 5

Table 4. The results of the microanalysis of the section shown in fig. 5

Номер точки измерения Measurement point number	Химический элемент, % масс. Chemical element, % by mass			
	Al	Fe	Zn	O
Спектр 1 Range 1	4,29	0,51	73,30	21,90
Спектр 2 Range 2	4,23	0,27	73,65	21,86
Спектр 3 Range 3	3,88	0,38	74,05	21,69
Спектр 4 Range 4	3,97	0,44	73,87	21,73

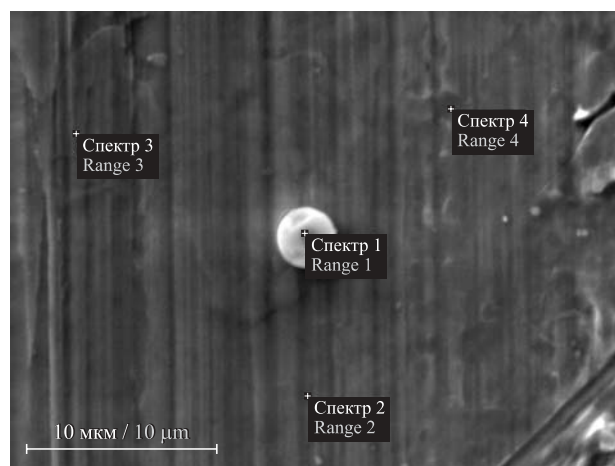


Рис. 5. Шарообразные капли металла на поверхности предохранителя из цинка, подвергнутого токовой перегрузке

Fig. 5. Ball-shaped metal droplets on the surface of a zinc fuse, overloaded with current

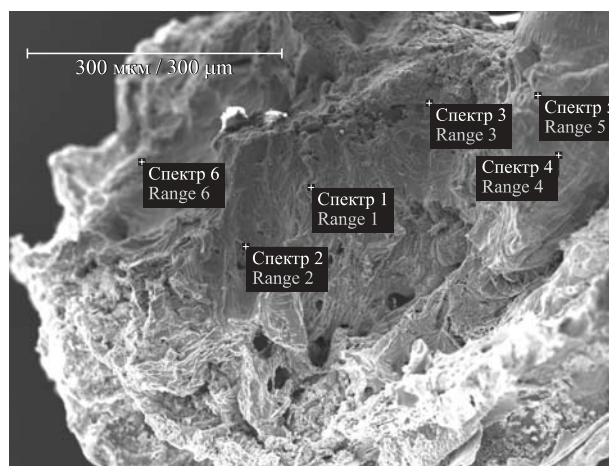


Рис. 6. Вид поверхности разрушения медной плавкой вставки при увеличении 200× (см. рис. 3,г)

Fig. 6. Surface of destruction by copper fuse insert, magnification 200× (fig. 3,г)

шегося эксперименту (см. рис. 1,в и 3,г). В табл. 6 представлены результаты микроанализа.

Как видно из рис. 6, поверхность разрушения обладает сложным рельефом, насыщенным порами. Несмотря на то что основной материал плавкой вставки — медь, участки чистой меди на поверхности разрушения практически не встречаются, так как покрыты соединениями более легкоплавких элементов, в частности олова, конструктивно присутствующего на данном участке (см. табл. 6).

Следовательно, такие признаки на поверхности разрушения медной плавкой вставки, как ярко выраженный рельеф, пористость и наличие более легкоплавких элементов, не относящихся к основному составу предохранителя, являются характерными для высокотемпературного механизма разрушения.

Исследованные образцы плавких вставок автомобильных предохранителей хранились 3 мес. (что

превышает средний срок расследования дел о пожарах) в разных условиях (в помещении на открытом воздухе, в помещении в герметичной упаковке, в уличных условиях без доступа воды в жидком агрегатном состоянии (не погружались в воду)). При сравнении образцов установлено, что выявленные признаки являются устойчивыми и не подвержены изменениям в естественных условиях хранения (без умышленного уничтожения признаков).

Таким образом, в результате исследования методом растровой микроскопии фрагментов плавких вставок автомобильных предохранителей, подвергшихся высокотемпературному воздействию или токовой перегрузке, установлены характерные признаки, позволяющие идентифицировать процесс, приведший к их разрушению.

В заключение необходимо отметить, что, по мнению И. Д. Чешко [7], использование результатов ин-

Таблица 5. Результаты микроанализа участка, приведенного на рис. 6

Table 5. The results of the microanalysis of the section shown in fig. 6

Номер точки измерения Measurement point number	Химический элемент, % масс. Chemical element, % by mass				
	O	Mg	Al	Cu	Sn
Спектр 1 Range 1	15,22	3,23	0,49	6,81	74,25
Спектр 2 Range 2	16,66	5,05	8,51	30,86	38,92
Спектр 3 Range 3	20,26	3,16	18,72	26,25	31,60
Спектр 4 Range 4	9,90	5,46	1,66	59,37	23,61
Спектр 5 Range 5	7,41	0,00	1,24	57,05	34,30
Спектр 6 Range 6	8,48	3,90	0,31	45,77	41,54

струментальных исследований в качестве “промежуточного продукта” в экспертном исследовании по пожару не снижает их ценности как важнейшего источника объективной информации, без которой выводы о причине пожара будут малоубедительными.

Заключение

Доказано, что на поверхности разрушения медных, алюминиевых и цинковых плавких вставок автомобильных предохранителей могут фиксироваться признаки, позволяющие идентифицировать элект-

родуговой или высокотемпературный механизм образования повреждений.

В частности, такие признаки, как округлая форма или косой срез, гладкая, без газовых пор поверхность, волнообразные наплывы и микроплавления, являются микроследами электродугового процесса.

С другой стороны, такие признаки, как произвольная форма, пористость, ярко выраженный рельеф и складки застывшего металла, образующиеся при разрушении плавкой вставки под действием силы тяжести, наличие на поверхности разрушения более легкоплавких элементов, не относящихся к основному составу предохранителя, являются признаками высокотемпературного воздействия.

Показано, что растровую микроскопию можно использовать при исследовании плавких вставок автомобильных предохранителей не только в качестве вспомогательного метода, но в ряде случаев и в качестве основного.

Настоящим исследованием установлено, что признаки, выявленные на поверхностях плавких вставок автомобильных предохранителей, являются устойчивыми и не подвержены изменениям в естественных условиях хранения (без умышленного уничтожения признаков).

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брушлинский Н. Н., Соколов С. В., Вагнер П. Человечество и пожары. — М. : ООО “ИПЦ Маска”, 2007. — 142 с.
2. Quintiere J. G. Fundamentals of fire phenomena. — England, Chichester: John Wiley and Sons Ltd, 2006. DOI: 10.1002/0470091150.fmatter.
3. Beyler C., Carpenter D., Dinunno P. Introduction to fire modeling. Fire Protection Handbook. — 20th ed. — Quincy : National Fire Protection Association, 2008.
4. Severy D., Blaisdell D., Kerkhoff J. Automotive Collision Fires // SAE Technical Paper 741180, 1974. DOI: 10.4271/741180.
5. Katsuhiro Okamoto, Norimichi Watanabe, Yasuaki Hagimoto, Tadaomi Chigira, Ryoji Masano, Hitoshi Miura, Satoshi Ochiai, Hideki Satoh, Yohsuke Tamura, Kimio Hayano, Yasumasa Maeda, Jinji Suzuki. Burning behavior of sedan passenger cars // Fire Safety Journal. — 2009. — Vol. 44, No. 3. — P. 301–310. DOI: 10.1016/j.firesaf.2008.07.001.
6. Богатищев А. И. Комплексные исследования пожароопасных режимов в сетях электрооборудования автотранспортных средств : дис. ... канд. техн. наук. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2002. — 269 с.
7. Чешко И. Д. Экспертиза пожаров (объекты, методы, методики исследования). — 2-е изд., стереотип. — СПб. : СПб ИПБ МВД РФ, 1997. — 562 с.
8. Судебная экспертиза: типичные ошибки / Под. ред. Е. Р. Россинской. — М. : Проспект, 2014. — 544 с.
9. Delplace M., Vos E. Electric short circuits help the investigator determine where the fire started // Fire Technology. — 1983. — Vol. 19, No. 3. — P. 185–191. DOI: 10.1007/bf02378698.

10. Babrauskas V. Arc beads from fires: Can 'cause' beads be distinguished from 'victim' beads by physical or chemical testing? // Journal of Fire Protection Engineering. — 2004. — Vol. 14, No. 2. — P. 125–147. DOI: 10.1177/1042391504036450.
11. Wright S. A., Loud J. D., Blanchard R. A. Globules and beads: what do they indicate about small-diameter copper conductors that have been through a fire? // Fire Technology. — 2015. — Vol. 51, No. 5. — P. 1051–1070. DOI: 10.1007/s10694-014-0455-9.
12. Экспертное исследование после пожара контактных узлов электрооборудования в целях выявления признаков больших переходных сопротивлений : методические рекомендации / К. Б. Лебедев, А. Ю. Мокряк, И. Д. Чешко. — М. : ВНИИПО, 2008. — 29 с.
13. Елисеев Ю. Н. Экспертная дифференциация причин возникновения пожара легкового автомобиля в результате поджога и технической неисправности, связанной с розливом горючих жидкостей : дис. ... канд. техн. наук. — СПб. : СПб. филиал ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2007. — 172 с.
14. Недобитков А. И. Фрактография изломов медных проводников автомобильной электрической цепи // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2016. — Т. 25, № 2. — С. 21–27. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.02.21-27 (in Russian).
15. Richard J. Roby, Jamie McAllister. Forensic investigation techniques for inspecting electrical conductors involved in fire // Final Technical Report for Award No. 239052. — Columbia : Combustion Science & Engineering, Inc., 2012.
16. Галишиев М. А., Кондратьев С. А., Чешко И. Д., Шаранов С. В., Воронова В. Б. Руководство к практическим и лабораторным занятиям по расследованию и экспертизе пожаров : учебное пособие. — СПб. : Санкт-Петербургский институт ГПС МЧС России, 2003. — 110 с.

Материал поступил в редакцию 3 сентября 2017 г.

Для цитирования: Недобитков А. И. Признаки электродугового процесса при экспертном исследовании после пожара плавкого элемента автомобильного предохранителя // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2017. — Т. 26, № 11. — С. 21–30. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.11.21-30.

English

ARC PROCESS FEATURES AT POST FIRE EXPERT EXAMINATION OF CAR FUSE ELEMENTS

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

ABSTRACT

The data given in the article indicate that vehicle fires belong to super severe accidents therefore the problem of improving the fire safety of vehicles is very relevant.

In particular, Reuters reports that the German car concern Daimler has recalled 1 million new Mercedes-Benz models around the world in 2017 due to the risk of ignition caused by defective fuses. Daimler note in their report that in total 51 cases of fire have been recorded consequently car production and sale are suspended.

These are the reasons why development of fire prevention actions for cars is of high importance. Fire investigation is one of the preventive actions.

The article reports that the overwhelming number of firefighting experts' findings concerning the technical routes of car fires is of a presumable (probabilistic) nature. This does not allow developing and implementing specific engineering solutions. This can be explained by many reasons including the lack of scientifically based methods.

In detail, the problem of identifying the electric arc or thermal processes that cause destruction of a car fuse conductor or fuse strip has not been unequivocally solved despite the fact that attempts to

solve this problem using instrumental control have been undertaken by criminologists since the fifties of the last century and there is a number of particular solutions.

The article provides findings of the car fuse strip sample examination at the JSM-6390LV scanning electron microscope for 12 V electric circuit exposed to external high temperature and current overload. It also gives images of the strip fused surface for car fuses made of copper, zinc, aluminum, and those exposed to the overload current and high temperature. The typical diagnostic features in the form of wave-like inflows and micro-fusing have been found. They are used to identify the cause of fire damage (high temperature, current overload) of fuse strips in the 12 V electrical circuit. It has been found that the revealed features are stable and they are not subject to any changes in the natural storage conditions of a car damaged by thermal exposure.

The data given in the article can be used by experts when examining fuse strips taken from the locations of vehicle fires, determining the nature of their damage and, ultimately, finding the cause of the car fire.

Keywords: fire; fuse; fuse strip; current overload; copper; aluminum; zinc; scanning electron microscopy; diagnostic feature; ultratrace; fire investigation.

REFERENCES

1. Brushlinskiy N. N., Sokolov S. V., Wagner P. *Chelovechestvo i pozhary* [Humanity and fires]. Moscow, IPTs Maska Publ., 2007. 142 p. (in Russian).
2. Quintiere J. G. *Fundamentals of fire phenomena*. England, Chichester, John Wiley and Sons Ltd, 2006. DOI: 10.1002/0470091150.fmatter.
3. Beyler C., Carpenter D., Dinunno P. *Introduction to fire modeling. Fire Protection Handbook*. 20th ed. Quincy, National Fire Protection Association, 2008.
4. Severy D., Blaisdell D., Kerkhoff J. Automotive Collision Fires. *SAE Technical Paper 741180*, 1974. DOI: 10.4271/741180.
5. Katsuhiro Okamoto, Norimichi Watanabe, Yasuaki Hagimoto, Tadaomi Chigira, Ryoji Masano, Hitoshi Miura, Satoshi Ochiai, Hideki Satoh, Yohsuke Tamura, Kimio Hayano, Yasumasa Maeda, Jinji Suzuki. Burning behavior of sedan passenger cars. *Fire Safety Journal*, 2009, vol. 44, no. 3, pp. 301–310. DOI: 10.1016/j.firesaf.2008.07.001.
6. Bogatishchev A. I. *Comprehensive research of fire hazardous modes in mains of electrical equipment of vehicles*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2002. 269 p. (in Russian).
7. Cheshko I. D. *Ekspertiza pozharov (obyekty, metody, metodiki issledovaniya)* [Examination of fire (objects, methods, methods of research)]. Saint Petersburg, Saint Petersburg Institute of Fire Safety of Ministry of the Interior of Russian Federation Publ., 1997. 562 p. (in Russian).
8. Rossinskaya E. R. (ed). *Sudebnaya ekspertiza: tipichnyye oshibki* [Judicial examination: typical mistakes]. Moscow, Prospekt Publ., 2014. 544 p. (in Russian).
9. Delplace M., Vos E. Electric short circuits help the investigator determine where the fire started. *Fire Technology*, 1983, vol. 19, no. 3, pp. 185–191. DOI: 10.1007/bf02378698.
10. Babrauskas V. Arc beads from fires: Can ‘cause’ beads be distinguished from ‘victim’ beads by physical or chemical testing? *Journal of Fire Protection Engineering*, 2004, vol. 14, no. 2, pp. 125–147. DOI: 10.1177/1042391504036450.
11. Wright S. A., Loud J. D., Blanchard R. A. Globules and beads: what do they indicate about small-diameter copper conductors that have been through a fire? *Fire Technology*, 2015, vol. 51, no. 5, pp. 1051–1070. DOI: 10.1007/s10694-014-0455-9.
12. Lebedev K. B., Mokryak A. Yu., Cheshko I. D. *Ekspertnoye issledovaniye posle pozhara kontaknykh uzlov elektrooborudovaniya v tselyakh vyyavleniya priznakov bolshikh perekhodnykh soprotivleniy. Metodicheskiye rekomendatsii* [Expert research after the fire of the contact points of electrical equipment in order to identify signs of large transient resistance: Methodological recommendations]. Moscow, VNIPO Publ., 2008. 29 p. (in Russian).
13. Eliseev U. N. *Expert differentiation of the causes of the fire of a car as a result of arson and a technical malfunction associated with bottling of flammable liquids*. Cand. tech. sci. diss. Saint Petersburg, 2007. 172 p. (in Russian).

14. Nedobitkov A. I. Fractography of car electric circuit copper conductor fractures. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 2, pp. 21–27. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.02.21-27 (in Russian).
15. Richard J. Roby, Jamie McAllister. Forensic investigation techniques for inspecting electrical conductors involved in fire. *Final Technical Report for Award No. 239052*. Columbia, Combustion Science & Engineering, Inc., 2012.
16. Galishev M. A., Kondratyev S. A., Cheshko I. D., Sharapov S. V., Voronova V. B. *Rukovodstvo k prakticheskim i laboratornym zanyatiyam po rassledovaniyu i ekspertize pozharov* [Guide to practical and laboratory studies to investigate and expertise fires]. Saint Petersburg, Saint Petersburg Institute of State Fire Service of Emercom of Russia Publ., 2003. 110 p.

For citation: Nedobitkov A. I. Arc process features at post fire expert examination of car fuse elements. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 11, pp. 21–30 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.11.21-30.



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

В. С. МЕЛЬНИКОВ, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, Международный противопожарный центр (Россия, 115446, г. Москва, Коломенский пр., 14; e-mail: melnikov@firecenter.ru)

М. В. МЕЛЬНИКОВ, специалист, Международный противопожарный центр (Россия, 115446, г. Москва, Коломенский пр., 14)

В. П. МОЛЧАНОВ, д-р техн. наук, профессор кафедры общей и специальной химии, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4)

Д. Л. БАСТРИКОВ, канд. техн. наук, директор Департамента промышленной и пожарной безопасности опасных производственных объектов, Международный противопожарный центр (Россия, 115446, г. Москва, Коломенский пр., 14; e-mail: dlbastrikov@mail.ru)

УДК 614.841.41

УСЛОВИЯ ПОЖАРА ПРОЛИВА НЕФТЕПРОДУКТОВ НА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЮ РЕЗЕРВУАРОВ

Изучены условия, при которых пожар пролива развивается по вертикальным конструкциям цилиндрических резервуаров нефти и нефтепродуктов, для чего были проведены огневые испытания и эксперименты на холодном гидравлическом стенде. Выполнено физическое моделирование аварии и пожара пролива с использованием пропитки теплоизоляционного слоя бензином, дизельным топливом и моторным маслом. Изучено распространение пламени в вентилируемом зазоре и тление при отсутствии зазора между обшивкой и теплоизоляционным слоем. Показано, что для всех конструктивных решений зафиксирован определенный тепловой эффект, но наибольшую опасность представляет скрытое распространение горения. Получены данные для оценки остаточного содержания нефтепродуктов в теплоизоляционном слое в зависимости от времени после аварии пролива. Предложено эти данные использовать для прогноза длительности и интенсивности пожара пролива. Выявлены признаки процессов дистилляции и ректификации нефтепродуктов, которые могут сопровождать вертикальный пожар пролива и способствовать распространению горения легких газообразных продуктов вверху теплоизоляционного слоя, а также горению тяжелых фракций в его нижней части. Сделаны выводы о том, что при своевременном прекращении аварии пролива процесс десорбции существенно снижает пожарную нагрузку теплоизоляционного слоя, однако длительное время сохраняется опасность возгорания, особенно в случае пропитки минеральной ваты вязкими нефтепродуктами. Отмечено, что повышение температуры во время пожара пролива приводит к уменьшению вязкости нефтепродуктов, которыми пропитана минеральная вата, в результате чего усиливается десорбция, ускоряется истечение горючей жидкости и становится более вероятным переход вертикального пожара пролива в горизонтальный.

Ключевые слова: пожар пролива; резервуар; теплоизоляция; минеральная вата; пожарная опасность; тление; распространение горения; пропитка; нефтепродукты; огневые испытания; дистилляция; ректификация; гидравлические испытания; сорбция; десорбция; истечение; сорбционная емкость; содержание горючей жидкости; пожарная нагрузка.

DOI: 10.18322/PVB.2017.26.11.31-40

Введение

Резервуары, трубопроводы и другую аппаратуру часто выполняют с теплоизоляцией из минеральной ваты. Этот материал производится из неорганических волокон с пропиткой связующими веществами, обеспечивающими требуемые эксплуатационные свойства, в том числе гидрофобность в отношении воды. Однако такая технология совершенно не защищает от смачивания многими другими жидкостями: минеральная вата хорошо сорбирует нефть, нефтепродукты (моторные топлива, масла, раство-

рители, антифризы и т. д.). Поэтому пожарная опасность пролива горючих жидкостей (ГЖ) на строительные конструкции с теплоизоляционным слоем из минеральной ваты связана с возможностью скрытого и открытого распространения горения [1].

Целью настоящего исследования было развитие указанной темы в плане раскрытия начальных условий, конструктивных факторов и значимости свойств нефтепродуктов в случае вертикального пожара пролива на теплоизоляции цилиндрических резервуаров нефти и нефтепродуктов. Для достижения по-

ставленной цели решались задачи моделирования как аварии, так и пожара пролива.

Отметим, что резервуары и, соответственно, теплоизоляционный слой могут иметь значительную высоту (от 6 до 21 м по ГОСТ Р 52910–2008).

Сценарии аварий и пожаров пролива для рассматриваемых объектов начинаются с перелива, нарушения герметичности резервуара, задвижек, фланцевых соединений и пропитки теплоизоляции [2]. Дальнейшие события зависят от устройства несущей подконструкции, размещения обшивки относительно теплоизоляционного материала, свойств теплоизоляционного материала, свойств горючей жидкости, длительности перерыва между проливом и моментом появления источника зажигания.

Среди конструктивных решений ограничимся рассмотрением двух вариантов крепления металлической обшивки. Первый вариант применяется в вентилируемых фасадных системах и предусматривает зазор между обшивкой и теплоизоляционным материалом, второй предполагает такое размещение обрешетки, при котором обшивка крепится вплотную по теплоизоляционному материалу, а слойка, состоящая из стенки резервуара, теплоизоляции и обшивки, имеет свойства сэндвич-панели.

При моделировании процессов, связанных с пожаром пролива, удобно использовать содержание ГЖ в единицах массы на единицу объема теплоизоляционного материала E (кг/м³):

$$E_{\min} < E < E_{\max}, \quad (1)$$

где $E_{\min}$ — минимальное содержание горючей жидкости (остаточное влагосодержание);

$E_{\max}$ — сорбционная емкость теплоизоляционного материала.

Показатель E характеризует одновременно и пропитку (т. е. реализацию сорбционной способности), и пожарную нагрузку теплоизоляционного материала горючей жидкостью.

В рамках настоящей работы будем рассматривать сочетания распространенной минеральной ваты и ее пропитку (пожарную нагрузку) бензином, дизельным топливом (ДТ) или моторным маслом.

Для этих модельных систем значения $E_{\max}$ легко установить методом затопления теплоизоляционного материала. В нормальных условиях (при температуре 0...25 °С) они находятся в пределах, приведенных в табл. 1.

При промышленной аварии полное затопление минеральной ваты наступает, когда расход пролива ГЖ $L_{\max}$ на площадь поперечного сечения теплоизоляционного слоя F достигает значений, указанных в табл. 1 ($L_{\max}/F$). Увеличение плотности орошения выше этих значений приводит к переливу и стеканию жидкости по поверхности. Однако этот случай выходит за рамки настоящей работы: авторы ограничились изучением процесса пропитки после прекращения пролива с плотностью орошения, близкой к максимальной. Такой пролив неизбежно сопровождается десорбцией и истечением жидкости, поскольку конструктивные решения не предполагают герметизацию теплоизоляционного слоя.

Аналогичные темы исследований относятся к области гидрогеологии [3], фильтрации жидкости через толстые слои осадка и т. д., но наиболее близкие направления можно найти в публикациях, посвященных процессам в массообменных аппаратах с нерегулярной насадкой [4], в исследованиях процесса сушки [5] и капиллярных явлений взаимодействия жидкостей с текстильными (ткаными и неткаными) материалами [6].

Как известно, в предельном режиме отсутствия взаимодействия жидкости и теплоизоляционного слоя скорость истечения жидкости V (м/с) оценивается аналогично скорости свободного падения тела с высоты h по формуле Торричелли:

$$V = \varphi \sqrt{2gh}, \quad (2)$$

где φ — коэффициент, учитывающий влияние формы и размера истекающего потока;

g — ускорение свободного падения, м/с².

Если принять, что взаимодействие истекающей жидкости и теплоизоляционного слоя аналогично взаимодействию непрерывного потока и капилля-

Таблица 1. Свойства нефтепродуктов, сорбционная емкость и плотность орошения минеральной ваты*

Table 1. Properties of oil products, sorptive capacity and density of mineral wool spraying*

Нефтепродукт Oil product	Плотность ρ , кг/м ³ Density ρ , kg/m ³	Кинематическая вязкость ν , мм ² /с (при температуре, °С) Kinematic viscosity ν , mm ² /s (at temperature, °С)	$E_{\max}$, кг/м ³ / $E_{\max}$, kg/m ³		$L_{\max}/F$, кг/(с·м ²) $L_{\max}/F$, kg/(s·m ²)
			[1]	Дополнено в настоящем исследовании Added	
Бензин / Gasoline	738	0,65 (20)	536...548	555...765	2,5...3,7
Дизельное топливо / Diesel oil	821	2,44 (20)	723...771	736...827	1,9...2,4
Моторное масло / Motor oil	870	15 (100)	—	720...843	0,04...0,06

* Кажущаяся плотность минеральной ваты $\rho_{mv} = 87,4$ кг/м³ / Apparent mineral wool viscosity $\rho_{mv} = 87.4$ kg/m³.

ра, то скорость истечения можно оценить по формуле Пуазейля:

$$V = kh, \quad (3)$$

где k — коэффициент, учитывающий вязкость жидкости, геометрию и материал капилляра.

Реальные условия истечения далеки от указанных. Десорбцию только в начальный короткий период времени и только в предельно пропитанной минеральной вате можно представить как непрерывное и неразрывное истечение. Сразу после снижения содержания жидкости E ниже сорбционной емкости $E_{\max}$ внутри теплоизоляционного слоя происходит разрыв стекающей жидкости на отдельные пленки, струи и капли. Некоторые из них удерживаются волокнами материала, а другие участвуют в коагуляции, из-за которой вес образующихся больших агрегатов превышает капиллярные силы. Формируется капиллярно-капельный и пленочно-капельный режимы истечения. Теплоизоляционный слой заполняется истекающим потоком не полностью, поэтому скорость истечения только условно можно считать относительно свободной площади поперечного сечения. Локальные скорости могут многократно отличаться от средних значений.

Аналогичный переход затопленной нерегулярной насадки в рабочий режим является стохастическим процессом, зависящим от свойств насадки, свойств жидкости и температуры [4]. Изучение процесса сушки показывает также, что остаточное влагосодержание $E_{\min}$ зависит от сорбционной емкости $E_{\max}$, температуры и высоты сорбента (в нашем случае — от высоты слоя теплоизоляционного материала) [5].

С учетом известных опубликованных сведений [7–9] практическую ценность представляют новые данные, касающиеся конкретных конструкций, материалов и веществ. Для этого требуется постановка эксперимента с условиями истечения, приближенными к условиям пожара пролива.

Гидравлические испытания

Исследования проводили на установке колонного типа, где имелась возможность смонтировать из образцов вертикальную модель высотой от 1 до 6 м (рис. 1, а). К началу эксперимента (рис. 1, б) с помощью лабораторных весов определяли массы сухих образцов минеральной ваты g_i и начальную массу нефтепродукта $F_{\max}$.

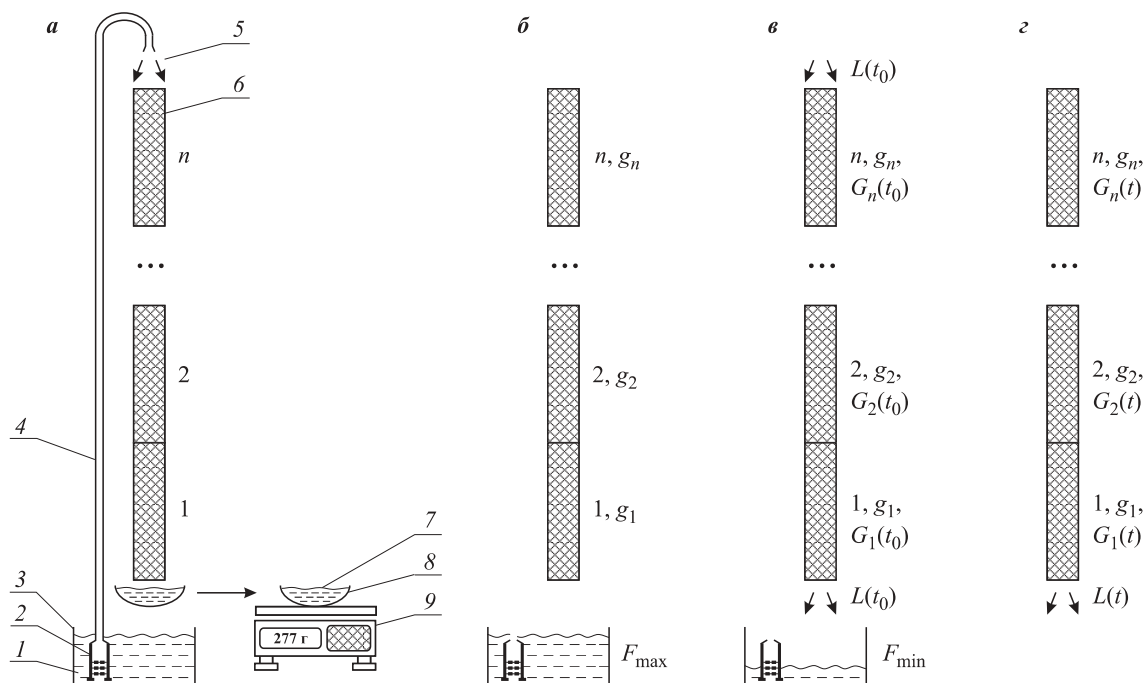


Рис. 1. Схема установки (а) и расчетные схемы до испытания (б), в установившемся режиме орошения (пролива) (в), в режиме десорбции (г): 1 — исследуемая жидкость (нефтепродукт); 2 — насос; 3 — резервуар; 4 — линия подачи; 5 — ороситель; 6 — образцы минеральной ваты; 7 — исследуемая жидкость в сборнике; 8 — сборник; 9 — лабораторные весы; $F_{\max}$ — начальная масса жидкости; $F_{\min}$ — остаток жидкости в резервуаре после полного затопления образцов, включая остаток в линии подачи; $L(t)$ — расход жидкости в момент времени t ; n — число образцов в колонне; g_i — масса i -го образца; $G_i(t)$ — масса жидкости в i -м образце в момент времени t

Fig. 1. Installation diagram (a) and design diagrams before test (b), in the steady spraying mode (spill) (v), in the desorption mode (g): 1 — fluid under testing (petroleum product); 2 — pump; 3 — tank; 4 — supply line; 5 — spraying; 6 — mineral wool samples; 7 — fluid under testing in the storage; 8 — storage; 9 — laboratory balance; $F_{\max}$ — fluid initial mass; $F_{\min}$ — fluid residue in the tank after complete flooding of samples, including residue in the supply line; $L(t)$ — fluid output in time unit t ; n — number of samples in the column; g_i — mass of i sample; $G_i(t)$ — fluid mass in i sample at time unit t

В ходе эксперимента осуществляли пролив нефтепродукта 1, который подавали с помощью насоса 2 из резервуара 3 по линии 4 к оросителю 5, установленному на колонне из образцов 6 (см. рис. 1,а). Расход насоса регулировали так, чтобы обеспечить полное затопление образцов с минимальным переливом. Орошение колонны проводили до выхода на стационарный режим, т. е. до полного затопления минеральной ваты и формирования стабильного потока истечения $L(t_0)$ внизу колонны (рис. 1,б). Затем орошение прекращали, измеряли количество остатка жидкости в резервуаре и линии орошения $F_{\min}$, а также определяли расход жидкости, истекающей снизу колонны по времени $L(t)$ (рис. 1,в). Для этого за периоды времени Δt отбирали жидкость 7 в сборник 8 и определяли массу слива с помощью лабораторных весов 9 (см. рис. 1,а). После прекращения десорбции на момент времени $t_{\max}$ взвешиванием устанавливали массу пропитанных образцов $B_i(t_{\max})$ и остаточную массу жидкости в образцах:

$$G_i(t_{\max}) = B_i(t_{\max}) - g_i, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (4)$$

Для расчета массы жидкости в образцах $G_i(t)$ для всех моментов времени t в диапазоне $t_0 \leq t \leq t_{\max}(t_0 = 0)$ использовали следующие уравнения материального баланса:

$$F_{\max} = F_{\min} + \sum_{i=1}^n G_i(t_0); \quad (5)$$

$$F_{\max} = F_{\min} + \sum_{i=1}^n G_i(t) + \int_0^t L(t) dt; \quad (6)$$

$$F_{\max} = F_{\min} + \sum_{i=1}^n G_i(t_{\max}) + \int_0^{t_{\max}} L(t) dt. \quad (7)$$

В системе (5)–(6) количество измеряемых материальных потоков избыточно относительно числа уравнений, поэтому для предотвращения потери информации решение осуществляли методом квадратичного программирования с корректировкой, т. е. с учетом поправок, зависящих от распределений погрешностей измерений компонентов материального баланса [10]. Требуемые в таком методе статистики распределений находили путем обработки данных повторных экспериментов.

Окончательное решение получали в виде значений содержаний горючей жидкости в единице объема минеральной ваты:

- для полного набора образцов в колонне:

$$E(t) = \rho_{\text{мв}} \sum_{i=1}^n G_i(t) / \sum_{i=1}^n g_i; \quad (8)$$

- для каждого образца в отдельности:

$$E_i(t) = \rho_{\text{мв}} G_i(t) / g_i, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (9)$$

Результаты обобщали в виде графиков, примеры которых показаны на рис. 2–4.

Заметим, что зависимости остаточного содержания от времени являются интегральными характеристиками, которые практически всегда монотонны и хорошо совпадают при повторении экспериментов.

Рассматривая эти данные, следует обратить внимание на существенную зависимость характера истечения из минеральной ваты от вязкости нефтепродуктов. Для сравнения вклада этого параметра график на рис. 2 был специально растянут по оси

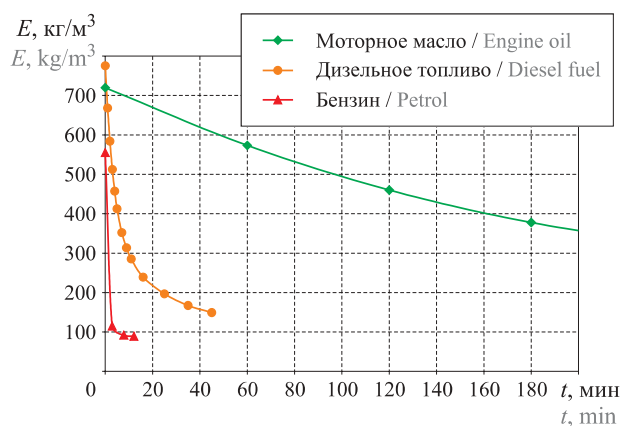


Рис. 2. Зависимость содержания нефтепродуктов в минеральной вате от времени десорбции при высоте теплоизоляционного слоя $H = 1$ м

Fig. 2. Dependency of oil products content in mineral wool from desorption time at heat insulation layer height of $H = 1$ m

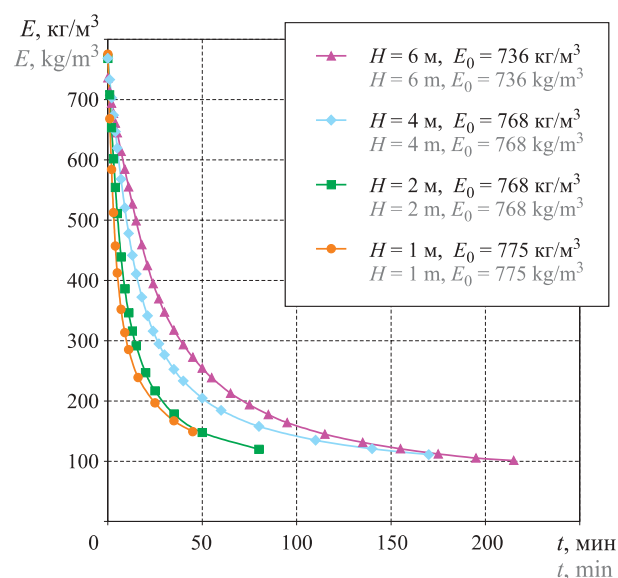


Рис. 3. Зависимость содержания дизельного топлива в минеральной вате от времени десорбции при различной высоте теплоизоляционного слоя: H — высота колонны из образцов; E_0 — содержание дизельного топлива в начале эксперимента

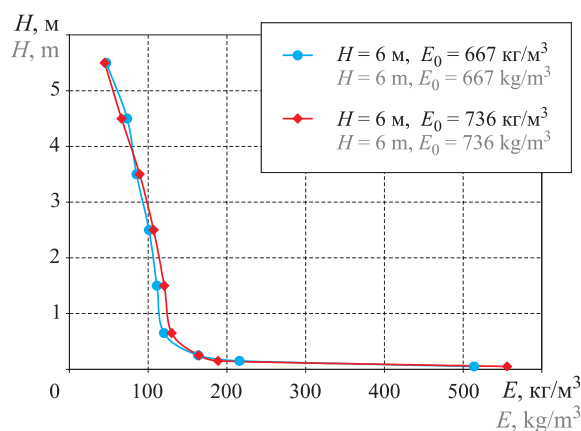


Рис. 4. Профили содержания дизельного топлива E в минеральной вате по высоте теплоизоляционного слоя H при завершении десорбции

Fig. 4. Profiles of diesel oil content E in mineral wool with regard of heat insulation layer height H with the completion of desorption

времени. Благодаря этому заметно, что остаточное содержание бензина за 10 мин истечения меньше остаточного содержания дизельного топлива за 1 ч и масла — за 3 ч. Полученные значения, которые не отражены на графике, показывают, что остаточное содержание моторного масла и за 10 ч истечения выше остаточного содержания дизельного топлива за 1 ч истечения.

Во время вертикального пожара пролива вязкость нефтепродуктов заметно уменьшается из-за повышения температуры, и это следует учитывать, используя зависимости, полученные в изотермических условиях.

Другой фактор истечения — высота теплоизоляционного слоя. Как показано на рис. 3, увеличению высоты соответствует более медленное уменьшение остаточного содержания нефтепродукта. При одинаковых начальных условиях и времени истечения пожарная нагрузка (нагрузка на единицу объема) теплоизоляционного слоя после аварии пролива будет выше для теплоизоляционного слоя, имеющего большую высоту.

Начальное содержание нефтепродукта в минеральной вате является важным условием, если пожар пролива случился сразу или в короткий период времени после аварии. Когда истечение горючей жидкости продолжается до завершения десорбции, пожарная опасность (остаточное содержание) мало зависит от начальных условий. Для подтверждения этого сравнивали распределения горючих жидкостей по высоте теплоизоляционного слоя при разном начальном содержании (см. рис. 4).

Важно отметить, что замедление (почти полное прекращение) десорбции нефтепродуктов из вертикальных образцов минеральной ваты позволяет сделать вывод о высокой пожарной опасности пропитанного теплоизоляционного слоя даже тогда, когда

после аварии пролива прошло значительное время. Кроме того, рассматривая профили остаточного содержания горючих жидкостей (см. рис. 4), следует выделить нижнюю часть вертикального теплоизоляционного слоя, где вес жидкости сколь угодно долго уравнивается капиллярными силами, а остаточное содержание соизмеримо с сорбционной емкостью.

Далее высокая опасность пожара пролива при внесении источника зажигания была подтверждена даже для тех участков по высоте теплоизоляционного слоя из минеральной ваты, на которых остаточное содержание нефтепродукта было минимальным ($E_{\min} \approx 50 \text{ кг/м}^3$).

Испытания на пожарную опасность

Для выбранных модельных систем и конструкций были проведены огневые испытания. Фотографии, фиксирующие ход испытаний, и полученные при этом типичные результаты представлены на рис. 5–9.

При подготовке испытаний выполняли конструкции с зазором S из вертикально установленных пло-



Рис. 5. Развитие пожара пролива дизельного топлива в зазоре 60 мм между вертикальным образцом минеральной ваты высотой 1 м и стальной обшивкой в различные моменты времени от начала пожара (мин:с) при $E = 164 \text{ кг/м}^3$

Fig. 5. Diesel oil spill fire development in the clearance of 60 mm between vertical sample of mineral wool with height 1 m and steel shell at different moments from the beginning of fire (min:s) at $E = 164 \text{ кг/м}^3$

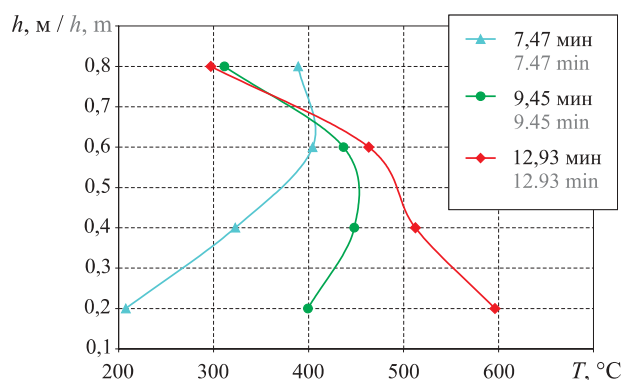


Рис. 6. Профили температур вертикальной обшивки, установленной с зазором 30 мм по высоте образца минеральной ваты, в различные моменты времени для пожара пролива дизельного топлива при начальном содержании ДТ в образце 328 кг/м³

Fig. 6. Temperature profiles of the vertical sheet, installed with the clearance of 30 mm regarding height of mineral wool sample, at various moments of time for the diesel oil spill fire at initial content of diesel oil in the sample 328 kg/m³

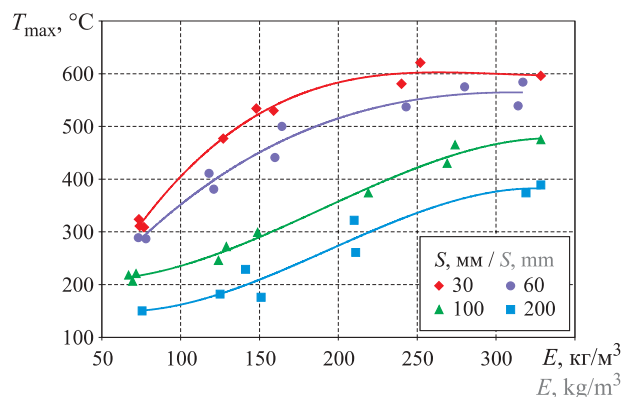


Рис. 7. Зависимость максимальных температур обшивок $T_{\max}$ во время пожаров пролива от начального содержания дизельного топлива E при различных зазорах s между обшивками и вертикальными образцами минеральной ваты

Fig. 7. Dependencies of sheet maximum temperatures $T_{\max}$ during spill fires from initial content of diesel oil E for various values of clearance s between sheets and mineral wool vertical samples

ских образцов минеральной ваты с параллельным расположением обшивки на расстоянии 30, 60, 100 и 200 мм. Увеличенные (против реальных) значения зазоров (100 и 200 мм) использовали для более полного анализа зависимости тепломассообменных процессов от этого конструктивного параметра.

Во всех случаях, когда минеральная вата была пропитана горючей жидкостью, после внесения источника зажигания возникало пламенное горение в зазоре между теплоизоляционным слоем и обшивкой.

Видеорегистрацию процесса горения в ходе испытаний осуществляли с бокового торца модели (см. рис. 5). Эксперименты проводили, изменяя начальное содержание горючих жидкостей E .



Рис. 8. Разрезы образцов минеральной ваты, поврежденных в результате точечного огневого воздействия на стальную обшивку, установленную без зазора: а, б — образец с проливом дизельного топлива с последующим тлением; в, г — сухой образец без последующего тления

Fig. 8. Sections of mineral wool, damaged as a result of point fire impact on steel sheet, installed without clearance: а, б — the sample with diesel oil spill with the following smoldering; в, г — the dry sample without follow-up smoldering

Важно отметить, что при больших значениях начального содержания жидкостей ($E > 250$ кг/м³) с повышением температуры во время горения наблюдалась интенсивная десорбция. Вначале внизу образца минеральной ваты стекали капли и струи жидкости, а затем горящие капли. Таким образом, вертикальный пожар пролива имел тенденцию перехода в горизонтальный.

Температуры, зарегистрированные по высоте обшивки, оказались во всех случаях переменными, увеличиваясь с течением времени в нижней части модели и уменьшаясь в верхней (см. рис. 6). Максимальные значения температур ожидаемо возрастали при увеличении начального содержания горючей жидкости и при уменьшении зазора (см. рис. 7). Тем не менее и при минимальном зазоре из-за недостатка кислорода воздуха температуры не превышали 600 °С, т. е. наибольшую опасность представлял не тепловой эффект, а само распространение горения, скрытое обшивкой.

Изменение содержания горючей жидкости (ее видимое истечение) связывает вертикальный пожар

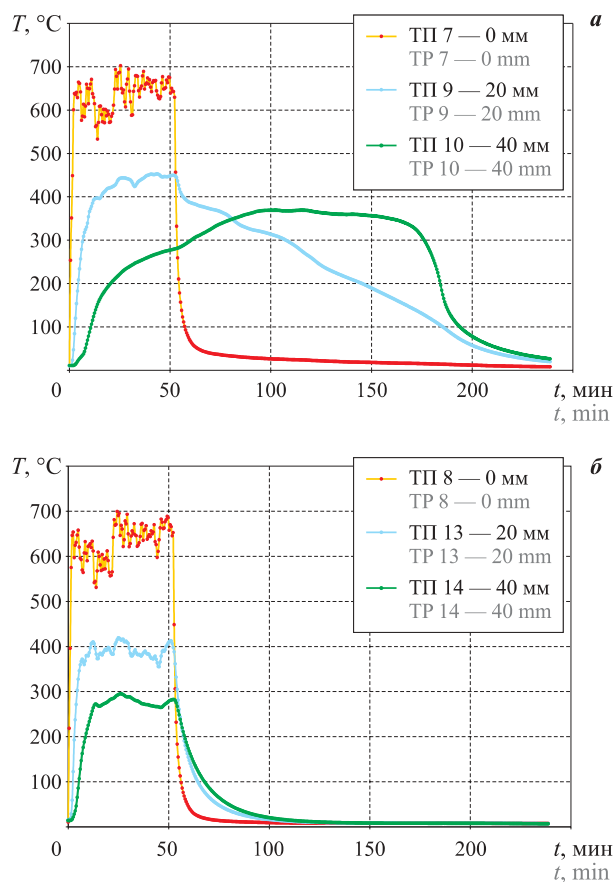


Рис. 9. Изменения температур T по времени t в точках установки термопар (ТП) на разном расстоянии от обшивки, установленных без зазора, для вертикальных образцов минеральной ваты при огневом воздействии на обшивку ($t < 52$ мин) и после воздействия: *а* — образец с проливом дизельного топлива, $E = 50,5 \text{ кг/м}^3$; *б* — сухой образец

Fig. 9. Changes of temperatures T with time t in the points of thermocouple (TP) installation at different distance from sheet, installed without clearance, for vertical samples of mineral wool during point fire impact on sheets ($t < 52$ min) and after impact: *a* — sample with diesel oil spill, $E = 50.5 \text{ kg/m}^3$; *b* — dry sample

пролива с условиями перетока сверху вниз по вертикальному теплоизоляционному слою. Одновременно видимое в зазоре движение парогазовой смеси снизу вверх позволяет предположить, что имеет место и противоток жидкости с газообразными продуктами в теле теплоизоляционного слоя. Это происходит потому, что истечение жидкости освобождает часть объема газопроницаемой минеральной ваты, и она выходит из режима захлебывания. Кроме того, за счет тепла, выделяющегося при горении, жидкость имеет температуру кипения.

Тогда в теле минеральной ваты и на ее поверхности должен проходить массообменный процесс обогащения паров легкими фракциями, содержащимися в исходном нефтепродукте, и процесс обогащения жидкости тяжелыми фракциями, т. е. такой же процесс, как и при обычной периодической ректификации многокомпонентных (непрерывных) сме-

сей в насадочном массообменном аппарате [4]. Здесь еще раз вернемся к зарегистрированным профилям температур (см. рис. 6) и отметим, что на завершающей стадии пожара пролива во всех экспериментах они напоминали изменения температур по высоте ректификационного аппарата. Роль газов (газообразных продуктов горения) в таком случае аналогична роли отпаривающих агентов, способствующих изменению парциального давления при ректификации [11].

Указанные признаки дистилляции и даже ректификации позволяют предположить, что обогащение тяжелыми и легкими фракциями соответственно жидкости и паров может оказывать существенное влияние на сам процесс горения и на вероятность распространения пожара, поскольку высота теплоизоляционного слоя резервуаров многократно превышает его толщину, а рассматриваемые нефтепродукты являются многокомпонентными смесями (широкими фракциями углеводородного сырья).

Таким образом, в верхней части теплоизоляционного слоя пожар будет связан с горением газообразных продуктов, обогащенных легкими фракциями, а в нижней части высокий тепловой эффект будет обусловлен горением истекающей жидкости, обогащенной тяжелыми фракциями.

Последующие исследования касались конструкций, выполненных без зазора. Они выявили принципиальное отличие их от конструкций с зазором, заключающееся в том, что воздействие внешнего источника зажигания не приводило к пламенному горению.

В экспериментах испытывались образцы минеральной ваты с обрешеткой и плотным (без зазоров) расположением обшивки, т. е. образцы выполнялись подобно сэндвич-панелям. Начальное содержание ГЖ в теплоизоляционном слое из минеральной ваты имело различные значения. Пропитку минеральной ваты нефтепродуктами осуществляли так же, как и при испытании конструкций с зазором, но при этом использовали не однократное зажигание, а длительное огневое воздействие на обшивку. В ходе испытаний регистрировали температуру по толщине образцов. После огневого воздействия и охлаждения материалов исследовали повреждения теплоизоляционного слоя.

Контроль температур в ходе испытания и вскрытие образцов после испытания выявили признаки скрытого распространения горения (тления) по минеральной вате, содержащей горючие жидкости.

Для примера на рис. 8 сопоставлены фотографии разрезов образцов, поддерживающих и не поддерживающих тление. Из рисунка видно, что при одинаковом огневом воздействии повреждения образца, пропитанного горючей жидкостью, распро-

странились вглубь (см. рис. 8,а и 8,б), а след теплового воздействия на сухом образце заметно меньше (см. рис. 8,в и 8,г).

Графики температур, представленные на рис. 9, также подтверждают наличие тления пропитанной минеральной ваты. После прекращения внешнего подвода тепла экзотермическая реакция в пропитанном образце продолжалась еще около 2 ч, тогда как температура сухого образца сразу начала снижаться.

Поскольку температуры при тлении не превышали 400 °С, наибольшую опасность представлял не тепловой эффект, а само скрытое распространение горения.

Нагрев образцов и здесь сопровождался видимым снизу усилением истечения жидкости и выходом газообразных продуктов сверху. В случае теплоизоляционного слоя, собранного без зазоров, внутри минеральной ваты также можно предположить наличие условий для дистилляции и даже ректификации нефтепродукта, т. е. условий формирования массообменного процесса с обогащением жидкости тяжелыми углеводородами, а паров — легкими фракциями.

Последнее повышает вероятность трансляции пожара, т. е. возможность возгорания паров вверх теплоизоляционного слоя, тем более что горючесть

газообразных продуктов, покидающих минеральную вату, была подтверждена в ходе испытаний.

Выводы и рекомендации

1. Пропитка теплоизоляционного слоя является доминирующим фактором пожарной опасности конструкций теплоизоляции резервуаров независимо от способа крепления обшивки (с зазором, без зазора).

2. При своевременном прекращении аварии пролива процесс десорбции существенно снижает пожарную нагрузку теплоизоляционного слоя, однако длительное время сохраняется опасность возгорания, особенно в случае пропитки минеральной ваты вязкими нефтепродуктами.

3. Повышение температуры во время пожара пролива приводит к уменьшению вязкости нефтепродуктов, которыми пропитана минеральная вата, в результате чего усиливается десорбция, ускоряется истечение горючей жидкости и становится более вероятным переход вертикального пожара пролива в горизонтальный.

4. Заслуживает внимания и изучения процесс, сопровождающий вертикальный пожар пролива и имеющий признаки дистилляции или ректификации, т. е. процесс обогащения тяжелыми фракциями истекающей жидкости и легкими фракциями газообразных продуктов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мельников В. С., Кириллов С. В., Мельников М. В., Ванин С. А., Васильев В. Г., Потемкин С. А. Минеральная вата — теплоизоляция фасадных и кровельных систем в условиях пожара пролива и тления // Наукоедение : интернет-журнал. — 2016. — Т. 8, № 6. — 28 с. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/63TVN616.pdf> (дата обращения: 20.09.2017).
2. Филиппова А. Г., Наумкин Е. А., Бакиров И. К. Оценка величины пожарного риска резервуарного парка // Информационные технологии. Проблемы и решения. — 2017. — № 1(4). — С. 39–44. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_29300169_98366830.pdf (дата обращения: 15.09.2017).
3. Агеев А. А., Волков В. А., Жигунова Л. К., Зуев А. А. Гидродинамика движения жидкости в капиллярах пористого тела // Вестник МНЭПУ. — 2015. — Т. 7. — С. 8–18. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_27389241_91483895.pdf (дата обращения: 20.09.2017).
4. Александров И. А. Ректификационные и абсорбционные аппараты. Методы расчета и основы конструирования. — 3-е изд., перераб. — М. : Химия, 1978. — 280 с.
5. Лыков А. В. Теория сушки. — М. : Энергия, 1968. — 472 с.
6. Волков В. А., Агеев А. А. Гравитометрический кинетический метод определения параметров капиллярно-пористых тел и новый метод расчета распределения капиллярного пространства по размерам капилляров (на примере текстильных материалов) // Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe (East European Scientific Journal). — 2016. — Т. 12, № 2. — С. 81–87. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_28082530_14681222.pdf (дата обращения: 20.09.2017).
7. Каримов Р. Р., Смирнова Е. А., Передерей О. И. Совершенствование средств и методов пассивного пожаротушения при аварийных проливах нефтепродуктов // Геология и нефтегазоносность Западно-Сибирского мегабассейна (опыт, инновации) : материалы Десятой международной научно-технической конференции. — 2016. — Т. 1. — С. 171–172. URL: <https://www.tyuiu.ru/wp-content/uploads/2016/08/Tom-1-GiN-2016.pdf> (дата обращения: 15.09.2017).
8. Швырков С. А., Юрьев Я. И. Температурный режим пожара для определения предела огнестойкости ограждающих стен нефтяных резервуаров // Технологии техносферной безопасности. — 2016. — № 4(68). — С. 50–56. URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2016-4/20-04-16.ttb.pdf> (дата обращения: 20.09.2017).

9. Бабичева Л. К., Акмурзина Д. Э. Тепловая изоляция резервуаров с нефтью и нефтепродуктами // Аллея науки. — 2017. — Т. 4, № 9. — С. 283–288. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_29656014_27834603.pdf (дата обращения: 20.09.2017).
10. Мельников В. С., Молоканов Ю. К. Развитие формулировки ограничений в задаче квадратичного программирования для коррекции материальных балансов химико-технологических подсистем. — М. : ЦИНТИХимнефтемаш, 1984. — 21 с.
11. Мельников В. С., Молоканов Ю. К., Осинина О. Г. Угледородные газы как отпаривающий агент в атмосферных колоннах установок АВТ // Химия и технология топлив и масел. — 1984. — № 5. — С. 14–16.

Материал поступил в редакцию 25 сентября 2017 г.

Для цитирования: Мельников В. С., Мельников М. В., Молчанов В. П., Бастриков Д. Л. Условия пожара пролива нефтепродуктов на теплоизоляцию резервуаров // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2017. — Т. 26, № 11. — С. 31–40. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.11.31-40.

English

CONDITIONS OF PETROLEUM PRODUCTS SPILL FIRE ON THE HEAT INSULATION OF TANKS

MELNIKOV V. S., Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, International Fire Center (Kolomenskiy Proezd, 14, Moscow, 115446, Russian Federation; e-mail: melnikov@firecenter.ru)

MELNIKOV M. V., Specialist, International Fire Center (Kolomenskiy Proezd, 14, Moscow, 115446, Russian Federation)

MOLCHANOV V. P., Doctor of Technical Sciences, Professor of General and Special Chemistry Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation)

BASTRIKOV D. L., Candidate of Technical Sciences, Director of Department of Industrial and Fire Safety of Hazardous Production Facilities, International Fire Center (Kolomenskiy Proezd, 14, Moscow, 115446, Russian Federation; e-mail: dlbastrikov@mail.ru)

ABSTRACT

Tanks, pipelines and other items are often made using heat insulation from mineral wool, which is made of non-organic fibers and binding to provide operational properties, including hydrophobic property related to water. However this technology does not protect from wetting by many other fluids and mineral is good in absorbing oil, petroleum products (motor oils, lubricants, solvents, anti-freezes etc.). This is why fire safety of combustible fluids spill on building structures with heat insulating layer from mineral wool is connected with possible fire spreading.

In order to study conditions under which spill fire is developed along vertical structures of cylindrical oil and oil products tanks, fire tests and experiments were conducted on cold hydraulic rig. For physical modeling of the accident and spill fire, heat insulating layer gasoline and motor oil dip were used. Depending on the location of tank shell relative to heat insulating layer, fire propagation in the ventilated gap and smoldering without gap were studied. For all constructive solutions a certain heat effect was observed, but it has been indicated that concealed burning propagation is the ultimate danger. Data for the evaluation of the residual content of petroleum products in the heat insulating layer depending on the time after spill fire accident was obtained, this data is suggested to be used to forecast duration and intensity of spill fire. Factors characterizing product viscosity of petroleum product and dependence of viscosity from temperature were referred to as dominant. Signs of petroleum products distillation and rectification processes, which may accompany vertical spill fire and facilitate to the propagation of combustion of gaseous products in the top of heat insulating layer as well as combustion of heavy fractions in its lower part. Conclusions were drawn that with timely cessation of spill accident, desorption process significantly reduces fire load on heat insulating layer, but ignition hazard is present for a long time, especially in the cases when mineral wool is impregnated with viscous oil products. It was also noted, that increase in temperature during spill fire leads to

the decrease in oil products viscosity, with which mineral wool is impregnated, and as a result desorption is enhanced, leakage of flammable liquid speeds up and transition of vertical spill fire into horizontal becomes more probable.

Keywords: spill fire; tank; heat insulation; mineral wool; fire hazard; smoldering; propagation of combustion; impregnation; petroleum products; fire tests; distillation; rectification; hydraulic tests; sorption; desorption; outflow; sorption tank; combustible liquid content; fire load.

REFERENCES

1. Melnikov V. S., Kirillov S. V., Melnikov M. V., Vanin S. A., Vasilev V. G., Potemkin S. A. Mineral wool — heat insulation of facade and roofing systems in conditions of spillage fire and smoldering. *Naukovedenie. Internet-zhurnal / Science of Science. Scientific Open Access Journal*, 2016, vol. 8, no. 6. 28 p. (in Russian). Available at: <http://naukovedenie.ru/PDF/63TVN616.pdf> (Accessed 20 September 2017).
2. Filippova A. G., Naumkin E. A., Bakirov I. K. Estimate the value of the tank farm fire risk. *Informatsionnyye tekhnologii. Problemy i resheniya / Information Technologies. Problems and Solutions*, 2017, no. 1(4), pp. 39–44 (in Russian). Available at: https://elibrary.ru/download/elibrary_29300169_98366830.pdf (Accessed 15 September 2017).
3. Ageev A. A., Volkov V. A., Zhigunova L. K., Zuev A. A. The hydrodynamics of the fluid in the capillaries of the porous body. *Vestnik MNEPU / Bulletin of MNEPU*, 2015, vol. 7, pp. 8–18 (in Russian). Available at: https://elibrary.ru/download/elibrary_27389241_91483895.pdf (Accessed 20 September 2017).
4. Aleksandrov I. A. *Rektifikatsionnyye i absorbtionnyye apparaty. Metody rascheta i osnovy konstruirovaniya* [Rectification and absorption apparatus. Methods of calculation and the basics of construction]. 3rd ed. Moscow, Khimiya Publ., 1978. 280 p. (in Russian).
5. Lykov A. V. *Teoriya sushki* [Theory of drying]. Moscow, Energiya Publ., 1968. 472 p. (in Russian).
6. Volkov V. A., Ageev A. A. Parameters capillary-porous bodies and the new method of calculating distribution capillary space on the size of capillaries (on the example of textile materials). *Wschodnio-europejskie Czasopismo Naukowe (East European Scientific Journal)*, 2016, vol. 12, no. 2, pp. 81–87 (in Russian). Available at: https://elibrary.ru/download/elibrary_28082530_14681222.pdf (Accessed 20 September 2017).
7. Karimov R. R., Smirnova E. A., Perederey O. I. Perfection of means and methods of passive fire extinguishing in emergency oil spills. In: *Geologiya i neftegazonosnost Zapadno-Sibirskogo megabasseyina (opyt, innovatsii). Materialy Desyatoy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Geology and oil-and-gas content of the West Siberian megabasin (experience, innovation). Proceedings of Tenth International Scientific and Technical Conference, 2016, vol. 1, pp. 171–172 (in Russian). Available at: <https://www.tyuiu.ru/wp-content/uploads/2016/08/Tom-1-GiN-2016.pdf> (Accessed 15 September 2017).
8. Shvyrkov S. A., Yuryev Ya. I. The temperature of the fire to determine the limit of fire resistance of enclosing walls of oil tanks. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti / Technology of Technosphere Safety*, 2016, no. 4(68), pp. 50–56 (in Russian). Available at: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2016-4/20-04-16.ttb.pdf> (Accessed 20 September 2017).
9. Babicheva L. K., Akmurzina D. E. Thermal insulation of tanks with oil and petroleum products. *Alleya nauki / Alley of Science*, 2017, vol. 4, no. 9, pp. 283–288 (in Russian). Available at: https://elibrary.ru/download/elibrary_29656014_27834603.pdf (Accessed 20 September 2017).
10. Melnikov V. S., Molokanov Yu. K. *Razvitiye formulirovki ogranicheniy v zadache kvadrachnogo programmirovaniya dlya korrektsii materialnykh balansov khimiko-tekhnologicheskikh podsystem* [Development of the formulation of constraints in the problem of quadratic programming for the correction of material balances of chemical and technological subsystems]. Moscow, TsINTIKhimneftemash Publ., 1984. 21 p. (in Russian).
11. Melnikov V. S., Molokanov Yu. K., Osinina O. G. Hydrocarbon gases as a stripping agent in atmospheric columns of AVT plants. *Khimiya i tekhnologiya topliv i masel / Chemistry and Technology of Fuels and Oils*, 1984, no. 5, pp. 14–16 (in Russian).

For citation: Melnikov V. S., Melnikov M. V., Molchanov V. P., Bastrikov D. L. Conditions of petroleum products spill fire on the heat insulation of tanks. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 11, pp. 31–40 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.11.31-40.

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

Ю. Н. ШЕБЕКО, д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник отдела пожарной безопасности промышленных объектов, технологий и моделирования техногенных аварий, Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны (Россия, 143903, г. Балашиха, Московская область, мкр. ВНИИПО, 12; e-mail: yn_shebeko@mail.ru)

В. М. ПОНОМАРЕВ, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедры “Управление безопасностью в техносфере”, Российский университет транспорта (МИИТ) (Россия, 127994, г. Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9; e-mail: ponomarev.valentin@inbox.ru)

В. Ю. НАВЦЕНЯ, д-р техн. наук, профессор кафедры “Управление безопасностью в техносфере”, Российский университет транспорта (МИИТ) (Россия, 127994, г. Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9; e-mail: VNavtsenya@rtrn.ru)

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

О. В. ПЛИЦЫНА, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры “Управление безопасностью в техносфере”, Российский университет транспорта (МИИТ) (Россия, 127994, г. Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9; e-mail: plitsa@yandex.ru)

УДК 614.841

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ЦИСТЕРНЫ С СУГ В ОЧАГЕ ПЛАМЕНИ

Проведено теоретическое и экспериментальное исследование различных способов противопожарной защиты железнодорожной цистерны со сжиженными углеводородными газами (СУГ) (предохранительный клапан, вспучивающееся огнезащитное покрытие, тепловая изоляция). Выполнены эксперименты по изучению поведения баллонов с пропаном вместимостью 50 дм³ с указанными выше элементами противопожарной защиты для случая воздействия пламени горящего дизельного топлива. Показано, что наличие предохранительного клапана предотвращает взрыв резервуара с СУГ в очаге пожара, а наличие вспучивающегося огнезащитного покрытия существенно снижает скорость роста давления в нем и тем самым значительно задерживает момент начала работы предохранительного клапана. Наблюдается удовлетворительное согласие экспериментальных данных с расчетными, полученными с помощью разработанной математической модели. Показано, что результаты работы свидетельствуют о перспективности рассмотренных способов противопожарной защиты для предотвращения взрывов резервуаров с СУГ в очаге пожара.

Ключевые слова: модель железнодорожной цистерны с СУГ; очаг горения; методы защиты от огня; экспериментальная апробация; предохранительный клапан; вспучивающиеся огнезащитные покрытия; тепловая деформация; поля тепловых деформаций.

DOI: 10.18322/PVB.2017.26.11.41-51

Введение

Широкое использование на практике сжиженных углеводородных газов (СУГ) обусловило применение резервуаров для хранения и транспортировки этих продуктов в различных отраслях промышленности и в быту. Резервуары с СУГ обладают высокой пожарной опасностью, что подтверждается крупными инцидентами с их участием [1–6]. Зачастую эти инциденты протекают по сценарию, при котором резервуар с СУГ подвергается воздействию очага пожара, в результате чего возможен взрыв резервуара

с последствиями, подчас катастрофическими. Для предотвращения таких аварий предлагаются различные способы противопожарной защиты резервуаров, такие как подземное расположение резервуаров, тепловая изоляция их стенок, водяное орошение стенок [7], предохранительные клапаны [8]. Эти и другие меры по противопожарной защите резервуаров рассмотрены также в статьях [9–19] и цитированных в них работах. В частности, в [17–19] экспериментально и теоретически показана перспективность применения теплоогнезащитных оболочек для про-

тивопожарной защиты резервуаров с СУГ, однако не изучено совместное действие таких средств защиты, как огнезащитное покрытие и предохранительный клапан, что может быть важным при их практическом применении, так как инерционность прогрева металлоконструкции резервуара существенным образом может сказываться на работе предохранительного клапана.

В связи с этим настоящая работа посвящена теоретическому и экспериментальному исследованию совместного влияния вспучивающегося огнезащитного покрытия и предохранительного клапана на поведение сосудов с СУГ в очаге пожара. Для сравнения, наряду со вспучивающимся огнезащитным покрытием, рассмотрен вариант наличия на стенках резервуара тепловой изоляции.

В комплексе проблем, связанных с безопасностью цистерн для особо опасных грузов, одной из наиболее важных является предотвращение повреждений котлов при действии открытого пламени, так как их разрушение почти с неизбежностью приводит к таким последствиям, как разгерметизация, пролив вредного для окружающей среды продукта или взрыв [14–16, 20, 21].

Следует отметить, что в настоящее время надежность предотвращения взрыва остается крайне низкой, что показывает анализ статистических данных. В литературных источниках данная проблема исследована недостаточно: до недавнего времени соответствующие научно-исследовательские работы проводились не систематически. Кроме того, в научно-технической литературе крайне мало освещены вопросы использования комбинированных способов противопожарной защиты резервуаров.

В последние годы анализ пожаровзрывоопасности объектов транспорта, связанных с перевозкой сжиженных углеводородных газов, проводился, как правило, с позиций риск-ориентированного подхода, направленного на расчет вероятности возникновения пожаровзрывоопасной ситуации [15, 16]. Однако для практики такие расчеты малоинформативны. Здесь требуются апробированные инженерно-технические методы по обеспечению пожаровзрывобезопасности железнодорожной цистерны с СУГ в очаге пожара.

В целях разработки способов предотвращения и снижения последствий подобных аварий ФГБУ ВНИИПО совместно с МИИТ проведены комплексные экспериментально-теоретические исследования поведения моделей железнодорожных котлов-цистерн с СУГ в очаге пламени.

Постановка задачи

Одним из наиболее характерных сценариев аварий, имевших место с сосудами с СУГ под давле-

нием (особенно в случае относительно небольших транспортных резервуаров), является взрыв сосуда при воздействии на него очага пожара. Для предотвращения взрыва резервуара с СУГ в очаге пожара предложено несколько возможных способов (их краткий анализ приведен выше), среди которых наиболее простым и надежным представляется использование предохранительных клапанов необходимого проходного сечения (см., например, [7, 8]). При этом, вероятно, большое значение будет иметь местоположение предохранительного клапана — в верхней или нижней части сосуда (в зависимости от этого при раскрытии клапана будет вытекать паровая или жидкая фаза). Вопрос этот не столь прост, как кажется на первый взгляд. С одной стороны, массовая удельная скорость истечения жидкой фазы существенно выше по сравнению с паровой фазой, вследствие чего время сброса газа из аварийного резервуара существенно меньше. С другой стороны, при истечении паров из сосуда происходит интенсивное испарение жидкой фазы [22], сопровождающееся ее охлаждением и уменьшением давления. Какой из факторов будет превалировать, априори неясно.

Возникает еще один вопрос, связанный с оценкой теплового воздействия очага пожара на резервуар с СУГ. В соответствии с требованиями норм предохранительные клапаны транспортного сосуда (например, цистерны) должны быть рассчитаны на воздействие на стенки резервуара воздушной среды с температурой 600 °С, имитирующей очаг пожара. Достаточно ли адекватно это температурное воздействие описывает влияние реального пожара на резервуар с СУГ, остается неясным. Практика показывает, что разгерметизация железнодорожной цистерны с СУГ наблюдается спустя 18–22 мин с момента попадания в очаг горения, несмотря на то что стенки котла-цистерны имеют толщину порядка 22–25 мм. Цель данной работы заключалась в исследовании поведения модели котла-цистерны в очаге горения путем воздействия на него мощного теплового потока и в разработке способа предотвращения его разрушения.

Методика экспериментальных исследований с резервуаром СУГ

Для изучения различных способов противопожарной защиты резервуаров с СУГ была проведена серия экспериментов в развитие исследований [17–19]. В качестве моделей резервуаров использовали стандартные бытовые баллоны с пропаном вместимостью 50 дм³, содержащие 21 кг СУГ. Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1.

Модельные экспериментальные исследования проводили на баллонах с пропаном без защиты, с огнезащитным покрытием СГК-1, разработанным

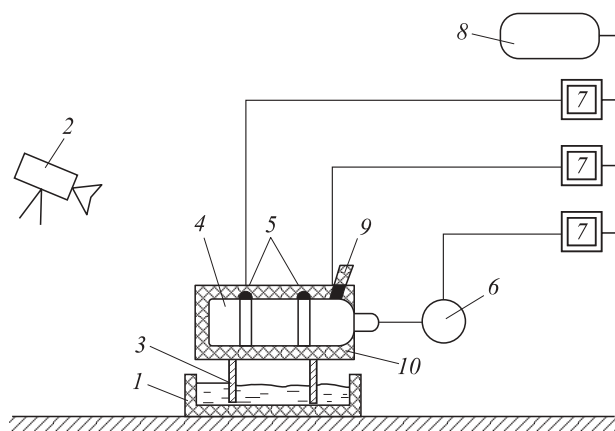


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 — очаг горения; 2 — видеокамера; 3 — подставка; 4 — баллон; 5 — термодатчики; 6 — датчик давления; 7 — потенциометр; 8 — электрический генератор; 9 — предохранительный клапан; 10 — огнезащитное покрытие

Fig. 1. Diagram of the experimental set-up: 1 — cavity with diesel oil; 2 — video camera; 3 — base for location of the vessel with LPG; 4 — vessel with LPG; 5 — thermocouples; 6 — pressure detector; 7 — oscilloscope; 8 — generator of electric voltage; 9 — safety valve; 10 — thermal protection layer

ГП «Московский институт теплотехники» (МИТ), с предохранительным клапаном и огнезащитным покрытием СГК-1 или многослойным покрытием, предложенным НПО «Машиностроение».

В экспериментах определяли: критическое давление разгерметизации баллонов, кинетику роста давления и температуры на внешней поверхности стенки сосуда и момент разрушения. Дополнительно для баллонов с вариантами защиты определяли: избыточное давление в баллоне, при котором происходило срабатывание предохранительного клапана, и толщину огнезащитного покрытия до и после испытаний.

Огнезащитное покрытие СГК-1 наносили на обезжиренную поверхность резервуаров в соответствии с требованиями технических условий [23]. Теплоизоляция представляла собой пакет материалов из нескольких слоев, предложенный НПО «Машиностроение». Непосредственно к баллону прилегал слой полужесткого волокнистого материала, способного к длительной работе при температуре до 450–500 °С. Далее находился слой объемной высокотемпературной ткани (рабочая температура до 1100–1200 °С), обладающей хорошими теплоаккумулирующими свойствами, но имеющей рыхлую структуру. Поверх высокотемпературной ткани были уложены два слоя стеклоткани, за которыми следовал металлический кожух для предотвращения механического повреждения теплоизоляционного слоя.

Для определения температуры стенок резервуаров применяли термодатчики. В случае незащищенных баллонов и при наличии покрытия СГК-1 спай термодатчиков защищали от прямого воздействия пла-

мени намоткой из асбестовой нити. Тем не менее, судя по показаниям термодатчиков, в большинстве указанных опытов прямое воздействие пламени все же имело место. Поэтому полученные данные по температуре стенок вызывают сомнения и в настоящей статье не приводятся. На стенках баллонов с композиционным теплоизоляционным слоем спай термодатчиков приваривали контактной сваркой к нихромовым пластинкам толщиной 0,15 мм, которые, в свою очередь, были приварены к стенкам баллона. При этом теплоизоляционный слой обеспечивал надежную защиту спая термодатчиков от прямого контакта с пламенем.

Давление СУГ измеряли с помощью манометрического преобразователя МП-160 с верхним пределом измерения 16 МПа, соединенного с горловиной баллона трубкой, проходящей под слоем грунта для защиты от пламени. В качестве вторичных приборов для записи сигналов с термодатчиков и датчика давления использовали потенциометры типа КСП-4. Дополнительно регистрировали процесс с помощью видеокамеры.

Опыты проводили следующим образом. В горизонтальный металлический поддон размерами 1,2×0,9×0,2 м заливали дизельное топливо в количестве от 50 до 100 л в зависимости от требуемой продолжительности горения (от 25 до 50 мин). Баллон с СУГ устанавливали горизонтально на высоте 0,3 м от поверхности дизельного топлива таким образом, чтобы исключить воздействие очага пламени на запорный вентиль (см. рис. 1).

После установки баллона, открытия запорного вентиля и пуска контрольно-измерительной аппаратуры производили зажигание дизельного топлива. При этом высота пламени составляла 0,8–1,2 м, что обеспечивало практически равномерный охват пламенем боковой поверхности баллона. Определяли зависимости давления СУГ и температуры стенок от времени, а также моменты начала работы предохранительного клапана. По кривой *давление – время* в соответствии с ГОСТ 12.1.044–89 определяли среднюю скорость нарастания давления. После прекращения горения модельного очага и охлаждения баллона до температуры окружающей среды при закрытии предохранительного клапана измеряли толщину слоя вспучившегося огнезащитного покрытия, а после выпуска газа из баллона оценивали состояние стенок, предохранительного клапана и запорного вентиля.

Экспериментальные данные и их обсуждение

Примеры зависимости температуры и давления от времени показаны на рис. 2–4 соответственно для баллона без защиты, с огнезащитным покрытием

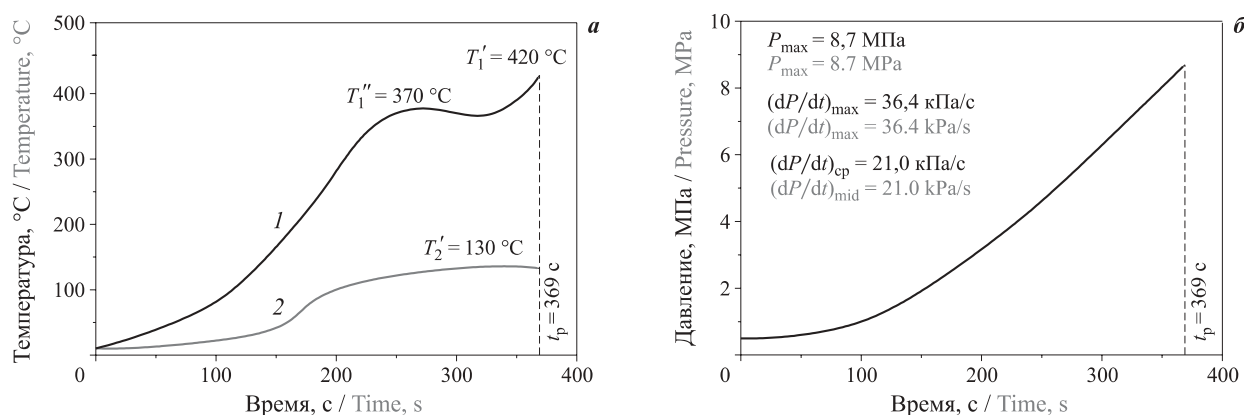


Рис. 2. Зависимость температуры на поверхности баллона с СУГ (а) и давления в нем (б) от времени: 1 — температура на внешней боковой поверхности вблизи горловины баллона; 2 — температура вблизи донной части; T_1' , T_1'' — температуры, измеренные в разные моменты времени

Fig. 2. Dependence of wall's temperature vessel with LPG (a) and pressure of LPG (b) on time: 1 — temperature at external side surface near the neck of vessel; 2 — temperature close to the bottom; T_1' , T_1'' — temperatures measured at different points in time

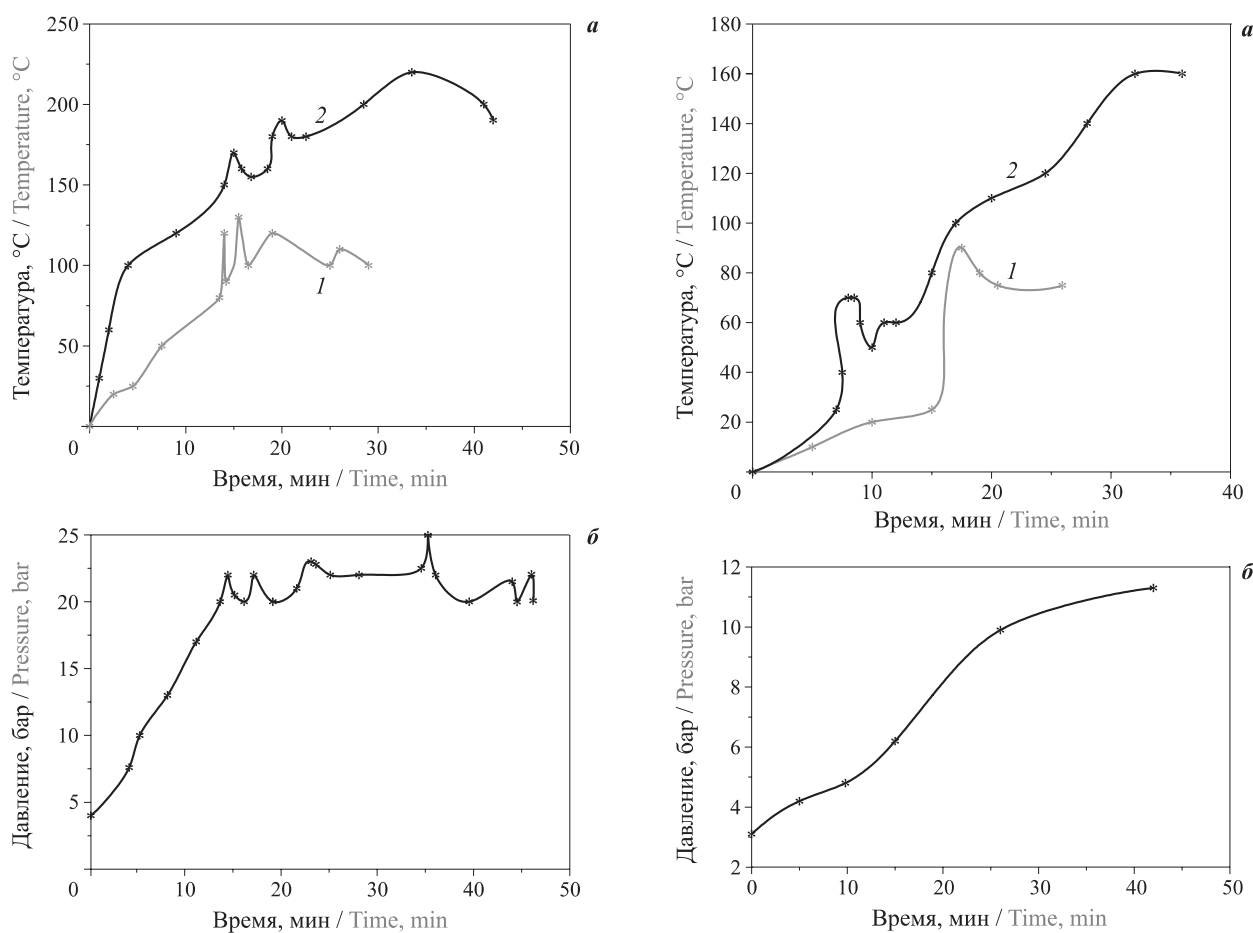


Рис. 3. Зависимость температуры боковой поверхности баллона (а) и давления с огнезащитным покрытием СГК-1 и предохранительным клапаном (б) от времени: 1 — температура на внешней боковой поверхности вблизи горловины баллона; 2 — температура вблизи донной части

Fig. 3. Dependence of wall's temperature vessel with LPG (a) and pressure of LPG with intumescent fire retardant coating SGK-1 and safety valve (b) on time: 1 — temperature at external side surface near the neck of the vessel; 2 — temperature close to the bottom

Рис. 4. Зависимость температуры боковой поверхности баллона (а) и давления с огнезащитным пакетом и предохранительным клапаном (б) от времени: 1 — температура на внешней боковой поверхности вблизи горловины баллона; 2 — температура вблизи донной части

Fig. 4. Dependence of wall's temperature vessel with LPG (a) and pressure of LPG with thermal isolation and safety valve (b) on time: 1 — temperature at external side surface near the neck of the vessel; 2 — temperature close to the bottom

ем СГК-1 и предохранительным клапаном, с защитным слоем (НПО “Машиностроение”) и предохранительным клапаном.

Наличие на стенках баллона вспучивающегося огнезащитного покрытия СГК-1 или слоя тепловой изоляции существенно сдвигает время начала работы предохранительного клапана с 2 мин (баллон без тепловой защиты) до 14–20 мин — с покрытием СГК-1 и более чем до 40 мин — в случае слоя тепловой изоляции. Скорость нарастания давления снижается более чем в 5 раз по сравнению с незащищенным баллоном в зависимости от вида покрытия и его толщины. Следует отметить, что наличие тепловой защиты на стенках баллона хорошо предохраняет стенки от высокотемпературного воздействия, поскольку первоначальная окраска баллона, поверх которой сделана тепловая защита, не пострадала.

Отметим, что длительная эксплуатация железнодорожной цистерны приводит к деформационному старению конструктивной стали [24], что существенным образом сказывается на огнестойкости металлоконструкции железнодорожной цистерны, особенно при попадании “несмачиваемой” оболочки цистерны СУГ.

Методика экспериментальных исследований поведения “сухой” оболочки резервуара (без СУГ) в очаге горения

Были проведены также модельные эксперименты [25] по исследованию поведения подкрепленных пластин при воздействии открытого пламени. Данная методика имитирует ситуацию попадания вагона-цистерны без СУГ в очаг горения. Схема экспериментальной установки показана на рис. 5.

Было проведено два эксперимента. В первом испытывали модель без защиты, во втором — модель с предварительно нанесенным огнезащитным покры-

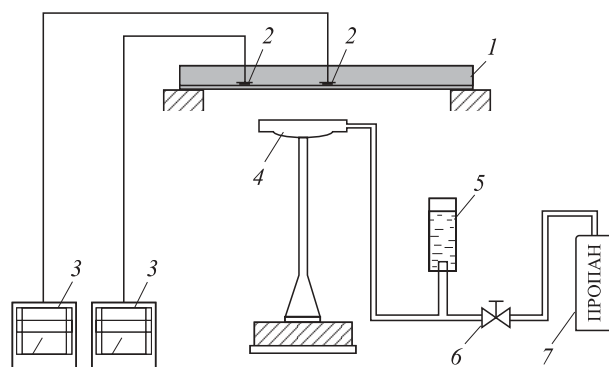


Рис. 5. Схема установки для испытаний пластин: 1 — испытательная модель пластины; 2 — термопары; 3 — самопишущие потенциометры; 4 — газовая горелка; 5 — расходомер; 6 — вентиль подачи газа; 7 — баллон с пропаном

Fig. 5. Diagram of the test plates: 1 — experimental model of the plate; 2 — thermocouple; 3 — recording potentiometers; 4 — gas burner; 5 — meter; 6 — gas valve; 7 — vessel with propane

тием СГК-2 (разработка МИИТ). Очаг пламени создавали пропановой горелкой с регулированием расхода газа. В ходе экспериментов определяли температуры и деформации пластины.

На рис. 6 приведены результаты измерения температур, а на рис. 7 — прогибы пластин в нагретом состоянии.

Результаты экспериментальных исследований позволили качественно оценить поведение оболочек в очаге пламени, обосновать применение средств защиты, а также уточнить параметры и проверить методики теоретического моделирования поведения котлов-цистерн в очаге пламени.

Задачу моделирования поведения котла при воздействии пламени [26] решали в два этапа. На первом этапе определяли неравномерное нестационарное температурное поле котла при воздействии внешнего теплового потока. На втором этапе моделировали напряженно-деформированное состояние (НДС) котла при неравномерном нагреве. При этом локальное изменение температуры вызывало как собственно температурные напряжения, так и изменение упругих и прочностных свойств материала оболочки, что также учитывалось при определении НДС котла.

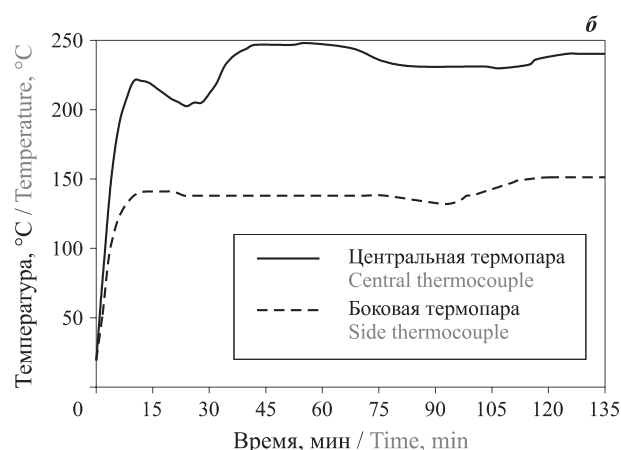
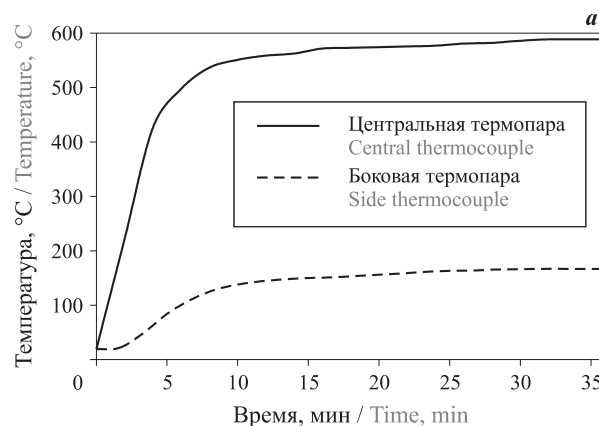


Рис. 6. Зависимость температуры модели без защиты (а) и с покрытием СГК-2 (б) от времени

Fig. 6. Dependence of temperature test plates without intumescent fire retardant coating (a) and with coating SGK-2 (b) on time

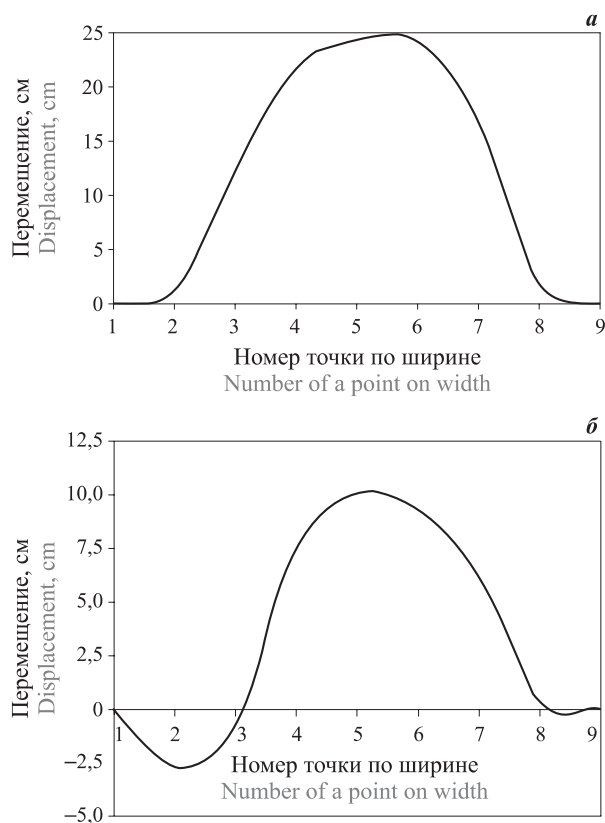


Рис. 7. Поле тепловых деформаций модели без покрытия (а) и с покрытием SGK-2 (б)

Fig. 7. The field thermal deformation of test plates without intumescent fire retardant coating (a) and with coating SGK-2 (b)

Методика определения температурного поля основана на применении следующих методов. Через рассмотрение теплового баланса элементарной двумерной области оболочки составляется уравнение теплопроводности, вид которого учитывает тип исследуемой зоны котла, а также характер внешнего теплового воздействия. Для интегрирования уравнения теплопроводности применяли вариационный метод. Был выбран соответствующий функционал, для которого данное уравнение является уравнением Эйлера. Далее в расчете использовали метод конечных элементов с применением треугольных плоских конечных элементов с линейной аппроксимацией температурного поля. Интегрирование разрешающей системы уравнений по времени проводили при помощи интерполяционного метода Адамса второго порядка.

Методика определения напряженно-деформированного состояния котла в очаге пламени основана на применении моментной теории оболочек и вариационного метода в виде принципа Лагранжа. Неравномерное температурное поле котла вызывает в нем тепловые деформации, которые учитываются в потенциальной энергии деформации. В результате этого в правой части разрешающей системы уравнений появляется вектор внешних тепловых воздей-

ствий. Расчет строится на основе метода конечных элементов. Для оболочки котла приняты конечные элементы в виде оболочечных отсеков в форме усеченных конусов, с аппроксимацией перемещений в виде рядов Фурье по окружной координате и полиномов от продольной координаты. Влияние повышения температуры оболочки котла на ее механические свойства учитывается путем задания переменного модуля упругости, зависящего от температуры.

Разработанные методики реализованы в виде пакета программ для ПЭВМ, написанных на языке Си++. С помощью данных программных средств были выполнены расчеты котла цистерны на аварийное воздействие открытого пламени. На рис. 8 приведены результаты сравнения температур, полученных расчетным путем, с данными модельного эксперимента.

На рис. 9 показано деформированное состояние котла-цистерны в очаге пламени, полученное расчетным путем с применением разработанной методики. Для сравнения качественной картины деформации на рис. 10 приведена фотография последствий нахождения котла цистерны в очаге пламени.

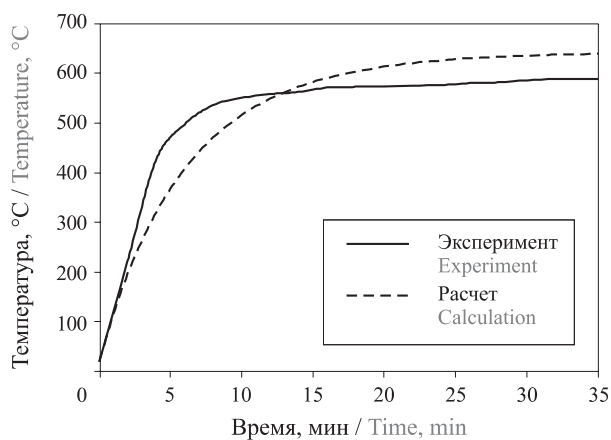


Рис. 8. Зависимость температуры оболочки котла-цистерны в центре очага пламени от времени

Fig. 8. Dependence of temperature test plates of railway tank in the center of the hearth flame on time

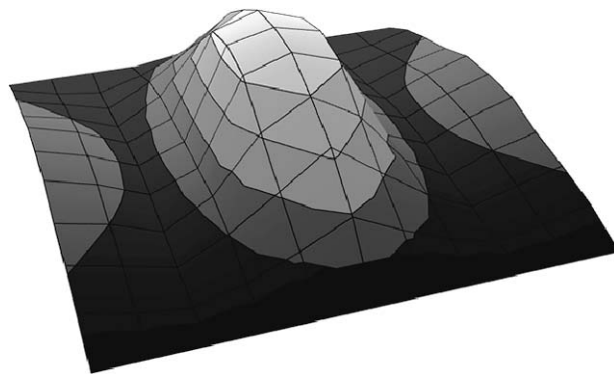


Рис. 9. Деформация оболочки котла цистерны в очаге пламени

Fig. 9. Deformation of the shell of railway tank in the hearth flame



Рис. 10. Последствия нахождения котла-цистерны в очаге пламени

Fig. 10. The consequences of a finding railway tank in the hearth flame

Результаты экспериментальных исследований и их обсуждение

С учетом совокупности полученных экспериментальных данных и рассмотрения проблемы с теоретической точки зрения предложен комбинированный способ противопожарной защиты баллонов с СУГ, в частности вагонов-цистерн с СУГ.

Предлагаемый авторами способ позволяет радикально устранить возможность взрыва вагонов-цистерн с СУГ при попадании в очаг горения. На основании данных авторов настоящей статьи и других исследователей [17–19, 27] по способам и устройствам, позволяющим увеличить время пребывания баллонов в очаге пожара до их разрушения, предложено и реализовано комбинирование действий огнезащитного покрытия (теплоизоляционного пакета) и предохранительного клапана. Проведенные серийные испытания показали высокую эффективность предложенного подхода.

Результаты систематических исследований динамики изменения давления и температуры стенок моделей резервуаров с СУГ в очаге пожара показали, что эффективным средством увеличения времени пребывания в нем является покрытие их огнезащитным составом. В качестве такового предложен и испытан состав огнезащитный вспенивающийся СГК-1, показавший высокую эффективность и хорошо согласующийся с прогнозом. Данное решение весьма эффективно для объектов транспорта в силу ограниченных массогабаритных параметров.

Разработана методика экспериментальных исследований, позволяющая оценить основные характеристики поведения моделей резервуаров с СУГ в очаге пожара и определить наиболее эффективное огнезащитное покрытие.

Сформулированы технические требования к огнезащитным покрытиям в целях выбора наиболее эффективного покрытия.

Появление современных технических средств защиты и выпуск более 400 новых моделей цистерн требуют учета изменения конструкции вагонов в комплексе нормативно-технической документации [28]. В частности, назрела необходимость переработки справочника специализированных цистерн.

Одновременно с этим необходимо внесение корректив в альбом-справочник “Грузовые вагоны железных дорог колеи 1520 мм”. 002И-2009 ПКБ ЦВ (М. : ПКБ ЦВ, 2009. — 804 с.), который содержит только общие виды и параметры вагонов без описания арматуры и условий эксплуатации. Отсутствуют там и криогенные цистерны. Назрела также необходимость в переработке и документа “Правила безопасности и порядок ликвидации аварийных ситуаций с опасными грузами при перевозке их по железным дорогам” (утв. приказом МЧС РФ от 31.10.1996 № 9-733/3-2 и МПС РФ от 25.11.1996 № ЦМ-407).

Наконец, требует переработки и документ “Грузовые вагоны железных дорог колеи 1520 мм. Руководство по деповскому ремонту” (протокол 54 заседания Совета по железнодорожному транспорту от 19.05.2011) с учетом новых технических средств и технологий, в частности сливноналивных приборов с тремя степенями защиты, точечных средств налива.

Выводы

1. Проведены масштабные экспериментальные и теоретические исследования поведения котлов железнодорожных цистерн в очаге пламени.
2. Смоделированы основные сценарии аварийных режимов, связанных с воздействием на котлы открытого пламени.
3. Разработаны и испытаны средства защиты котлов цистерн от пожара.
4. Проведенные исследования показали высокую эффективность таких технических средств защиты котлов, как предохранительные клапаны и огнезащитные покрытия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маршалл В. Основные опасности химических производств / Пер. с англ. — М. : Мир, 1989. — 672 с.
2. Davenport J. A. Hazards and protection of pressure storage and transport of LP-gas // Journal of Hazardous Materials. — 1988. — Vol. 20. — P. 3–19. DOI: 10.1016/0304-3894(88)87003-1.
3. Стручалин В. Г., Пономарев В. М., Навценя В. Ю. Анализ взрывоопасных зон при заполнении цистерн нефтегрузами // Мир транспорта. — 2014. — Т. 12, № 3(52). — С. 184–191.

4. Петров И. И. Обеспечение пожарной безопасности резервуарных парков для хранения нефти, нефтепродуктов и сжиженных углеводородных газов (полувековой опыт научных исследований) // Пожарная безопасность. — 2010. — № 1. — С. 108–119.
5. Леончук П. А. Обзор научных работ по пожарной опасности транспортировки опасных грузов автомобильным и железнодорожным транспортом в части оценки последствий аварий и пожарного риска // Пожарная безопасность. — 2017. — № 1. — С. 85–95.
6. Малов Е. А., Диенов И. Н., Митрофанов А. В. Разрушение пропанового баллона в частном доме с. Дедуровка Оренбургской обл. // Безопасность труда в промышленности. — 1996. — № 10. — С. 13–18.
7. Schoen W., Probst U., Droste B. Experimental investigation of fire protection measures for LPG storage tanks // Proceedings of the 6th International Symposium on Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries. — Norway, Oslo, 1989. — Vol. II. — P. 51/1–51/17.
8. Roberts A. F., Moodie K. The role of insulating coatings in the fire protection of LPG vessels // Journal of Oil and Colour Chemical Association. — 1989. — Vol. 72, No. 5. — P. 192–195.
9. Kletz T. Protect pressure vessels from fire // Hydrocarbon Processing. — 1977. — Vol. 56, No. 8. — P. 98–102.
10. Schoen W., Droste B. Brandschutz bei Flüssiggas-Lagertanks // TUE. — 1988. — Vol. 29, No. 4. — P. 115–119 (in German).
11. Birk A. M. Modelling the response of tankers exposed to external fire impingement // Journal of Hazardous Materials. — 1988. — Vol. 20. — P. 197–225. DOI: 10.1016/0304-3894(88)87013-4.
12. Droste B., Schoen W. Full scale fire tests with unprotected and thermal insulated LPG storage tanks // Journal of Hazardous Materials. — 1988. — Vol. 20. — P. 41–53. DOI: 10.1016/0304-3894(88)87005-5.
13. Moodie K. Experiments and modelling: an overview with particular reference to fire engulfment // Journal of Hazardous Materials. — 1988. — Vol. 20. — P. 149–175. DOI: 10.1016/0304-3894(88)87011-0.
14. Шевцов С. А., Каргашилов Д. В., Хабибов М. У. Особенности проектирования резервуарных установок сжиженных углеводородных газов в системах автономного газоснабжения с учетом оценки пожарного риска // Пожарная безопасность. — 2016. — № 3. — С. 150–155.
15. Шебеко Ю. Н., Шебеко А. Ю., Гордиенко Д. М., Леончук П. А., Сулименко В. А. Пожарный риск перевозки сжиженных углеводородных газов железнодорожным транспортом // Пожарная безопасность. — 2016. — № 1. — С. 43–49.
16. Шебеко Ю. Н., Шебеко А. Ю., Гордиенко Д. М., Леончук П. А. Расчетная оценка пожарного риска перевозки сжиженных углеводородных газов автомобильным транспортом // Пожарная безопасность. — 2014. — № 4. — С. 26–33.
17. Страхов В. Л., Заикин С. В. Средства пассивной огнезащиты технологического оборудования объектов хранения и потребления сжиженного углеводородного газа на АГЗС // АвтоГазоЗаправочный комплекс + Альтернативное топливо. — 2009. — № 5(47). — С. 3–9.
18. Крутов А. М., Страхов В. Л., Заикин С. В. Новые средства огневой защиты технологического оборудования автогазозаправочного комплекса // АвтоГазоЗаправочный комплекс + Альтернативное топливо. — 2008. — № 1(37). — С. 51–53.
19. Заикин С. В., Страхов В. Л., Каледин В. О. Новый способ и средства огнезащиты для объектов нефтегазового комплекса // Транспорт на альтернативном топливе. — 2009. — № 4(10). — С. 28–32.
20. Барабанов А. А. Промышленный налив и слив сжиженных газов // Транспорт на альтернативном топливе. — 2013. — № 1(31). — С. 32–39.
21. Навценя В. Ю., Гордиенко Д. М., Смолин И. М., Болодьян И. А., Вогман Л. П., Карпов В. Л., Чибисов А. Л., Андреев В. А. Пожаровзрывобезопасность производственных объектов и транспортных систем // Пожарная безопасность. — 2012. — № 2. — С. 65–78.
22. Стручалин В. Г., Пономарев В. М., Навценя В. Ю. Возможность возникновения аварийных ситуаций при заполнении железнодорожных цистерн легковоспламеняющимися жидкостями // Наука и техника транспорта. — 2014. — № 4. — С. 85–90.
23. ТУ 7719-162-00000335–95. Состав огнезащитный вспенивающийся СГК-1. Технические условия. — М. : АО НПП Спецэнерготехника, 1995.
24. Навценя В. Ю., Стручалин В. Г., Ливанова Н. О., Филиппов Г. А. Влияние длительной эксплуатации и деформационного старения конструкционной стали 09Г2С на сопротивление разрушению и искрообразующую способность // Проблемы черной металлургии и материаловедения. — 2015. — № 1. — С. 87–92.

25. Шебеко Ю. Н., Назаренко В. А., Филиппов В. Н., Навценя В. Ю., Костюхин А. К., Замышевский Э. Д., Головин В. В., Беспалько С. В. Экспериментальное исследование поведения тонкостенной оболочки в очаге пламени // Пожарная безопасность. — 2004. — № 2. — С. 63–72.
26. Беспалько С. В. Разработка и анализ моделей повреждающих воздействий на котлы цистерн для перевозки криогенных продуктов : дис. ... д-ра техн. наук. — М., 2000. — 427 с.
27. Страхов В. Л., Заикин С. В. Расчет оптимальных параметров огнестойкого экрана противопожарных штор и укрытий // Транспорт на альтернативном топливе. — 2010. — № 3. — С. 20–24.
28. Рябцев Н. И., Кряжев Б. Г. Сжиженные углеводородные газы. — М. : Недра, 1977. — 279 с.

Материал поступил в редакцию 10 октября 2017 г.

Для цитирования: Филиппов В. Н., Шебеко Ю. Н., Пономарев В. М., Навценя В. Ю., Беспалько С. В., Плицина О. В. Моделирование поведения железнодорожной цистерны с СУГ в очаге пламени // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2017. — Т. 26, № 11. — С. 41–51. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.11.41-51.

English

MODELING OF THE BEHAVIOR OF THE RAILWAY LPG TANK IN THE HEARTH FLAME

FILIPPOV V. N., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Rail Cars and Car Facilities Department, Russian University of Transport (MIIT) (Obraztsova St., 9, build. 9, Moscow, 127994, Russian Federation; e-mail: Filipovvn@gmail.com)

SHEBEKO Yu. N., Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of Department of Fire Safety of Industrial Facilities, Technologies and Modeling of Technogenic Accidents, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia (VNIPO) (District VNIPO, 12, Balashikha, Moscow Region, 143903, Russian Federation; e-mail: yn_shebeko@mail.ru)

PONOMAREV V. M., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Management of Safety in a Technosphere Department, Russian University of Transport (MIIT) (Obraztsova St., 9, build. 9, Moscow, 127994, Russian Federation; e-mail: ponomarev.valentin@inbox.ru)

NAVTSENYA V. Yu., Doctor of Technical Sciences, Professor of Management of Safety in Technosphere Department, Russian University of Transport (MIIT) (Obraztsova St., 9, build. 9, Moscow, 127994, Russian Federation; e-mail: VNavtsenya@rtrn.ru)

BESPALCO S. V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Rail Cars and Car Facilities Department, Russian University of Transport (MIIT) (Obraztsova St., 9, build. 9, Moscow, 127994, Russian Federation; e-mail: bespalco@yandex.ru)

PLITSINA O. V., Candidate of Technical Sciences, Docent, Associate Professor of Management of Safety in a Technosphere Department, Russian University of Transport (MIIT) (Obraztsova St., 9, build. 9, Moscow, 127994, Russian Federation; e-mail: plitsa@yandex.ru)

ABSTRACT

Practice shows that the depressurization of railway tank LPG is observed after 18 to 22 minutes from the moment of entering the fire burning, despite the fact that the walls of the vessels tank have a thickness of about 22–25 mm. The aim of this work was to study the behavior of the model of the vessels tank in the center of combustion by the action of powerful heat flow and the development of means of preventing its destruction.

As a rule, to ensure fire safety is used or the method of heat-and-fire protection or discharge gas from the vessel tank. However, of interest is the combination of these methods of fire safety for vessels with LPG.

The experimental investigations of various methods for fire protection of vessels with LPG (safety relief valves, intumescent fire retardant coatings, thermal isolation) have been executed. The experiments have been carried out, in order to investigate the behaviour of the vessels of volume of 50 dm³ with LPG at the total fire engulfment. These vessels were equipped with the fire protection tools mentioned above. It has been found that the safety relief valves can prevent explosions of the vessels with LPG at their engulfment by the pool fire even without any other protective measures. The intumescent fire retardant coating or the thermal isolation reduce significantly a pressure rise rate and give the remarkable delay of the time moment when the safety relief valves begin to operate. A reasonably good agreement between the experimental and theoretical data was obtained. It has been revealed that the proposed fire protection tools are promising for prevention of explosions of LPG tanks at their engulfment by fires. Experimental and theoretical studies of the behavior of “non-wetting” shell of LPG tank. It is shown that the presence of the shell of the railway tank fire-retardant coatings can effectively reduce the influence of heat flux on the metal shell of the tank. Investigated experimentally and theoretically field thermal deformation of the metal plate without and with the application of intumescent fire protective coatings. Experiment on effects of heat flow on a metal plate simulated the thermal effect on the dry shell model rail cars. The results indicate the prospects of the considered methods of fire protection to prevent explosions of the LPG tanks fire, in particular, of boilers railway tank cars with LPG.

Keywords: railway LPG tank model; fire burning; fire protection methods; experimental testing; safety valve; intumescent fire retardant coatings; thermal deformation; thermal deformations fields.

REFERENCES

1. Marshall V. C. *Major chemical hazards*. Chichester, Ellis Horwood Ltd., 1987 (Russ. ed.: Osnovnyye opasnosti khimicheskikh proizvodstv. Moscow, Mir Publ., 1989. 672 p.).
2. Davenport J. A. Hazards and protection of pressure storage and transport of LP-gas. *Journal of Hazardous Materials*, 1988, vol. 20, pp. 3–19. DOI: 10.1016/0304-3894(88)87003-1.
3. Struchalin V. G., Ponomarev V. M., Navtsenya V. Yu. Analysis of explosion hazardous areas while filling tank-wagons with oil cargoes. *Mir transporta / World of Transport and Transportation*, 2014, vol. 12, no. 3(52), pp. 184–191 (in Russian).
4. Petrov I. I. Fire safety of oil products and liquefied hydrocarbon gases tank farms (semi-centennial research experience). *Pozharnaya bezopasnost / Fire Safety*, 2010, no. 1, pp. 108–119 (in Russian).
5. Leonchuk P. A. Review of studies about fire hazard of dangerous cargo transportation by motor and railway transport in the part of assessment of accident consequences and fire risk. *Pozharnaya bezopasnost / Fire Safety*, 2017, no. 1, pp. 85–95 (in Russian).
6. Malov E. A., Dienov I. N., Mitrofanov A. V. Destruction of vessel with propane in private house in village Dedurovka of the Orenburg region. *Bezopasnost truda v promyshlennosti / Occupational Safety in Industry*, 1996, no. 10, pp. 13–18 (in Russian).
7. Schoen W., Probst U., Droste B. Experimental investigation of fire protection measures for LPG storage tanks. In: *Proceedings of the 6th International Symposium on Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries*. Norway, Oslo, 1989, vol. II, pp. 51/1–51/17.
8. Roberts A. F., Moodie K. The role of insulating coatings in the fire protection of LPG vessels. *Journal of Oil and Colour Chemical Association*, 1989, vol. 72, no. 5, pp. 192–195.
9. Kletz T. Protect pressure vessels from fire. *Hydrocarbon Processing*, 1977, vol. 56, no. 8, pp. 98–102.
10. Schoen W., Droste B. Brandschutz bei Flusiggas-Lagertanks. *TUE*, 1988, vol. 29, no. 4, pp. 115–119 (in German).
11. Birk A. M. Modelling the response of tankers exposed to external fire impingement. *Journal of Hazardous Materials*, 1988, vol. 20, pp. 197–225. DOI: 10.1016/0304-3894(88)87013-4.
12. Droste B., Schoen W. Full scale fire tests with unprotected and thermal insulated LPG storage tanks. *Journal of Hazardous Materials*, 1988, vol. 20, pp. 41–53. DOI: 10.1016/0304-3894(88)87005-5.
13. Moodie K. Experiments and modelling: an overview with particular reference to fire engulfment. *Journal of Hazardous Materials*, 1988, vol. 20, pp. 149–175. DOI: 10.1016/0304-3894(88)87011-0.
14. Shevtsov S. A., Kargashilov D. V., Habibov M. U. Design features of tank installations with liquefied hydrocarbon gases in the autonomous gas and energy supply systems considering fire risk assessment. *Pozharnaya bezopasnost / Fire Safety*, 2016, no. 3, pp. 150–155 (in Russian).

15. Shebeko Yu. N., Shebeko A. Yu., Gordienko D. M., Leonchuk P. A., Sulimenko V. A. Fire risk of transportation of liquefied petroleum gas by railway transport. *Pozharnaya bezopasnost / Fire Safety*, 2016, no. 1, pp. 43–49 (in Russian).
16. Shebeko Yu. N., Shebeko A. Yu., Gordienko D. M., Leonchuk P. A. An assessment of fire risk of petroleum gas trucking. *Pozharnaya bezopasnost / Fire Safety*, 2014, no. 4, p. 26–33 (in Russian).
17. Strakhov V. L., Zaikin S. V. The technical means of passive fire protection for technological equipment of the objects of storage and consumption of liquid natural gas at Auto Gas Refueling Stations. *Avto-GazoZapravochnyy kompleks + Alternativnoye toplivo / AutoGas Filling Complex + Alternative Fuel*, 2009, no. 5(47), pp. 3–9 (in Russian).
18. Krutov A. M., Strakhov V. L., Zaikin S. V. The new means for passive fire protection of technological equipment of gas filling complex. *AvtoGazoZapravochnyy kompleks + Alternativnoye toplivo / Auto-Gas Filling Complex + Alternative Fuel*, 2008, no. 1(37), pp. 51–53 (in Russian).
19. Zaikin S. V., Strakhov V. L., Kaledin V. O. The new method and means of fire protection for oil and gas complex. *Transport na alternativnom toplive / Alternative Fuel Transport*, 2009, no. 4(10), pp. 28–32 (in Russian).
20. Barabanov A. A. Industrial loading and unloading of liquefied gases is a reasonable approach. *Transport na alternativnom toplive / Alternative Fuel Transport*, 2013, no. 1(31), pp. 32–39 (in Russian).
21. Navzenya V. Yu., Gordienko D. M., Smolin I. M., Bolodian I. A., Vogman L. P., Karpov V. L., Chibisov A. L., Andreev V. A. Fire-and-explosion safety of industrial facilities and transport systems. *Pozharnaya bezopasnost / Fire Safety*, 2012, no. 2, pp. 65–78 (in Russian).
22. Struchalin V. G., Ponomaryov V. M., Navtsenya V. Yu. Possibility of emergency situations when filling railway tanks with flammable liquids. *Nauka i tekhnika transporta / Science and Technology in Transport*, 2014, no. 4, pp. 85–90 (in Russian).
23. *Fire retardant composition SGK-1*. Technical requirements, Moscow, Spetsenergotekhnika Publ., 1995 (in Russian).
24. Navtsenya V. Yu., Struchalin V. G., Livanova N. O., Filippov G. A. Influence of prolonged operation and strain aging of the 09Mn2Si structural steel on resistance to destruction and spark producing ability. *Problemy chernoy metallurgii i materialovedeniya / Problems of Ferrous Metallurgy and Materials Science*, 2015, no. 1, pp. 87–92 (in Russian).
25. Shebeko Yu. N., Nazarenko V. A., Filippov V. N., Navtsenya V. Yu., Kostyukhin A. K., Zamyshvsky E. D., Golovin V. V., Bepalko S. V. Experimental research of thin-walled envelope behavior in test flame. *Pozharnaya bezopasnost / Fire Safety*, 2004, no. 2, p. 63–72 (in Russian).
26. Bepalko S. V. *Development and the analysis of models of the damaging impacts on coppers of tanks for transportation of cryogenic products*. Dr. tech. sci. diss. Moscow, 2000. 427 p. (in Russian).
27. Strakhov V. L., Zaikin S. V. Optimal parameters calculation of fire-resistant shield for fire-prevention blind and shelters. *Transport na alternativnom toplive / Alternative Fuel Transport*, 2010, no. 3, pp. 20–24 (in Russian).
28. Ryabtsev N. I., Kryazhev B. G. *Szhizhennyye uglevodorodnyye gazy* [Liquefied petroleum gases]. Moscow, Nedra Publ., 1977. 279 p. (in Russian).

For citation: Filippov V. N., Shebeko Yu. N., Ponomarev V. M., Navtsenya V. Yu., Bepalko S. V., Plitsina O. V. Modeling of the behavior of the railway LPG tank in the hearth flame. *Pozharovzryvo-bezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 11, pp. 41–51 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.11.41-51.

С. П. КАЛМЫКОВ, канд. техн. наук, преподаватель кафедры пожарной безопасности в строительстве, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: k_sp@bk.ru)

В. М. ЕСИН, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры пожарной безопасности в строительстве, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4)

УДК 614.841

ВРЕМЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ОЧАГА ПОЖАРА

Проведена оценка времени обнаружения пожара как промежутка времени от начала пожара до его обнаружения средствами пожарной автоматики (до достижения пороговых значений для пожарных извещателей) на основе современных программных комплексов, используемых для моделирования динамики пожара. Проанализированы сценарии развития пожара в зданиях различного назначения. Представлены результаты моделирования динамики оптической плотности дыма. Установлено, что темп развития пожара является определяющим фактором, влияющим как на время обнаружения пожара, так и на необходимое время эвакуации в целом. Показано, что учет времени обнаружения пожара как производной от темпа развития пожара на основе расчетных методов может привести как к увеличению необходимого времени эвакуации, так и к уменьшению времени начала эвакуации, что в свою очередь влечет за собой недоверенность полученных результатов.

Ключевые слова: время обнаружения пожара; темп развития пожара; время начала эвакуации; время эвакуации; необходимое время эвакуации; вероятность эвакуации; пожарный риск; оптическая плотность дыма; противопожарная защита.

DOI: 10.18322/PVB.2017.26.11.52-63

Введение

Согласно ст. 6 Федерального закона № 123 “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности” (далее — ФЗ № 123) [1] пожарная безопасность объекта защиты считается обеспеченной при выполнении одного из следующих условий:

1) в полном объеме выполнены требования пожарной безопасности, установленные техническими регламентами, принятыми в соответствии с Федеральным законом “О техническом регулировании”, и пожарный риск не превышает допустимых значений, установленных настоящим Федеральным законом;

2) в полном объеме выполнены требования пожарной безопасности, установленные техническими регламентами, принятыми в соответствии с Федеральным законом “О техническом регулировании” и нормативными документами по пожарной безопасности.

При обеспечении пожарной безопасности объекта защиты по первому условию требуется расчет пожарного риска, причем его величина не должна превышать допустимых значений, а именно 10^{-6} .

Одной из составляющих индивидуального пожарного риска согласно Методике определения расчетных величин пожарного риска, утвержденной приказом МЧС России № 382 (далее — Методика) [2],

является вероятность эвакуации людей из зданий $P_{э,i}$, определяемая по формуле

$$P_{э,i} = \begin{cases} 0,999 \frac{0,8t_{\text{бл}} - t_p}{t_{\text{нэ}}}, & \text{если } t_p < 0,8t_{\text{бл}} < t_p + t_{\text{нэ}} \\ & \text{и } t_{\text{ск}} \leq 6 \text{ мин;} \\ 0,999, & \text{если } t_p + t_{\text{нэ}} \leq 0,8t_{\text{бл}} \text{ и } t_{\text{ск}} \leq 6 \text{ мин;} \\ 0,000, & \text{если } t_p \geq 0,8t_{\text{бл}} \text{ или } t_{\text{ск}} > 6 \text{ мин,} \end{cases} \quad (1)$$

где $t_{\text{бл}}$ — время от начала пожара до блокирования эвакуационных путей в результате распространения на них опасных факторов пожара (ОФП), имеющих предельно допустимые для людей значения (время блокирования путей эвакуации), мин;

t_p — расчетное время эвакуации людей, мин;

$t_{\text{нэ}}$ — время начала эвакуации (интервал времени от возникновения пожара до начала эвакуации людей), мин;

$t_{\text{ск}}$ — время существования скоплений людей на участках пути, мин (плотность людского потока на путях эвакуации превышает $0,5 \text{ м}^2/\text{м}^2$).

Вероятность $P_{э,i}$ принимается равной 0,999 при соблюдении двух условий:

- во-первых, время существования скоплений людей на участках пути не должно превышать 6 мин;
- во-вторых, сумма времени начала эвакуации и расчетного времени эвакуации людей не должна

превышать время от начала пожара до блокирования эвакуационных путей в результате распространения на них ОФП с учетом коэффициентом запаса 0,8.

Согласно ст. 53 ФЗ № 123 [1] каждое здание или сооружение должно иметь объемно-планировочное решение и конструктивное исполнение эвакуационных путей, обеспечивающие безопасную эвакуацию людей при пожаре.

Безопасная эвакуация людей из зданий и сооружений при пожаре считается обеспеченной, если интервал времени от момента обнаружения пожара до завершения процесса эвакуации людей в безопасную зону не превышает необходимого времени эвакуации людей при пожаре.

В свою очередь, необходимое время эвакуации — время с момента возникновения пожара, в течение которого люди должны эвакуироваться в безопасную зону без причинения вреда их жизни и здоровью в результате воздействия опасных факторов пожара.

Два вышеописанных положения, а именно определение вероятности эвакуации при расчете пожарного риска (ст. 6 [1]) и безопасной эвакуации людей (ст. 53 [1]), имеют общий подход, в основу которого положено условие своевременности эвакуации. Однако в первом подходе необходимое время эвакуации сравнивается с временем эвакуации людей, которые оповещаются о пожаре спустя некоторое время от возникновения пожара до его обнаружения, а во втором — принимается вариант, при котором пожар уже обнаружен.

Предположим, что время от начала пожара до его обнаружения составляет 3 мин, время от обнаружения пожара до наступления предельно допустимых значений опасных факторов пожара — 3 мин, сумма времени начала эвакуации и расчетного времени эвакуации людей — 5 мин.

Из данного предположения следует, что в соответствии с положениями Методики [2] вероятность эвакуации людей составит 0,999, т. е. все люди эвакуируются из здания, а согласно ст. 53 ФЗ № 123 [1] безопасная эвакуация людей из здания не обеспечивается.

Это правовой парадокс, который может быть следствием неучета в полной мере именно времени обнаружения пожара.

Время начала эвакуации

Зачастую время обнаружения пожара расценивают как составляющую времени начала эвакуации, поэтому хотелось бы более подробно рассмотреть этот параметр.

Под временем начала эвакуации $t_{нз}$ понимается интервал времени от возникновения пожара до начала эвакуации людей [2]. Как утверждается в ра-

боте [3], это время может занимать до 90 % времени эвакуации. Однако в различных литературных источниках эта величина определяется по-разному, и перечень влияющих на нее факторов сильно разнится.

Согласно Методике [2] время начала эвакуации для помещения очага пожара определяется в зависимости от площади помещения, а для остальных помещений — по табличным значениям в зависимости от наличия или отсутствия на объекте систем оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре (СОУЭ) и их типа.

В методике, утвержденной приказом МЧС России № 404 [4], и в ГОСТ 12.1.004–91* указывается, что время от начала пожара до начала эвакуации людей для зданий без систем оповещения определяется по результатам исследования поведения людей при пожарах в зданиях конкретного назначения.

При наличии в здании системы оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре время начала эвакуации принимается равным времени срабатывания системы с учетом ее инерционности. При отсутствии необходимых исходных данных время начала эвакуации в зданиях без СОУЭ допускается принимать: для этажа пожара — 0,5 мин, для вышележащих этажей — 2 мин [4].

Если местом возникновения пожара выступает заловое помещение, где пожар может быть обнаружен одновременно всеми находящимися в нем людьми, то время начала эвакуации допускается принимать равным нулю [4].

По мнению ряда авторов, величина времени начала эвакуации представляет собой совокупность “технической” и “психофизической” составляющих. Так, например, в статье [5] время начала эвакуации $t_{нз}$ описывается формулой

$$t_{нз} = (t_{об} + t_{оп}) + t_o + t_{под}, \quad (2)$$

где $t_{об}$ — время обнаружения очага горения, мин;

$t_{оп}$ — время оповещения, объявления тревоги, мин;

t_o — интервал времени, необходимый человеку для осознания информации и оценки сложившейся ситуации, мин;

$t_{под}$ — время на подготовку к эвакуации или к защите помещения от воздействия ОФП, мин.

В статье [5] $(t_{об} + t_{оп})$ рассматривается как техническая составляющая формирования времени начала эвакуации, зависящая от наличия СОУЭ, надежности, инерционности и эффективности функционирования ее различных типов.

В более ранних источниках, например в [6], время начала эвакуации $t_{нз}$ определялось только техническими параметрами систем пожарной автоматики и

СОУЭ без учета психофизических особенностей поведения людей при получении сигнала о пожаре:

$$t_{нз} = t_{об} + t_{ин.ПС} + t_{ин.СОУЭ}, \quad (3)$$

где $t_{об}$ — время обнаружения пожара пожарным извещателем;

$t_{ин.ПС}$ — инерционность автоматической установки (системы) пожарной сигнализации;

$t_{ин.СОУЭ}$ — инерционность СОУЭ.

Хотелось бы отметить, что все действия людей, основанные на их психофизиологических особенностях, связанных с восприятием сигнала о пожаре, принятием решения о начале эвакуации, а также с подготовкой к эвакуации, возникают только после получения сигнала о пожаре от средств пожарной автоматики или свидетелей события.

Вполне вероятен сценарий пожара, при котором в помещении очага пожара люди могут отсутствовать и обнаружение пожара будет зависеть только от средств автоматики (например пожар в жилом

многоквартирном доме, жители одной из квартир которого отсутствуют в связи с нахождением в отпуске).

С учетом вышесказанного можно представить условие, при котором вероятность эвакуации [2] при расчете пожарного риска согласно ст. 6 [1] составляет 0,999:

$$t_{об} + t_{ин} + t_{оп} + t_o + t_{под} + t_p \leq 0,8t_{бл} \text{ и } t_{ск} \leq 6 \text{ мин}, \quad (4)$$

а также условие безопасной эвакуации людей в соответствии со ст. 53 [1]:

$$t_{ин} + t_{оп} + t_o + t_{под} + t_p \leq 0,8t_{бл}, \quad (5)$$

где $t_{ин}$ — время инерционности автоматической пожарной сигнализации и СОУЭ, мин.

Из сравнения этих условий видно, что они отличаются на величину времени обнаружения пожара $t_{об}$. Этот промежуток времени в первом условии (формула (4)) не учтен в явном виде, так как время начала эвакуации согласно Методике [2] зависит только от площади помещения либо от назначения

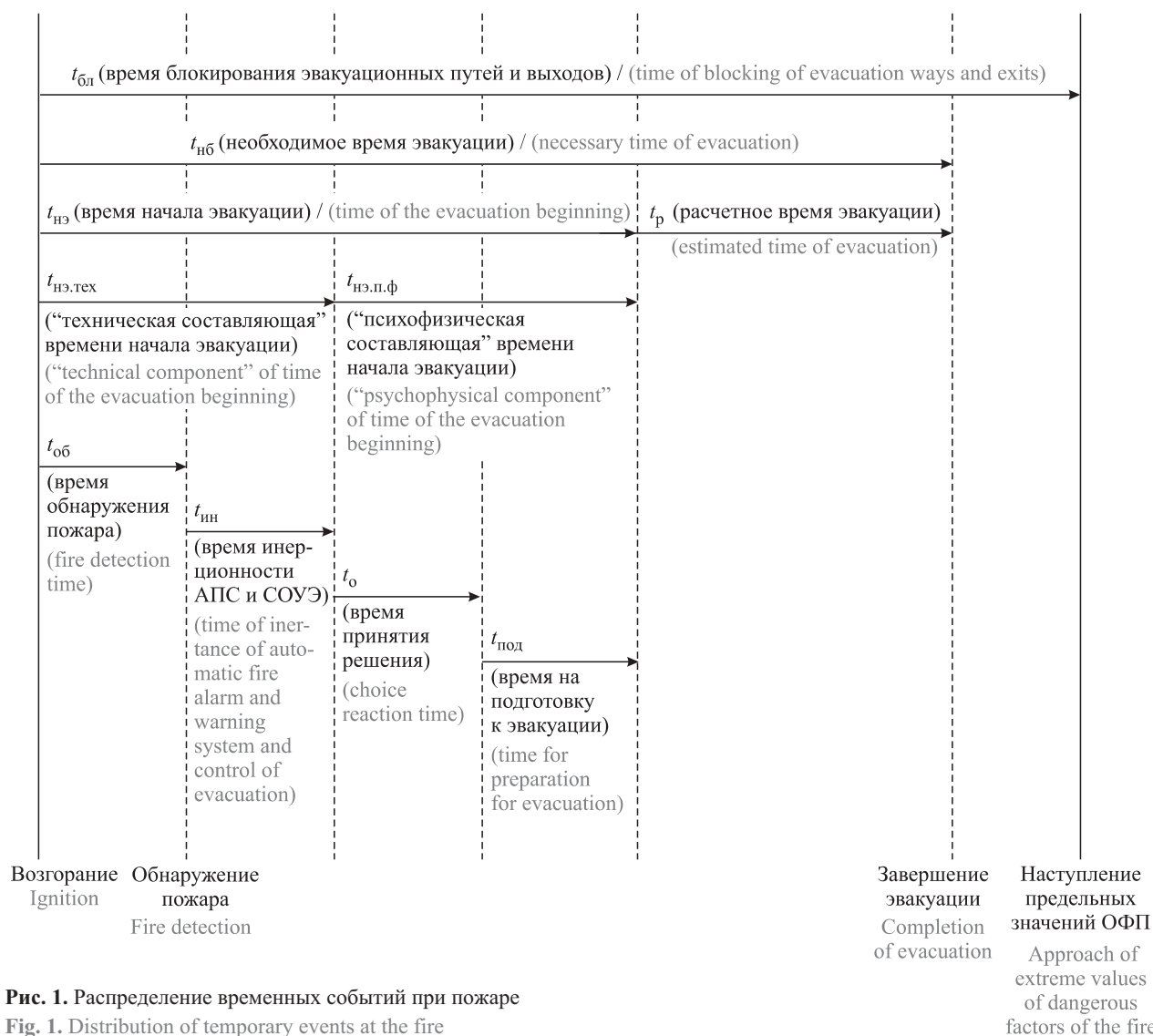


Рис. 1. Распределение временных событий при пожаре

Fig. 1. Distribution of temporary events at the fire

здания и наличия или отсутствия СОУЭ, а во втором условии (формула (5)) он отсутствует полностью.

Все это может привести к занижению времени начала эвакуации в обоих случаях и, соответственно, к недостоверным результатам при определении всего времени эвакуации людей.

Если исходить из того, что фактическое время обнаружения пожара на конкретном объекте, например, принимается равным 1 мин по паспортным данным и в реальной ситуации будет соответствовать этому значению, а по расчету это время составит 5 мин, то соотношение фактической и расчетной величин свидетельствует о том, что при реальном пожаре люди начнут эвакуироваться раньше, чем при моделируемом сценарии.

В то же время это свидетельствует и о том, что фактическое необходимое время эвакуации также изменится в меньшую сторону и будет определяться динамикой нарастания опасных факторов пожара.

В общем виде картину временных событий при пожаре можно представить в виде схемы, показанной на рис. 1.

Необходимое и расчетное время обнаружения пожара

В ст. 54 ФЗ № 123 [1] говорится, что системы обнаружения пожара (установки и системы пожарной сигнализации), оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре должны обеспечивать автоматическое обнаружение пожара за время, необходимое для включения систем оповещения о пожаре в целях организации безопасной (с учетом допустимого пожарного риска) эвакуации людей в условиях конкретного объекта.

Аналогичное требование содержится в СП [7], в соответствии с которым суммарное значение времени обнаружения пожара пожарными извещателями и расчетного времени эвакуации людей не должно превышать времени наступления предельно допустимых значений ОФП.

В рекомендациях ВНИИПО [8] прописана формула для определения необходимого времени обнаружения пожара $\tau_{об}^H$ в защищаемом помещении:

$$\tau_{об}^H = K_6 (\tau_{H6} - \tau_c - \tau_3 - \tau_p), \quad (6)$$

где K_6 — коэффициент безопасности;

τ_{H6} — необходимое время эвакуации людей, с;

τ_c — интервал времени от момента обнаружения пожара до сообщения о пожаре, с;

τ_3 — интервал времени от момента получения сообщения о пожаре до начала эвакуации людей, с;

τ_p — расчетное время эвакуации людей из защищаемого помещения, с.

Все вышеуказанные требования касаются необходимого времени обнаружения пожара. В РНД

73-45–89 [6] приведен порядок определения фактического времени обнаружения пожара.

Однако на практике вывод о безопасной эвакуации людей из здания согласно ст. 53 [1] или вероятности эвакуации людей из здания [2] определяется исходя из расчетных методов, в которых, как уже отмечалось выше, время обнаружения пожара не учитывается в явном виде.

Скорость тепловыделения при пожаре

В зарубежных источниках, например в [9, 10], при оценке динамики опасных факторов пожара принимается нестационарная картина, а именно развитие пожара включает в себя несколько стадий (рис. 2):

- возгорание;
- стадию, предшествующую вспышке;
- вспышку;
- полностью развившийся пожар;
- затухание.

Причем в фазе развития пожара выделяются следующие этапы (рис. 3):

- возгорание;
- инкубационный период;
- стадия эффективного (постоянного) роста;
- вспышка.

Чаше всего при оценке пожарной опасности объекта используют сценарий пожара с изменением тепловыделения по квадратичному закону от времени, так называемый t -квадратичный пожар. При пожарах подобного типа выделяют несколько их видов в зависимости от скорости тепловыделения [10] (рис. 4, табл. 1).

Скорость тепловыделения при t -квадратичном пожаре описывается зависимостью

$$q = \alpha t^2, \quad (7)$$

где α — коэффициент, учитывающий скорость тепловыделения, кВт/с²;
 t — время, с.



Рис. 2. Изменение мощности тепловыделения при неконтролируемом пожаре в помещении [9]

Fig. 2. Change of power of thermal emission at the uncontrollable fire indoors [9]

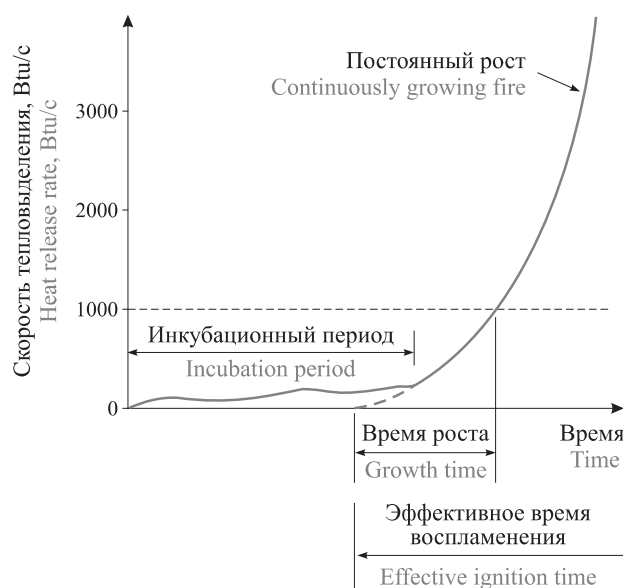


Рис. 3. Изменение мощности тепловыделения в начальной стадии пожара: 1 Btu/c = 1055 Дж/с [12]

Fig. 3. Change of power of thermal emission in an initial stage of the fire: 1 Btu/s = 1055 J/s [12]

В вышеуказанных документах регламентируется время развития пожара в помещениях различного назначения и при горении разных материалов в отдельности. Это время учитывается при моделировании динамики пожаров.

В нашей стране также имеется подобная градация пожаров по темпу их развития. Тепловую мощность очага пожара определяют по аналогичной формуле с изменением тепловыделения по квадратичному закону от времени [8]:

$$Q = K_T \tau^2, \quad (8)$$

где K_T — коэффициент, характеризующий темп изменения тепловой мощности очага пожара, кВт/с²;

τ — время, прошедшее с момента возникновения пламенного горения, с.

В зависимости от значения коэффициента K_T различают следующие классы пожаров по темпу их

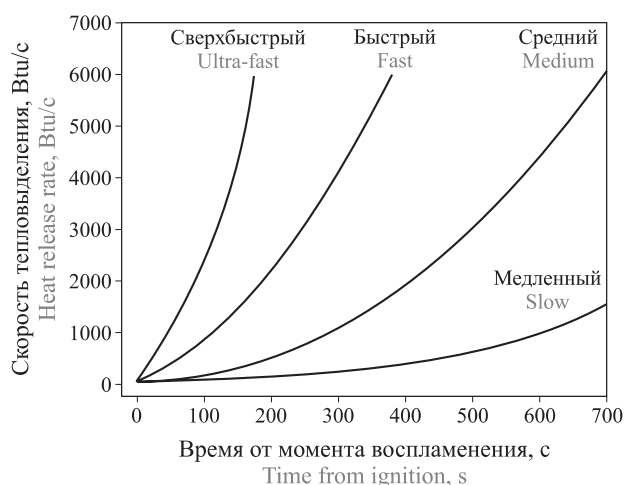


Рис. 4. Изменение скорости тепловыделения при различных видах пожаров

Fig. 4. Change of speed of thermal emission at different types of the fires

развития, характеризующемуся темпом изменения тепловой мощности очага пожара [8]:

- медленный темп — $K_T \leq 0,01$ кВт/с²;
- средний темп — $0,01 < K_T \leq 0,03$ кВт/с²;
- быстрый темп — $0,03 < K_T \leq 0,11$ кВт/с²;
- сверхбыстрый темп — $K_T > 0,11$ кВт/с².

В пособии [14] рассматриваются три вида развития пожара: круговое распространение по твердой горючей нагрузке, линейное распространение по твердой горючей нагрузке и неустановившееся горение горючей жидкости (ГЖ).

Скорость выгорания для этих случаев определяется по формулам [14]:

- для кругового распространения пожара:

$$\Psi = \psi_{уд} \pi v^2 t^2;$$

- для линейного распространения пожара:

$$\Psi = \psi_{уд} 2 v t b;$$

- для неустановившегося горения ГЖ:

$$\Psi = \psi_{уд} F \sqrt{t/t_{ст}},$$

Таблица 1. Значение константы α при пожарах с изменением скорости тепловыделения по квадратичному закону от времени

Table 1. Value of a constant α at the fires with change of speed of thermal emission under the square law from time

Вид пожара Fire class	NFPA 92B [12]		NFPA 72 [13]	
	α , кВт/с ² α , kW/s ²	t_g , с* t_g , s*	α , кВт/с ² α , kW/s ²	t_g , с t_g , s
Медленный / Slow	0,002778	600	$\alpha \leq 0,0066$	$t_g \geq 400$
Средний / Medium	0,01111	300	$0,0066 < \alpha \leq 0,0469$	$150 \leq t_g < 400$
Быстрый / Fast	0,04444	150	$\alpha > 0,0469$	$t_g < 150$
Сверхбыстрый / Ultra-fast	0,1778	75	—	—

* t_g — время изменения тепловой мощности очага пожара до 1000 Btu/c.

t_g — time of change of rate of heat release up to 1000 Btu/s.

где $\psi_{уд}$ — удельная скорость выгорания (для жидкостей установившаяся), $\text{кг}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$;
 v — скорость распространения пламени, $\text{м}/\text{с}$;
 b — ширина полосы горючей нагрузки, м ;
 $t_{ст}$ — время стабилизации горения горючей жидкости, с ;
 F — площадь очага пожара, м^2 .

В связи с вышеизложенным целью настоящей работы является оценка времени обнаружения пожара как промежутка от начала пожара до его обнаружения средствами пожарной автоматики (до достижения пороговых значений для пожарных извещателей) на основе современных программных комплексов, используемых для моделирования динамики пожара.

Материалы и методы (методология)

Для описания термогазодинамических параметров пожара применяются три основных группы детерминистических моделей — интегральные, зонные (зональные) и полевые [2].

В настоящее время в нашей стране для определения необходимого времени эвакуации все чаще применяются полевые модели пожара [15, 16], в частности программный комплекс FDS [17].

Скорость тепловыделения в программном комплексе FDS описывается следующей формулой:

$$Q = H_f \psi_{уд} S(t) = H_f \psi_{уд} \pi v^2 t^2, \quad (9)$$

где H_f — низшая теплота сгорания, $\text{МДж}/\text{кг}$;

$S(t)$ — площадь горения в текущий момент времени, м^2 .

Кроме квадратичного закона, изменение тепловыделения может быть задано с помощью функции гиперболического тангенса и в “ручном” режиме по экспериментальным зависимостям, приведенным, например, в [18]. Последний из перечисленных вариантов и был использован в настоящей статье.

На рис. 5 [18] представлены экспериментальные данные изменения тепловыделения при пожаре на автостоянке.

Время обнаружения пожара определялось как время достижения пороговых значений контролируемых параметров в точках модели, соответствующих расстановке пожарных извещателей. Инерционность пожарных извещателей и системы пожарной автоматики, работа систем автоматических систем пожаротушения в статье не рассматривались.

Расстановка пожарных извещателей и выбор их типа осуществлялись в соответствии с СП 5.13130.2009 [7]. Моделирование динамики развития пожара проводилось для помещений следующего функционального назначения:

- жилая двухкомнатная квартира;
- офисное помещение;
- бар/ночной клуб;
- магазин ковровых изделий;
- магазин сумок;
- магазин одежды;

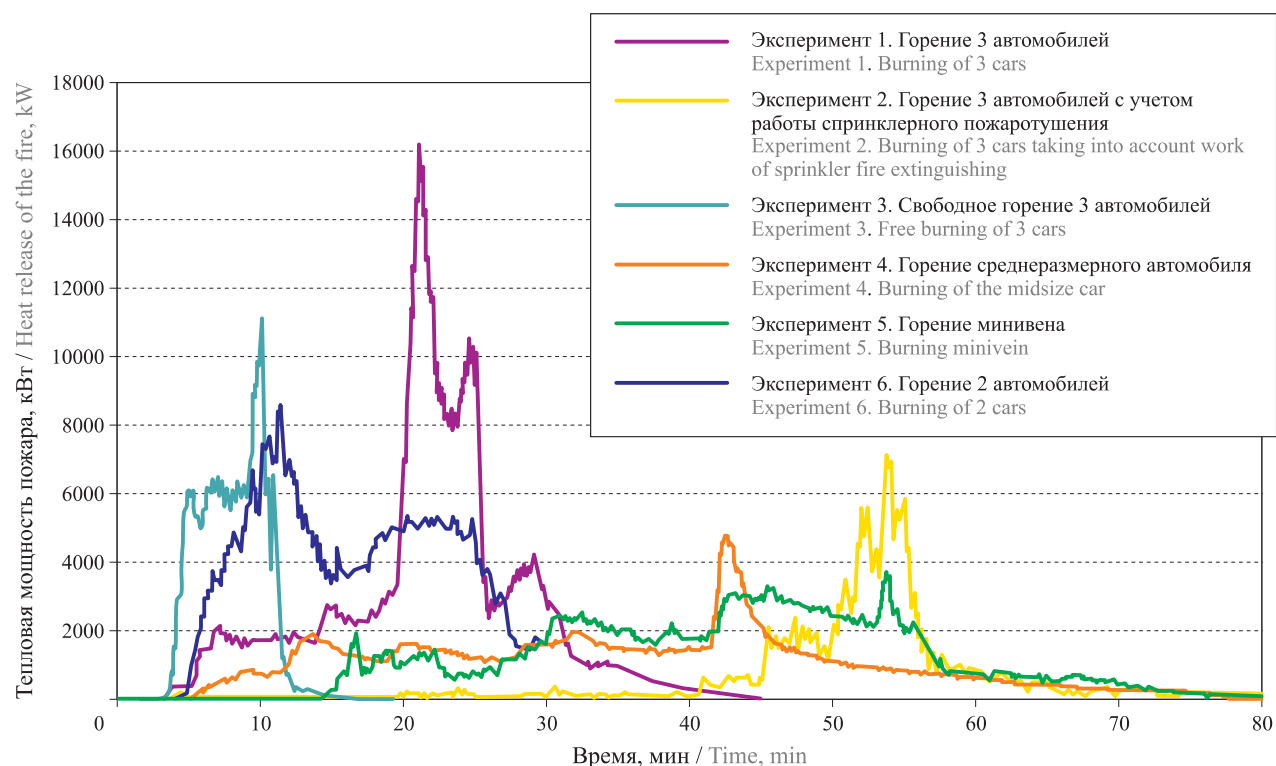


Рис. 5. Экспериментальные данные изменения тепловыделения при пожаре

Fig. 5. Experimental data of change of thermal emission at the fire

Таблица 2. Геометрические параметры помещений**Table 2.** Geometrical parameters of rooms

Назначение помещения Room class	Площадь, м ² Area, m ²	Высота, м Height, m
Жилая двухкомнатная квартира Two-room apartment	70 (22,3 — помещение очага пожара) 70 (22,3 — room of the fire)	3,0
Офисное Office	625	3,5
Бар/ночной клуб Bar/night club	625	3,5
Магазин ковровых изделий Shop of carpet products	625	3,5
Магазин сумок Shop of bags	625	3,5
Магазин одежды Clothing store	625	3,5
Ресепшен Reception	625	6,0
Автостоянка закрытого типа Car parking of closed type	1255	2,5

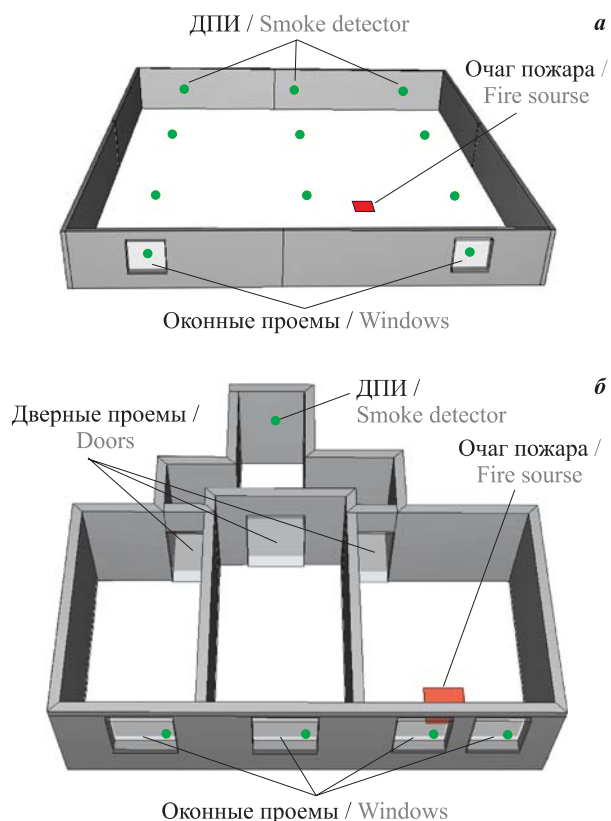
- ресепшен;
- автостоянка закрытого типа.

В жилой двухкомнатной квартире предполагалось размещение очага пожара в жилой комнате, при этом дымовой пожарный извещатель (ДПИ) располагался в прихожей квартиры. Дверные проемы в квартире принимались открытыми. В остальных расчетных сценариях ДПИ размещались непосредственно в помещениях очага пожара. Геометрические параметры помещений указаны в табл. 2.

Во всех моделях помещений очага пожара были предусмотрены оконные проемы, за исключением помещения автостоянки. В начальный момент времени оконные проемы находились в закрытом состоянии. При повышении температуры в помещении происходило вскрытие остекления в соответствии с закономерностями, описанными в [19, 20].

В указанных помещениях предполагалась установка ДПИ типа ИП 212-45 с допустимой чувствительностью 0,20 дБ/м (по ГОСТ Р 53325–2012). Количество ДПИ определялось исходя из расстояния между ними и от них до стен, высота размещения — из высоты помещения и угла наклона перекрытия.

Так как прямое моделирование работы оптоэлектронного дымового пожарного извещателя является задачей достаточно сложной, то в качестве аналогии в контрольных точках измерялась динамика оптической плотности дыма.

**Рис. 6.** Схема моделируемого сценария пожара в офисном помещении (а) и в двухкомнатной квартире (б)**Fig. 6.** The scheme of the modelled scenario of the fire in office room (a) and in the two-room apartment (b)

Время обнаружения пожара соответствует времени достижения значения оптической плотности дыма в одной из контрольных точек, равного $0,0046 \text{ м}^{-1}$ и соответствующего допустимой чувствительности ДПИ (по ГОСТ Р 53325–2012).

Изменение мощности тепловыделения принималось в соответствии с [18], количество и вид пожарной нагрузки — по [11, 14].

На рис. 6 представлены схемы некоторых из моделируемых сценариев пожара, а именно пожара в офисном помещении и двухкомнатной квартире.

Результаты и их обсуждение

На рис. 7–14 представлены результаты моделирования динамики пожара в указанных выше помещениях согласно табл. 2, а именно динамики изменения оптической плотности дыма в контрольной точке с координатами, соответствующими расположению дымового пожарного извещателя, в которой время от начала пожара до достижения порогового значения по контролируемому параметру являлось наименьшим среди других точек для каждого из рассматриваемых сценариев. Красной пунктирной линией обозначено пороговое значение оптической плотности дыма, допускаемое для ДПИ (ГОСТ Р 53325–2012).

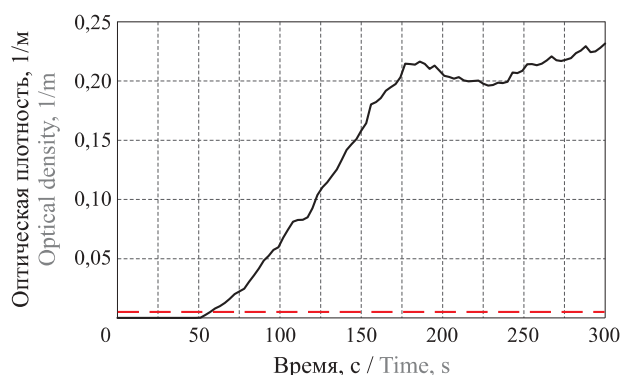


Рис. 7. Изменение оптической плотности дыма при пожаре в контрольной точке в жилой двухкомнатной квартире

Fig. 7. Change of optical density of smoke at the fire in a control point in the inhabited two-room apartment

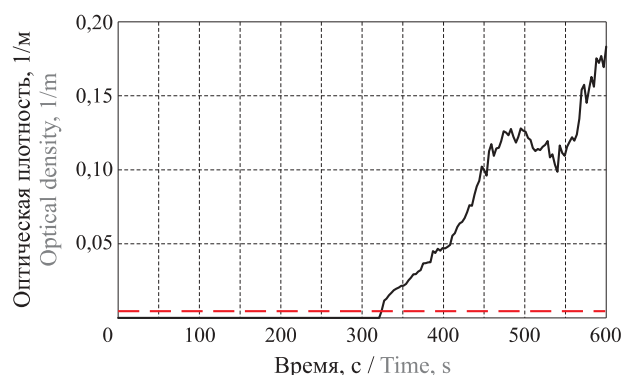


Рис. 10. Изменение оптической плотности дыма при пожаре в контрольной точке в помещении магазина ковровых изделий

Fig. 10. Change of optical density of smoke at the fire in a control point in shop of carpet products

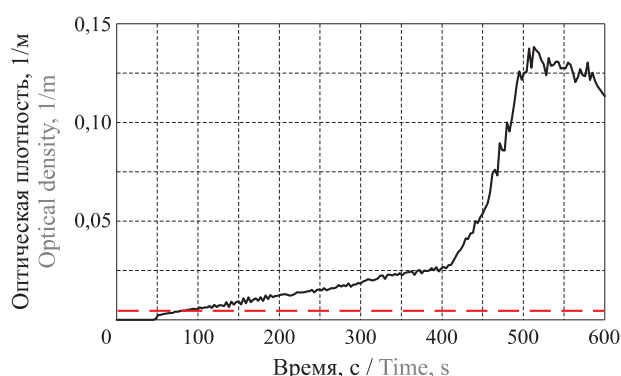


Рис. 8. Изменение оптической плотности дыма при пожаре в контрольной точке в офисном помещении

Fig. 8. Change of optical density of smoke at the fire in a control point in office room

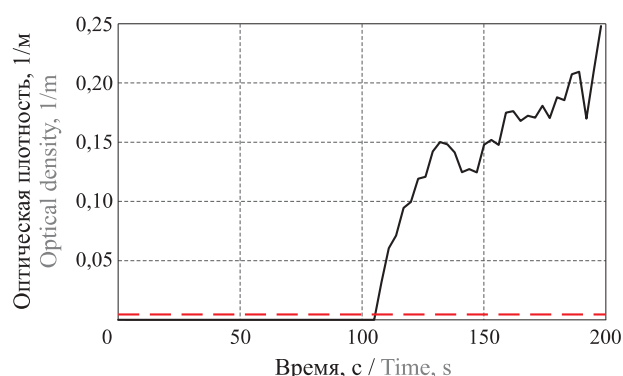


Рис. 11. Изменение оптической плотности дыма при пожаре в контрольной точке в помещении магазина сумок

Fig. 11. Change of optical density of smoke at the fire in a control point in shop of bags

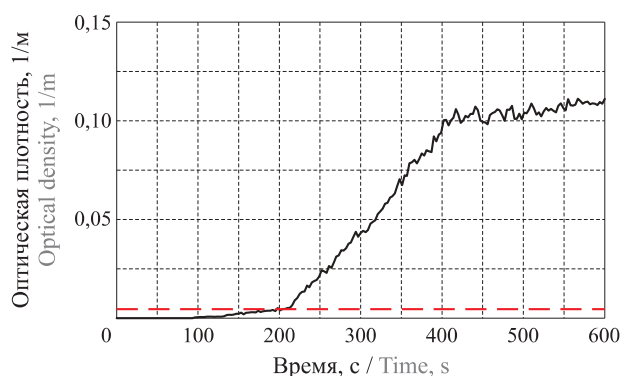


Рис. 9. Изменение оптической плотности дыма при пожаре в контрольной точке в баре/ночном клубе

Fig. 9. Change of optical density of smoke at the fire in a control point in bar/night club

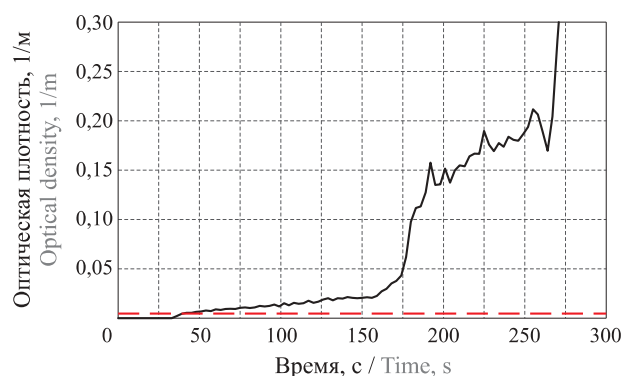


Рис. 12. Изменение оптической плотности дыма при пожаре в контрольной точке в помещении магазина одежды

Fig. 12. Change of optical density of smoke at the fire in a control point in clothing store

Обобщенные данные по времени обнаружения пожара приведены в табл. 3.

Представленные выше результаты численных экспериментов показывают, что промежуток времени от начала пожара до достижения пороговых значений для пожарных извещателей является весь-

ма значительным. Так, например, для помещения автостоянки закрытого типа этот промежуток составляет 320 с, а для магазина ковровых изделий — 324 с. Большие интервалы времени могут объясняться продолжительным инкубационным периодом пожара (см. рис. 3).

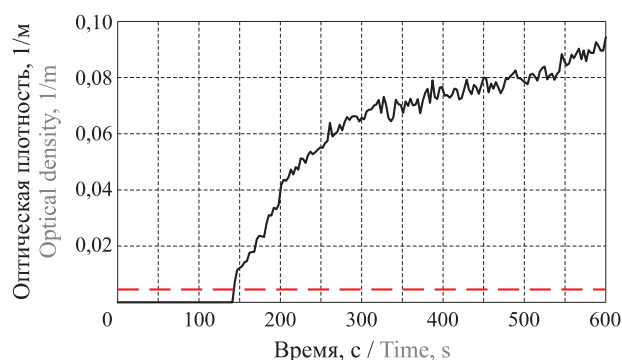


Рис. 13. Изменение оптической плотности дыма при пожаре в контрольной точке в помещении ресепшен

Fig. 13. Change of optical density of smoke at the fire in a control point indoors a reception

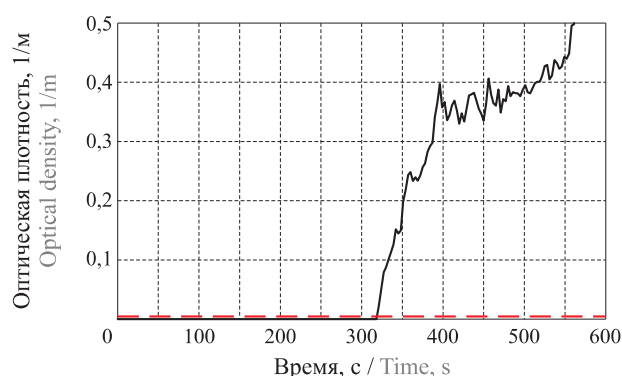


Рис. 14. Изменение оптической плотности дыма при пожаре в контрольной точке в помещении автостоянки закрытого типа

Fig. 14. Change of optical density of smoke at the fire in a control point in car parking of the closed type

Из сравнения результатов численных экспериментов со значениями времени начала эвакуации для помещений очага пожара, определенными в соответствии с Методикой [2], видно, что в последнем случае значения времени существенно меньше (см. табл. 2).

Выводы

Темп развития пожара является определяющим фактором, влияющим как на время обнаружения пожара, так и на необходимое время эвакуации в целом.

Неучет времени обнаружения пожара как производной от темпа развития пожара на основе расчетных методов может привести как к увеличению

Таблица 3. Время обнаружения пожара в моделируемых сценариях

Table 3. Time of detection of the fire in the modelled scenarios

Назначение помещения Room class	Время от начала пожара до достижения пороговых значений для ДПИ, с Time from the beginning of the fire before achievement of threshold values for the smoke fire detector, s	Время начала эвакуации для помещений очага пожара, с [2] Time of the beginning of evacuation for the room of the seat of fire, s [2]
Жилая двухкомнатная квартира Two-room apartment	57	11,25
Офисное помещение Office room	81	11,25
Бар/ночной клуб Bar/night club	197	11,25
Магазин ковровых изделий Shop of carpet products	324	11,25
Магазин сумок Shop of bags	106	11,25
Магазин одежды Clothing store	40	11,25
Ресепшен Reception	143	11,25
Автостоянка закрытого типа Car parking of closed type	320	17,55

необходимого времени эвакуации, так и к уменьшению времени начала эвакуации, что в свою очередь влечет за собой недостоверность полученных результатов.

Из-за отсутствия четких требований ко времени обнаружения пожара и к темпу развития пожара специалисты, выполняющие расчеты пожарного риска, могут пользоваться данным пробелом для искусственной вариации искомых величин.

По мнению авторов, при определении вероятности эвакуации в соответствии с Методикой [2] целесообразно учитывать темп развития пожара для оценки времени обнаружения пожара как составляющей времени начала эвакуации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон РФ от 22.07.2008 № 123-ФЗ (с изм. на 29.07.2017). URL: <http://base.garant.ru/12161584/> (дата обращения: 23.06.2017).
2. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности : приказ МЧС России от 30.06.2009 № 382 (с изм. на 02.12.2015). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902167776> (дата обращения: 20.06.2017).

3. Самошин Д. А. Законы распределения случайной величины времени начала эвакуации людей при пожарах // Технологии техносферной безопасности. — 2016. — № 2(66). — С. 104–113. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_28795425_19527566.pdf (дата обращения: 23.06.2017).
4. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах : приказ МЧС РФ от 10.07.2009 № 404 (ред. от 14.12.2010). URL: <http://base.garant.ru/196118/> (дата обращения: 23.06.2017).
5. Самошин Д. А., Холщевников В. В. Проблемы нормирования времени начала эвакуации // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2016. — Т. 25, № 5. — С. 37–51. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.05.37-51.
6. РНД 73–45–89. Временное руководство по проектированию систем оповещения о пожаре и управления эвакуацией людей при пожаре объектов народного хозяйства. — М. : ГПКИ Спецавтоматика, 1989.
7. СП 5.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования (с изм. 1). URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200071148> (дата обращения: 23.06.2017).
8. Средства пожарной автоматики. Область применения. Выбор типа : рекомендации. — М. : ВНИИПО, 2004. — 96 с.
9. Klotz J. H., Milke J. A. Principles of smoke management. — Atlanta : American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 2002. — 377 p.
10. PD 7974-1:2003. Application of fire safety engineering principles to the design of buildings — Part 1: Initiation and development of fire within the enclosure of origin (Sub-system 1). — London, UK : British Standards Institution, 2004. — 76 p.
11. Кошмаров Ю. А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении : учебное пособие. — М. : АГПС МВД РФ, 2000. — 118 с.
12. NFPA 92B. Standard for Smoke Management Systems in Malls, Atria, and Large Spaces, 2009 Edition. — Quincy, MA : NFPA, 2008. — 59 p.
13. NFPA 72. National Fire Alarm and Signaling Code. 2016 Edition. — Quincy, MA : NFPA, 2015. — 377 p.
14. Абашкин А. А., Карпов А. В., Ушаков Д. В., Фомин М. В., Гилетич А. Н., Комков П. М., Самошин Д. А. Пособие по применению “Методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности”. — 2-е изд., испр. и доп. — М. : ВНИИПО, 2014. — 226 с.
15. Ройтман В. М., Серков Б. Б., Приступок Д. Н. Направления развития теории огнестойкости конструкций, зданий и сооружений с учетом комбинированных особых воздействий с участием пожара // Горение и проблемы тушения пожаров : материалы XXIX Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию ФГБУ ВНИИПО МЧС России. — М. : ВНИИПО, 2017.
16. Кирюханцев Е. Е., Иванов В. Н. Проблемы пожарной безопасности высотных зданий и пути их решения // Технологии техносферной безопасности. — 2013. — № 4(50). — 5 с. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_21482429_39017312.pdf (дата обращения: 20.06.2017).
17. McGrattan K., Hostikka S., Floyd J., Baum H., Rehm R. Fire dynamics simulator (version 5). Technical reference guide : NIST Special Publication 1018–5. — Washington : National Institute of Standards and Technology, 2007. — 86 p. DOI: 10.6028/nist.sp.1018-5.
18. Mayfield C., Hopkin D. Design fires for use in fire safety engineering (FB 29:2011). — Bracknell : IHS BRE Press, 2011. — 82 p.
19. Казиев М. М., Зубкова Е. В., Безбородов В. И. Особенности огнезащиты светопрозрачных конструкций при помощи водяного орошения // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2016. — Т. 25, № 8. — С. 27–33. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.08.27-33.
20. Казиев М. М., Подгруппный А. В., Дудунов А. В. Разрушение светопрозрачных строительных конструкций при тепловом воздействии в условиях пожара // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — 2009. — № 2. — С. 5–10. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_16343994_19697854.pdf (дата обращения: 20.06.2017).

Материал поступил в редакцию 5 августа 2017 г.

Для цитирования: Калмыков С. П., Есин В. М. Время обнаружения очага пожара // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2017. — Т. 26, № 11. — С. 52–63. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.11.52-63.

FIRE DETECTION TIME

KALMYKOV S. P., Candidate of Technical Sciences, Lecturer of Fire Safety in Construction Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: k_sp@bk.ru)

ESIN V. M., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Fire Safety in Construction Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation)

ABSTRACT

According to the normative documents and normative legal acts on fire safety existing in Russian Federations, each building or a construction has to have the space-planning solution and design of evacuation ways providing safe evacuation of people at the fire.

Safe evacuation of people from buildings and constructions at the fire is considered provided if time interval from the moment of detection of the fire before completion of process of evacuation of people in a safe zone doesn't exceed necessary time of evacuation of people at the fire.

People begin to be evacuated from the building at the fire later some period which is called time of the beginning of evacuation. This size represents set of "technical" and "psychophysical" components. One of "technical" parts is fire detection time.

Conclusion about safe evacuation of people from the building or the value of probability of evacuation of people is defined proceeding from calculation methods in which time of detection of the fire isn't considered in an explicit form.

The purpose of the offered work is fire detection time assessment as period from the beginning of the fire before his detection by means of fire alarm equipment (before achievement of threshold values for fire detectors), on the basis of the modern program complexes used for modeling of dynamics of the fire.

It is established that the growth rate of development of the fire is the defining factor influencing both for the period of fire detection and for necessary time of evacuation in general. Not accounting of time of detection of the fire as derivative of growth rate of development of the fire, on the basis of calculation methods, can lead as to increase in necessary time of evacuation, and reduction of time of the beginning of evacuation that in turn involves unauthenticity of the received results.

Keywords: fire detection time; fire growth rate; evacuation start time; evacuation time; necessary evacuation time; probability of evacuation; fire risk; optical smoke density; fire safety.

REFERENCES

1. *Technical regulations for fire safety requirements*. Federal Law of Russian Federation on 22.07.2008 No. 123 (ed. 29.07.2017) (in Russian). Available at: <http://base.garant.ru/12161584/> (Accessed 23 June 2017).
2. *Technique of determination of settlement sizes of fire risk in buildings, constructions and structures of various classes of functional fire danger*. Order of Emercom of Russia on 30.06.2009 No. 382 (ed. 02.12.2015) (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902167776> (Accessed 20 June 2017).
3. Samoshin D. A. The laws of distribution of random variable of people pre-movement time during fire evacuation. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti / Technology of Technosphere Safety*, 2016, no. 2(66), pp. 104–113 (in Russian). Available at: https://elibrary.ru/download/elibrary_28795425_19527566.pdf (Accessed 23 June 2017).
4. *About the statement of a technique of determination of settlement sizes of fire risk on production objects*. Order of Emercom of Russia on 10.07.2009 No. 404 (ed. on 14.12.2010) (in Russian). Available at: <http://base.garant.ru/196118/> (Accessed 23 June 2017).
5. Samoshin D. A., Kholshchevnikov V. V. Problems of regulation of time to start evacuation. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 5, pp. 37–51 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2016.25.05.37-51.

6. RND 73-45–89. *The temporary guide to design of warning systems about the fire and managements of evacuation of people at the fire of objects of the national economy*. Moscow, GPKI Spetsavtomatika Publ., 1989 (in Russian).
7. Set of rules 5.13130.2009. *Systems of fire protection. Automatic fire-extinguishing and alarm systems. Designing and regulations rules* (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200071148> (Accessed 23 June 2017).
8. *Means of fire automatic equipment. Scope. Choice of type. Recommendations*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2004. 96 p. (in Russian).
9. Klotz J. H., Milke J. A. *Principles of smoke management*. Atlanta, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 2002. 377 p.
10. PD 7974-1:2003. *Application of fire safety engineering principles to the design of buildings — Part 1: Initiation and development of fire within the enclosure of origin (Sub-system 1)*. London, UK, British Standards Institution, 2004. 76 p.
11. Koshmarov Yu. A. *Prognozirovaniye opasnykh faktorov pozhara v pomeshchenii. Uchebnoye posobiye* [Forecasting of fire hazards in the case of indoor fire. Schoolbook]. Moscow, State Fire Academy of Ministry of Interior of Russia Publ., 2000. 118 p. (in Russian).
12. NFPA 92B. *Standard for Smoke Management Systems in Malls, Atria, and Large Spaces*. 2009 Edition. Quincy, MA, NFPA, 2008. 59 p.
13. NFPA 72. *National Fire Alarm and Signaling Code*. 2016 Edition. Quincy, MA, NFPA, 2015. 377 p.
14. Abashkin A. A., Karpov A. V., Ushakov D. V., Fomin M. V., Giletych A. N., Komkov P. M., Samoshin D. A. *Posobiye po primeneniyu "Metodiki opredeleniya raschetnykh velichin pozharnogo riska v zdaniyakh, sooruzheniyakh i stroeniyakh razlichnykh klassov funktsionalnoy pozharnoy opasnosti"* [Handbook on application of "A technique of determination of settlement sizes of fire risk in buildings, constructions and structures of various classes of functional fire danger"]. 2nd ed. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2014, 226 p. (in Russian).
15. Roytman V. M., Serkov B. B., Pristupyuk D. N. Directions of development of the theory of fire resistance designs, buildings and constructions taking into account the combined special influences with fire participation. 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 (in Russian).
16. 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). Available at: https://elibrary.ru/download/elibrary_21482429_39017312.pdf (Accessed 20 June 2017).
17. McGrattan K., Hostikka S., Floyd J., Baum H., Rehm R. *Fire dynamics simulator (version 5). Technical reference guide. NIST Special Publication 1018-5*. Washington, National Institute of Standards and Technology, 2007. 86 p. DOI: 10.6028/nist.sp.1018-5.
18. Mayfield C., Hopkin D. *Design fires for use in fire safety engineering* (FB 29:2011). Bracknell, IHS BRE Press, 2011. 82 p.
19. Kaziev M. M., Zubkova E. V., Bezborodov V. I. Features of the fire protection transparent constructions with water irrigation. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 8, pp. 27–33 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2016.25.08.27-33.
20. Kaziev M. M., Podgrushnyj A. M., Dudunov A. V. A pane of glass destruction under thermal influence in the conditions of a fire]. *Pozhary i chrezvychaynyye situatsii: predotvrashcheniye, likvidatsiya / Fire and Emergencies: Prevention, Elimination*, 2009, no. 2, pp. 5–10 (in Russian). Available at: https://elibrary.ru/download/elibrary_16343994_19697854.pdf (Accessed 20 June 2017).

For citation: Kalmykov S. P., Esin V. M. Fire detection time. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 11, pp. 52–63 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.11.52-63.

О. С. ЗОСИМОВА, аспирантка кафедры комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: cheptsovaos@mail.ru)

А. А. СЕМИН, начальник отдела пожарной безопасности, Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М. Ф. Владимирского (Россия, 129110, г. Москва, ул. Щепкина, 61/2, корп. 1; e-mail: symin89@mail.ru)

Д. А. КОРОЛЬЧЕНКО, заведующий кафедрой комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26)

УДК 614.841

КОНЦЕПЦИИ И РЕАЛИИ НОРМИРОВАНИЯ КОММУНИКАЦИОННЫХ ПУТЕЙ В ЗДАНИЯХ ЛЕЧЕБНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ

Описаны функции и задачи коммуникационных путей зданий и сооружений лечебных учреждений. Представлены схемы коммуникационных путей в зданиях лечебных учреждений, а также общая схема технологической взаимосвязи между помещениями подготовки результатов обследования человека и последовательности этапов его лечения. Проанализированы основные критерии обеспечения безопасности эвакуации людей при любых условиях эксплуатации зданий, а также критерии комфортности их движения. Приведены характеристики уровней комфортности движения. Сформирована аналитическая таблица состава пациентов различных групп мобильности в отделениях ГБУЗ МО МОНИКИ им. М. Ф. Владимирского. Проведен анализ объемно-планировочных решений зданий комплекса учреждений охраны материнства и детства. Описан процесс начала эвакуации людей из зданий лечебных учреждений. Установлена величина индивидуального пожарного риска для людей, находящихся в зданиях лечебных учреждений. Описаны особенности установления данной величины.

Ключевые слова: коммуникационные пути; чрезвычайная ситуация; эвакуация; безопасность; людской поток; маломобильные группы населения; лечебные учреждения.

DOI: 10.18322/PVB.2017.26.11.64-80

Введение

Любое здание предназначено для размещения в нем учреждений, осуществляющих систему функциональных и технологических процессов, направленных на удовлетворение тех или иных жизненных, духовных или социальных потребностей человека. При этом человек, как правило, является субъектом системы, а предметы его потребностей — ее объектами. Например, в зданиях предприятий общественного питания объектами системы являются разнообразные пищевые блюда, изготовленные по соответствующим технологиям и доставляемые тем или иным способом человеку для удовлетворения его потребности в питании. Здесь изготовление и доставка блюд — технологические процессы, потребление пищи человеком — функциональный процесс его организма, обеспечивающий жизненную потребность человека — его физическое существо-

вание. В связи с этим целесообразность взаимного расположения помещений в системе объемно-планировочных решений зданий общественного питания определяется прежде всего удобствами осуществления функциональных процессов субъектов системы (людей-потребителей), а не технологией изготовления объектов их потребления.

Охрана здоровья — первостепенная жизненная потребность человека, сопровождающая его на протяжении всей жизни с самого рождения. В современном обществе эта родовая потребность человека удовлетворяется системой лечебно-профилактических учреждений здравоохранения различного профиля специализации и формы собственности (государственные, муниципальные, частные). Несмотря на различия в профессиональной специализации и особенности, обусловленные формой собственности, общим характерным принципом орга-

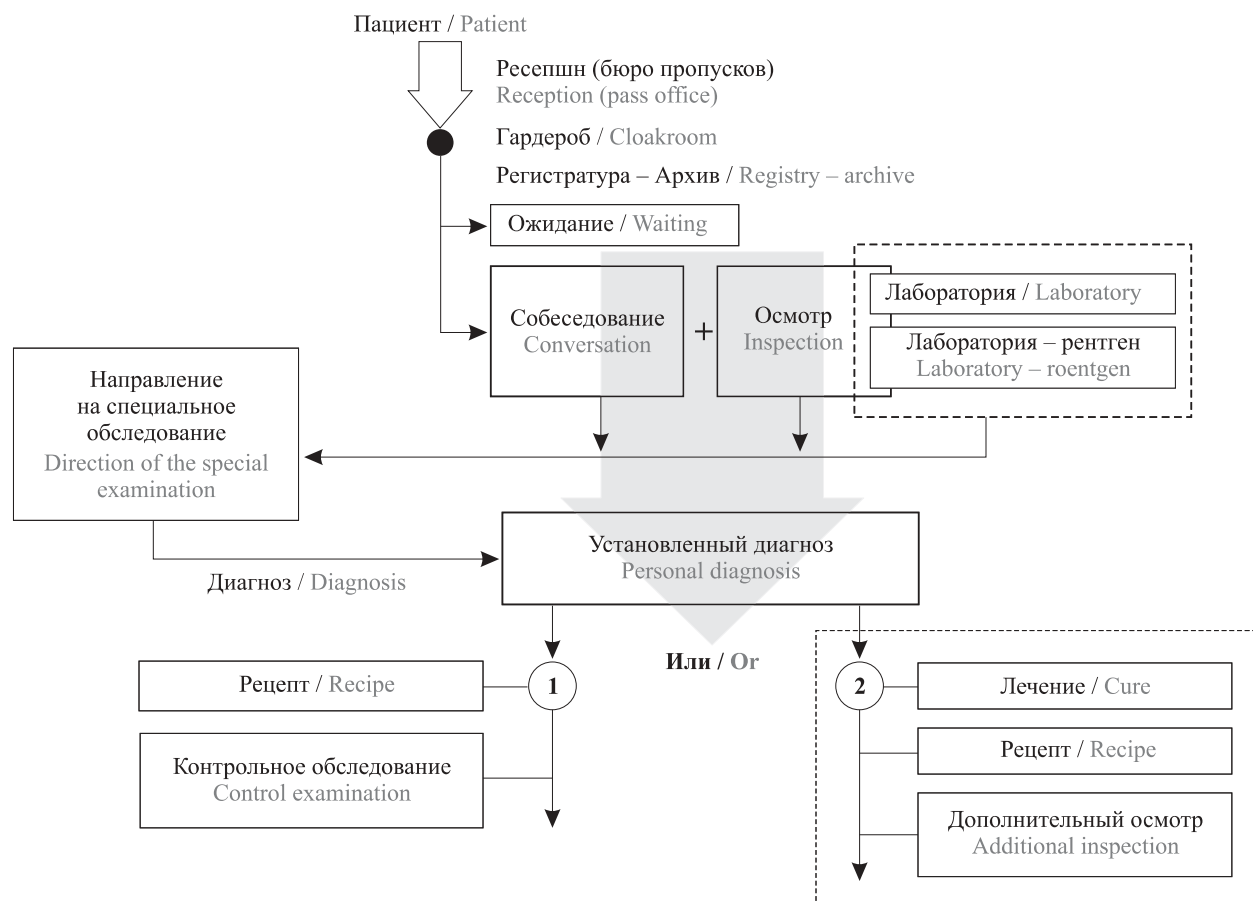


Рис. 1. Общая схема технологической взаимосвязи между помещениями подготовки результатов обследования человека и последовательности этапов его лечения: 1 — пациент, не требующий амбулаторного лечения; 2 — пациент, проходящий амбулаторное лечение

Fig. 1. The scheme of the technological relationship between the areas of training of survey results human and sequence of treatment: 1 — patient requiring outpatient treatment; 2 — patient to outpatient treatment

низации этих учреждений является то, что в них человек становится объектом, а не субъектом системы обслуживания. Поэтому в объемно-планировочных решениях зданий этих учреждений решающее значение приобретает организация целесообразной технологической взаимосвязи между помещениями подготовки результатов обследования человека и последовательности этапов его лечения. Общая схема такой технологической взаимосвязи приведена на рис. 1.

Вне зависимости от назначения здания и функционально-технологической организации процессов, происходящих в нем, Федеральный закон от 30.12.2009 г. № 384 “Технический регламент о безопасности зданий и сооружений” (далее — ФЗ № 384) [1] требует обеспечения безопасной эвакуации людей из зданий в случае пожара, обеспечения безопасности людей при опасных природных воздействиях, для чего может потребоваться проведение превентивной эвакуации, а при повседневной эксплуатации здания — организация комфортного движения людей. Естественно, что размеры коммуникационных путей здания, реализующих выпол-

нение этих требований, должны проектироваться исходя из физических возможностей использующих их людей (состава основного функционального контингента) и требований, удовлетворяющих критериям обеспечения безопасности эвакуации людей при любых условиях эксплуатации зданий, рассматриваемых ФЗ № 384 [1].

Цель и задачи исследования

Целью работы является изучение достаточности параметров нормирования коммуникационных путей в зданиях лечебных учреждений как одних из критериев беспрепятственной эвакуации людей из здания. В соответствии с поставленной целью исследования сформулированы следующие задачи: анализ критериев обеспечения безопасности эвакуации людей при любых условиях эксплуатации зданий, в частности анализ времени начала эвакуации, и обоснование необходимости использования лифтовых установок для эвакуации людей в начальной стадии развития пожара, а не только в условиях нормальной эксплуатации зданий.

Каковы же эти критерии?

В настоящее время наиболее широко известны из этих критериев являются критерии своевременной и беспрепятственной эвакуации в чрезвычайных условиях пожара:

$$t_{эв} \leq t_{бл}; \quad (1)$$

$$D_i \leq D \text{ при } \max q_j, \quad (2)$$

т. е. время эвакуации $t_{эв}$ на любом участке пути должно быть меньше времени его блокирования $t_{бл}$ опасными факторами пожара (ОФП), а плотность образующихся на них людских потоков

$$D = \sum N f_n / (b_i l_i) \quad (3)$$

не должна быть выше значения плотности при максимальной интенсивности движения ($\max q_j$) потока данного состава, перемещающегося по рассматриваемому j -му виду пути (горизонтальный, проем, лестница вниз, лестница вверх, пандус). Здесь N — количество людей, имеющих площадь горизонтальной проекции f_n ($\text{м}^2/\text{чел.}$), на участке, занимаемом потоком людей, шириной b_i (м) и длиной l_i (м).

Поскольку критерий (1) может выполняться только при условии

$$l_i / V_D \leq t_{бл}, \quad (4)$$

то очевидно, что плотность людского потока D_i на любом участке маршрута эвакуации людей должна быть такой, чтобы соответствующая ей скорость движения V_D была не менее $l_i / t_{бл}$, т. е. должно обеспечиваться выполнение условия

$$V_D \geq l_i / t_{бл}. \quad (5)$$

При невыполнении этого условия либо длина рассматриваемого участка должна быть сокращена до размера, требуемого условием (5), либо его ширина b_i должна быть увеличена, чтобы плотность потока на нем уменьшилась, а скорость движения потока, соответственно, увеличилась до значения, обеспечивающего выполнение условия (5), поскольку скорость движения потока по любому виду пути является функцией образующейся на ней плотности потока: $V_j = \varphi(D_i)$. Вид этой функции определяется [2] психофизическими закономерностями реакции людей на внешние воздействия [3, 4], которыми в данном случае являются плотность потока, вид пути и уровень эмоционального состояния людей при соответствующих условиях эксплуатации здания:

$$\bar{V}_{D,j}^э = \bar{V}_{0,j}^э \left(1 - a_j \ln \frac{D_i}{D_{0,j}} \right), \quad (6)$$

где $\bar{V}_{D,j}^э$ — вероятная величина скорости людей в эмоциональном состоянии при плотности потока D_i на участке j -го вида пути;

$\bar{V}_{0,j}^э$ — случайная величина индивидуальной скорости свободного движения (при отсутствии влияния окружающих людей), зависящая от вида пути j и уровня эмоционального состояния людей;

a_j — коэффициент, определяющий степень влияния плотности потока при движении по j -му виду пути;

D_i — текущее значение плотности потока;

$D_{0,j}$ — пороговое значение плотности потока на участке j -го вида пути, по достижении которого плотность становится фактором, влияющим на скорость движения.

Поскольку

$$q = DV, \quad (7)$$

значение D при $\max q_j$ определяется в той точке зависимости $q_{i,j} = D_i [\bar{V}_{0,j}^э (1 - a_j \ln D_i / D_{0,j})]$, в которой ее первая производная равна 0, т. е. по формуле [5, 6]:

$$D_{\max q} = e^{1/a_j - 1 + \ln D_{0,j}} = D_{0,j} e^{(1-a_j)/a_j}. \quad (8)$$

Формула (8) показывает, что плотность потока, при которой его интенсивность движения достигает максимального значения, остается постоянной при любом уровне эмоционального состояния рассматриваемого функционального состава людей, т. е. во всех рассматриваемых ситуациях эксплуатации зданий.

Критерии комфортности движения людей в общественных зданиях

Этот факт является исходным при использовании значений $D_{i,j}$ для характеристики уровня комфорта движения людей в каждой из этих ситуаций и для назначения геометрических размеров участков, соответствующих минимальному требуемому значению $D_{i,j}$. Обеспечение этого значения $D_{i,j}$ остается обязательным во всех ситуациях. Тогда, поскольку плотность людского потока, необходимая для комфортного передвижения людей, должна быть $D < 0,05$, а допустимая для беспрепятственной эвакуации в аварийных условиях — $D < 0,5$, то оказывается, что именно повседневные условия эксплуатации здания (а не условия экстренной ситуации) должны определять требуемую ширину эвакуационного пути. Тем не менее нормирование коммуникационных путей в общественных зданиях, исходя из требований комфорта при повседневном пребывании в них людей, остается без внимания: в строительных нормах и правилах по проектированию общественных зданий показатели комфорта движения отсутствуют, как, впрочем, и в пришедших на смену им сводах правил.

Представление о комфортности движения людей при различных значениях плотности потока дают классификации, приведенные в табл. 1 и 2.

Обобщение данных табл. 1 и 2 позволяет рекомендовать для общественных зданий классификацию, приведенную в табл. 3. При этом ширину уча-

стков пути движения людей следует назначать кратной 0,3 м.

Таким образом, для соблюдения критериев своевременной и беспрепятственной эвакуации людей ширина эвакуационных путей и выходов должна удовлетворять прежде всего требованиям обеспе-

Таблица 1. Классификация движения людей в интервалах плотности потоков [7]

Table 1. Classification of the movement of people in the intervals of density flows [7]

Интервал плотности, $\text{м}^2/\text{м}^2$ Interval density, m^2/m^2	0–0,05	0,05–0,15	0,15–0,4	0,4–0,7	0,7–0,9	0,9–1,0	1,0–1,15
Условия движения Movement conditions	Индивидуальное Individual	Поточное Stream					
	Свободное Stream	Свободное Stream	Без контактных помех Without contact interference	Контактные помехи Contact noise	С силовыми воздействиями With power impacts		
					Слитное Conjoint	Деформация тел Deformation of the bodies	Сдавливание тел Squeezing bodies

Таблица 2. Характеристики уровней комфортности

Table 2. Characteristics of levels of comfort

Окончание табл. 2

End of table 2

Плотность, чел./ м^2 Density, pers./ m^2	Уровень комфорта Comfort level	Расстояние l_0 между людьми, м Distance l_0 between people, m	Характеристика уровня Characteristics of the level
<i>Горизонтальная поверхность. Движение</i> <i>Horizontal surface. Movement</i>			
0,3	A	–	Свобода движения и выбора направлений Freedom of movement and choice of destinations
0,4	B	–	
0,7	C	–	Свобода движения и выбора направлений ограничена Freedom of movement and choice directions limited
1,1	D	–	Индивидуальная скорость движения ограничена. Поточное движение Individual speed limited. Flow movement
2,2	E	–	Частое изменение ритма движения. Движение с высокой скоростью только маневрированием Frequent change of rhythm of the movement. The high speed just maneuvering
Более 2,2 More 2.2	F	–	Частые неизбежные контакты с окружающими Frequent unavoidable contact with others

Плотность, чел./ м^2 Density, pers./ m^2	Уровень комфорта Comfort level	Расстояние l_0 между людьми, м Distance l_0 between people, m	Характеристика уровня Characteristics of the level
<i>Горизонтальная поверхность. Очередь, зона ожидания, скопление</i> <i>Horizontal surface. The queue, waiting area, accumulation</i>			
0,8	A	Свыше 1,2 More 1.2	Свободное движение в зоне ожидания Free movement in the waiting area
1,1	B	1,1–1,2	Ограниченное движение в зоне ожидания без контактов с окружающими Limited movement in the waiting area without contact with others
1,5	C	0,9–1,1	
3,6	D	0,6–0,9	Размещение без точечных контактов с окружающими невозможно With outpost contacts with others is not possible
5,4	E	Менее 0,5 Less 0.5	Размещение с частыми контактами Accommodation in frequent contact
Более 5,4 More 5.4	F	Физический контакт Physical contact	Тесный физический контакт с окружающими Close physical contact with others

Таблица 3. Характеристики уровней комфорта на путях движения и в зонах ожидания**Table 3.** Characteristics of the levels of comfort on lines of traffic and waiting areas

Уровень комфорта Comfort level	Характеристика уровней комфорта Characteristics of levels of comfort	Интервал плотности D , $\text{м}^2/\text{м}^2$ Interval of density D , $\text{м}^2/\text{м}^2$
А	Свободное индивидуальное движение без ограничения выбора направления Free individual movement is not limited to selecting the direction	До 0,05
Б	Свободное движение в потоке в общем направлении, обгон без контактных помех Free movement in the stream in the general direction, overtaking without contact interference	0,06–0,15
В	Стесненное движение без контактных помех, обгон с маневрированием при контактных помехах со стороны окружающих Constrained movement without contact interference with the overtaking maneuver when the contact interference from surrounding	0,15–0,40 (0,05–0,15)

чения комфортности движения при повседневной эксплуатации здания (уровень комфорта А). Будет ли она достаточна для выполнения их в чрезвычайных ситуациях, например при пожаре (уровень комфорта В), природных ЧС (допустимый уровень комфорта Б), зависит от схемы эвакуации людей в этих условиях и от их количества в образующихся при этом людских потоках.

Схемы коммуникационных путей в зданиях лечебных учреждений

Анализ объемно-планировочных решений зданий комплекса учреждений здравоохранения показывает, что из пяти сложившихся в многовековой практике архитектурно-строительного проектирования планировочных схем этажей зданий различного назначения (амфиладная, атриумная, зальная, коридорная, секционная) для них характерна коридорная схема. В этом случае расчетной эвакуационной схемой движения людских потоков является, как известно [8, 9], общая схема, приведенная на рис. 2,а. Эта схема корректна для эвакуации людей при пожаре с ее требуемой однонаправленностью движения и недопущением встречных и пересекающихся людских потоков. Для повседневных же условий эксплуатации зданий характерно образование встречных и пересекающихся людских потоков (рис. 2,б).

Как известно [10], образование встречных потоков требует увеличения ширины коммуникационных путей на 15 %. В зоне же пересечения людских потоков их плотность не должна превосходить 0,2 [11–13].

При слиянии людских потоков (рис. 3) в условиях, когда комфорт движения не контролируется, допускается интенсивность движения

$$q_{n+1} = \frac{\sum q_n \delta_n}{\delta_{n+1}} \leq q \text{ при } D = 0,5, \quad (9)$$

где q — интенсивность движения, м/мин;

δ_n — ширина n -го участка пути, м;

δ_{n+1} — ширина участка пути, следующего за n -м участком.

Какую же расчетную величину плотности людских потоков при их слиянии следует считать допустимой, чтобы требования комфорта движения были обеспечены? Ответ на этот вопрос особенно актуален для зданий лечебных учреждений, в которых находится большое число маломобильных людей. В зданиях же учреждений охраны материнства и детства практически большинство посетителей относится к маломобильным группам населения, причем среди них значительную часть составляют беременные женщины. Эти особенности состава людских потоков в зданиях учреждений охраны материнства и детства выделяют их в особую категорию.

Для определения необходимой площади коммуникационных путей с учетом организации комфортного движения необходимо знать количество людей, которые могут одновременно воспользоваться ими в том и другом случае (формула (9) демонстрирует это особенно наглядно). Для этого требуется установить количество людей, находящихся в помещениях различного назначения в разные часы суток. На примере зданий комплекса учреждений охраны материнства и детства наиболее ярко видно, что с этой точки зрения помещения могут подразделяться на помещения с постоянным (круглосуточным) пребыванием в них людей (палаты для рожениц, палаты для новорожденных детей) и помещения, эксплуатируемые только в течение рабочего дня.

В помещениях, эксплуатируемых в течение рабочего дня, может быть постоянный или переменный состав находящихся в них людей. В первом случае, например в лабораториях, административно-хозяйственных помещениях, это — служащие, во втором, например в кабинетах врачей, помещениях ожидания при регистратуре, — посетители. Противопожарные нормы не учитывают этого аспекта эксплуатации помещений без постоянного состава пребы-

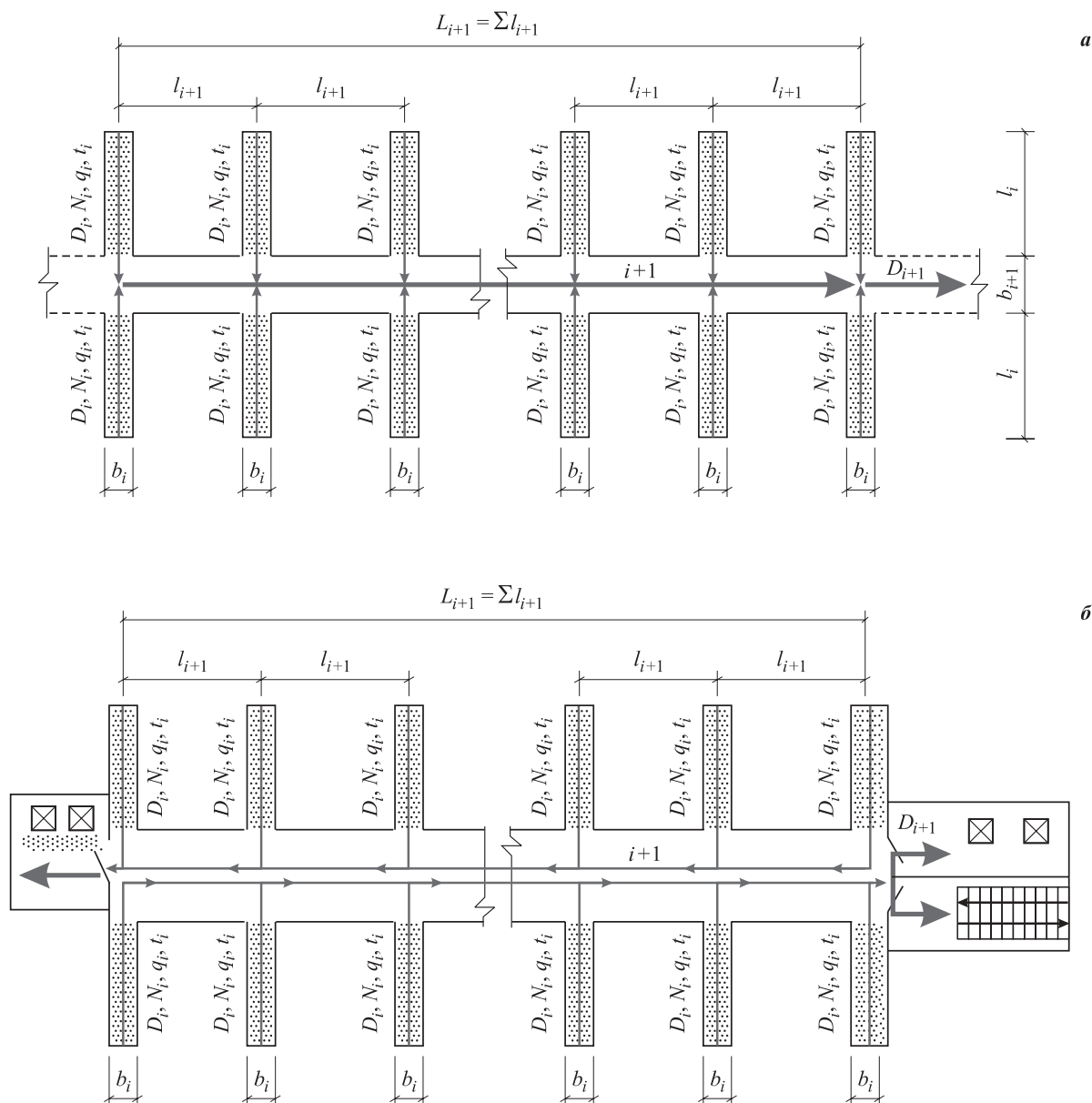


Рис. 2. Общая расчетная схема эвакуационных путей в чрезвычайных ситуациях (а) и при обычных условиях эксплуатации (б)
Fig. 2. General design diagram of evacuation routes in case of an emergency (a) and under normal operating conditions (b)

вающих в них людей. При определении расчетного количества эвакуирующихся из таких помещений людей нормы исходят из минимальной расчетной площади на одного, постоянно находящегося в них человека, устанавливаемой технологическими нормами организации рабочего места сотрудника. Так, например, МГСН 4.19–2005 “Временные нормы и правила проектирования многофункциональных высотных зданий и зданий-комплексов в городе Москве” потребовали увеличения на 25 % расчетного количества людей, находящихся в офисных помещениях. Очевидно, что во всех подобных случаях необходим учет временной динамики потоков людей, посещающих здания и помещения различного назначения в течение суток [14, 15].

На это очевидное положение приходится обращать внимание, поскольку противопожарное нормирование никогда не указывает расчетного времени наиболее вероятного возникновения пожара. Между тем для зданий учреждений здравоохранения, особенно комплекса зданий учреждений охраны материнства и детства, этот аспект приобретает актуальное значение. Здесь для здания с палатами для рожениц и только что родившихся детей (родильные отделения) наиболее опасным периодом возникновения пожара является ночное время, а для зданий, эксплуатируемых только в течение рабочего дня, — дневное время, т. е. период их максимального посещения. В то же время для зданий с родильными отделениями может потребоваться организация превентивной эвакуации в дневное время, что про-

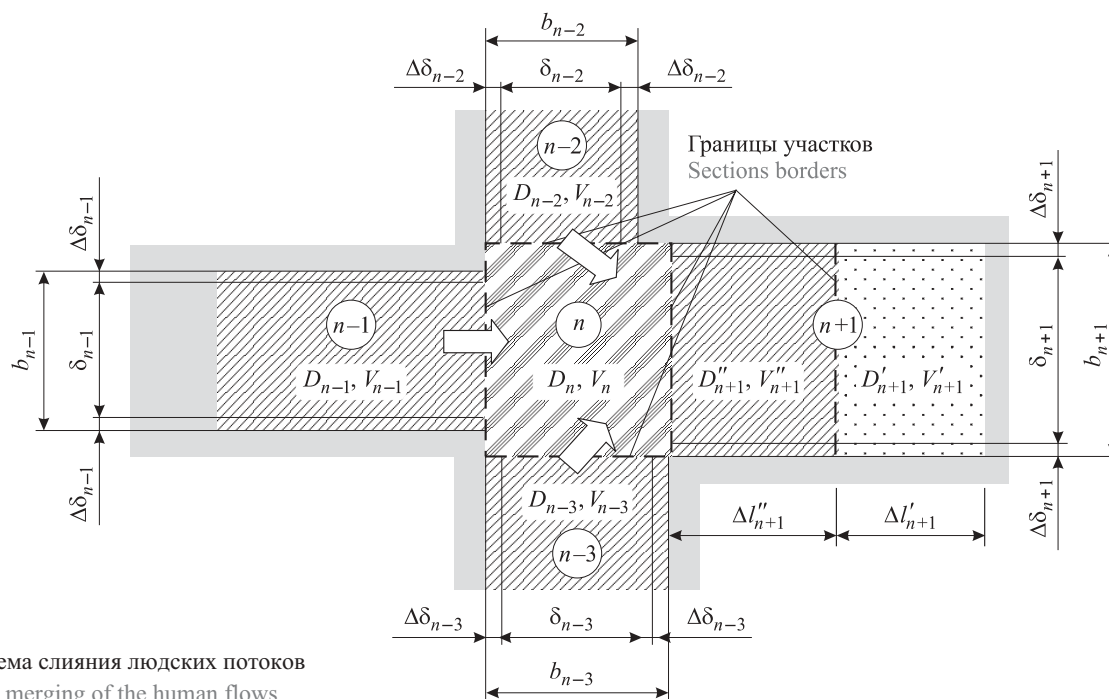


Рис. 3. Схема слияния людских потоков
Fig. 3. The merging of the human flows

тивопожарным нормированием никогда прежде не предусматривалось.

Для построения графиков суточной динамики людских потоков в зданиях лечебных учреждений могут использоваться данные существующих специализированных пособий для проектирования и данные нормативно-технических документов, но для их надлежащей достоверности, особенно учитывая последствия проводящихся мероприятий по совершенствованию системы здравоохранения, целесообразно провести мониторинг их посещаемости.

Установленное расчетное количество эвакуирующихся людей и их распределение по помещениям различного функционального назначения являются исходными данными для любой из моделей людских потоков, поскольку они определяют их кинематику при любом из режимов использования коммуникационных путей. Наиболее простые кинематические соотношения изменения параметров людских потоков на последовательно расположенных участках коммуникационных (эвакуационных) путей описываются, как показал анализ [16–18], упрощенной аналитической моделью [19], построенной по данным научных исследований, широко используемых в учебной литературе. Однако эта модель не позволяет получить количество людей N_1 на первом участке — участке формирования людского потока по формуле, определяющей его плотность D_1 на этом участке в момент t_i :

$$D_1 = N_1 / (b_1 l_1), \quad (10)$$

где b_1, l_1 — ширина и длина участка формирования людского потока, м.

Причина этого простая: при разработке СНиП II-2-80 “Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений”, откуда была заимствована эта формула, время начала эвакуации людей не учитывалось.

Процесс начала эвакуации людей из зданий лечебных учреждений

Введение в ГОСТ 12.1.004-91 “Пожарная безопасность. Общие требования” времени начала эвакуации $t_{нэ}$ как интервала времени с момента возникновения пожара до момента, когда каждый из людей начинает движение к выходу из помещения, в котором он находится, поставило вопрос о закономерностях формирования этой случайной величины [20]. Отечественными исследованиями показано, что возможно нормальное или логарифмически нормальное и равномерное [20–23] распределение плотности вероятности этой величины. Выдвинута гипотеза о психофизической обусловленности изменения ее наблюдаемых законов распределения и приводятся данные [20], подтверждающие эту гипотезу. Однако данные о распределении времени начала эвакуации людей из помещений учреждений здравоохранения отсутствуют, и для их установления предстоит провести обширные натурные наблюдения, что сопряжено с большими организационными трудностями.

Вполне понятно, что интервал времени подготовки людей к началу эвакуационного движения (если понимать эвакуацию как освобождение помещений здания от находящихся в них людей) будет зависеть от режима эксплуатации здания. В нормальных (повседневных) условиях $t_{нэ}$ — это время выхода

людей из помещений после окончания рабочего дня. Распределение же времени подготовки людей к превентивной эвакуации трудно предугадать, поскольку необходимые для этого данные натурных наблюдений отсутствуют. Достаточно очевидно, что продолжительность этого интервала для таких условий будет зависеть прежде всего от управления организацией эвакуации, которое в настоящее время не предусматривается никакими нормативными документами. Учитывая результаты исследований этой случайной величины в зданиях других классов функциональной пожарной опасности, можно обоснованно ожидать, что и в зданиях учреждений здравоохранения она будет иметь распределение, подобное приведенному на рис. 4. Как видно, время начала эвакуации $t_{нэ}$ формируется в два этапа:

$$t_{нэ} = t_0 + t_{п}, \quad (11)$$

где t_0 — продолжительность этапа приема человеком сообщения о возникновении пожара, мин;
 $t_{п}$ — продолжительность этапа подготовки человека к началу движения к эвакуационному выходу из помещения, мин; $t_{п} = \max(t_{нэ} - t_0)$.

Значение t_0 зависит от типа системы оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре (СОУЭ), которой оборудовано помещение, и психофизиологического состояния находящихся в нем людей.

Представляется естественным, что при расчетах (моделировании) процесса эвакуации расчетное значение $t_{нэ}$ должно приниматься равным $\max t_{нэ}$, поскольку это значение момента времени, в который начал движение к эвакуационному выходу последний из находящихся в помещении людей. Поэтому совершенно неестественно, когда при расчетах пожарного риска обнаруживается, что значение $t_{нэ}$ для всех людей не только в одном, но даже и в соседних

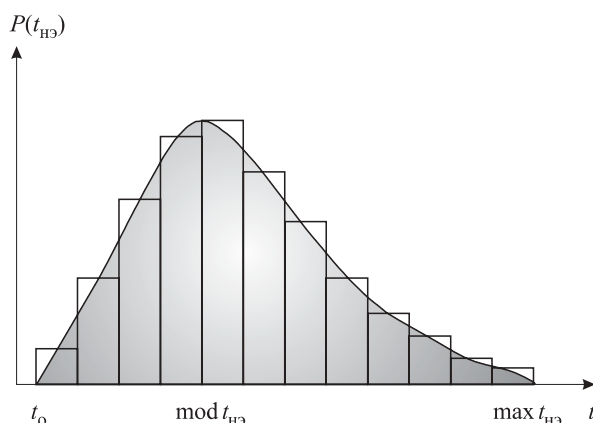


Рис. 4. Ожидаемый вид распределения случайной величины времени начала эвакуации в зданиях комплекса лечебно-профилактических учреждений

Fig. 4. The expected distribution of a random variable of start time of evacuation in buildings of medical institutions

помещениях принято одинаковым (все ждут последнего!). Однако такое поведение противостоит для не связанных между собой людей. Оно противоречит и смыслу распределения, представленного на рис. 4: оно показывает вероятный процент людей, которые начинают эвакуироваться в каждый из интервалов времени $t_{нэ} - t_0$.

Для упрощения расчетов можно заменить сложное распределение случайной величины соответствующим ему равномерным распределением. Тогда количество людей N_{ii} , начинающих эвакуироваться в каждую минуту периода времени начала эвакуации, определится соотношением

$$N_{ii} = N/(t_{нэ} - t_0). \quad (12)$$

Следовательно, и плотность людского потока на участке формирования, определяемая по формуле (10), уменьшится пропорционально количеству одновременно выходящих на него людей. Меньшая плотность людского потока на участке формирования ведет к соответствующему увеличению скорости V_1 и снижению интенсивности движения по нему q_1 , а это, в свою очередь, в соответствии с (9) — к изменению параметров движения по коридору, где сливаются потоки из помещений (см. рис. 2), к снижению их величины $P_{ij} = q_{n+1} \delta_{n+1}$ (где P_{ij} — величина людского потока).

При эвакуации в условиях приближающихся природных катаклизмов или в повседневных условиях эксплуатации зданий существует период времени подготовки людей к началу эвакуации, аналогичный времени начала эвакуации при пожаре. Его можно назвать временем подготовки к выходу $t_{пв}$. Этот период значительно больше времени начала эвакуации при пожаре. При приближающихся природных катаклизмах его отсчет начинается с момента подачи сигнала о необходимости эвакуироваться (например, в повседневных условиях — сигнала об окончании рабочего дня). Поскольку $t_{пв} < t_{нэ}$, количество людей, выходящих в единицу времени на участок формирования людского потока, будет гораздо меньше, чем определенное по формуле (12). Соответственно, снизится и значение плотности потока на участке формирования. При этом следует учитывать, что при этих условиях и уровень эмоционального состояния людей будет иной, чем в чрезвычайной ситуации пожара. Соответственно, будет иной и категория свободного движения людей в потоке. Можно считать, что при превентивной эвакуации во время приближающегося природного бедствия это будет активное движение — $\bar{V}_{0,j}^3 = 80$ м/мин (при движении по горизонтальному пути и по лестнице вниз взрослых здоровых людей), а в повседневных условиях — $\bar{V}_{0,j}^3 = 60$ м/мин. В этих усло-

виях люди других групп мобильности будут иметь более низкие скорости движения.

Таким образом, выясняется, что методологическая некорректность учета времени начала эвакуации приводит к принципиальным ошибкам в оценке параметров движения людских потоков при определении расчетного времени эвакуации $t_{р.эв}$ и их соответствия как критериям своевременности и беспрепятственности эвакуации при пожаре, так и условиям обеспечения комфортности движения людей в иных условиях эксплуатации зданий.

Для немобильных людей, т. е. людей, лишенных возможности самостоятельного передвижения, время начала эвакуации (фактически время начала спасения) теснейшим образом переплетается с временем их транспортировки тем или иным способом (на носилках, на руках, на кроватях и т. п.) и определяется главным образом численностью персонала. Для решения этой задачи были получены соответствующие аналитические выражения [23–25]. В связи с этим возникает вопрос о количестве людей разной степени мобильности в помещениях различного назначения в зданиях комплекса лечебно-профилактических учреждений, поскольку в составе помещений зданий лечебных учреждений (в частности, зданий учреждений охраны материнства и детства) есть помещения, основной функциональный контингент которых не может эвакуироваться самостоятельно. Это — палаты новорожденных, операционные. Их эвакуация, осуществляемая при помощи персонала, превращается фактически в спасение. Данных о мобильности пациентов в различных подразделениях лечебных учреждений в нормативно-технических документах противопожарного нормирования в настоящее время не обнаруживается. Представление о них может быть получено по результатам одного из обследований, проведенного в подразделениях комплекса зданий Московского областного научно-исследовательского клинического института им. М. Ф. Владимирского (табл. 4).

Однако наиболее опасным для людей, даже при эксплуатации зданий в нормальных условиях, оказывается движение по лестницам. Так, давно известно [21], что “по американским данным, в результате несчастных случаев на лестницах примерно 800 тыс. человек получают травмы и повреждения, требующие стационарного лечения. В 1978 г. в таких инцидентах погибли около 3000 человек. Кроме того, отмечены цифры порядка 1,8–2,66 млн. травм и повреждений более легкого характера, потребовавших только амбулаторного лечения. В США ежегодный ущерб от несчастных случаев на лестницах оценивается примерно в 2 млрд. долларов”.

При спуске по лестнице человек должен видеть расположенную ниже ступень, чтобы не оступить-

ся и не упасть, соскользнув по ней. При высокой плотности потока нижняя ступень занята человеком, тело которого для поддержания равновесия к тому же несколько отклонено назад, поэтому человек на вышерасположенной ступени снижает скорость своего движения. При подъеме по лестнице опасения упасть, соскользнув по ступени, у человека не возникает [26]. Поэтому в определенном интервале плотности скорость движения людей по лестнице вниз становится ниже, чем по лестнице вверх, несмотря на то что движение по лестнице вниз требует меньших энергетических затрат по сравнению с движением вверх (см., например, данные *J. J. Fruin* [27]).

Опасение упасть на лестнице усиливается у людей с ограниченными физическими возможностями. Удивительный феномен проявления боязни упасть при движении по лестнице вниз был зафиксирован при кинонаблюдении тренировочной эвакуации в одном из зданий ГБУЗ МО МОНИКИ им. М. Ф. Владимирского. На рис. 5 представлены кадры спуска по лестнице одной из посетительниц этого учреждения, повернувшейся спиной к направлению общего движения вниз по лестнице.

Эти кадры наглядно свидетельствуют о необходимости использования механических средств внутреннего транспорта (лифтов и эскалаторов) не только в условиях повседневной эксплуатации здания, но и при возникновении чрезвычайных ситуаций, в том числе пожара. Однако до недавнего времени противопожарным нормированием использование лифтов для эвакуации людей во время пожара было запрещено. Научными же исследованиями [28, 29] еще в конце 60-х годов прошлого века установлена необходимость создания условий “для проведения поэтапной эвакуации с использованием механических средств внутреннего транспорта и вертикальных коммуникаций для пешеходного движения” [29]. Было показано, что для этого необходимо формирование транспортно-коммуникационного узла и зоны безопасности, которая “должна быть организована в пределах этажа и иметь достаточно большую площадь” [29]. Этот вопрос неоднократно поднимался и в последующие годы [30, 31], однако потребовалось более 30 лет, чтобы впервые реализовать эти положения в нормировании при очевидной невозможности без их соблюдения обеспечить доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения.

Наконец-то, в редакции от 10.07.2012 г. Федерального закона № 123 “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности” в ст. 89 появился п. 15: “Для эвакуации со всех этажей зданий групп населения с ограниченными возможностями передвижения допускается предусматривать на этажах вблизи лифтов, предназначенных для групп

Таблица 4. Состав пациентов различных групп мобильности в отделениях ГБУЗ МО МОНИКИ им. М. Ф. Владимирского
Table 4. The composition of patients of various mobility groups in the offices of GBUZ MO MONIKI by M. F. Vladimirskiy

Отделение The branch	Количество пациентов различных групп мобильности The number of patients of various groups of mobility							Дети с родственниками Children with relatives	Дети без родственников Children without relatives	Общее количество пациентов The total number of patients
	нормальной / normal	пониженной / reduced	на креслах-колясках wheel chairs	на дополнительных опорах additional support		Неспособные к самостоятельной эвакуации, транспортируемые Not able to independently evacuate				
				одной one	двух two	на носилках on a stretcher	с помощью специальных медицинских средств from special medical funds			
ЛОП ENT Specialist	18	22	1	2	—	—	—	8	4	55
Урологическое Urological	18	21	—	3	—	3	—	—	—	49
Детская хирургия Pediatric Surgery	—	—	—	—	—	—	—	27	12	39
Сосудистая хирургия Vascular Surgery	3	21	2	1	—	—	—	—	—	27
Абдоминальная хирургия Abdominal Surgery	13	11	4	1	—	4	—	—	—	33
Эндокринная хирургия Endocrine Surgery	8	10	1	1	—	2	—	—	—	22
Торакальная хирургия Thoracic Surgery	8	2	1	1	1	3	2	—	—	17
Кардиохирургия Cardiac Surgery	15	28	2	1	—	—	—	7	—	53
Взрослая реанимация № 1 Adult Intensive Care No. 1	—	—	—	—	—	1	3	—	—	4/12
Офтальмология Ophthalmology	18	38	—	2	—	—	—	2	3	63
Травматология Traumatology	7	—	1	—	38	1	—	—	—	47
Терапевтическое отделение № 2 Therapeutic Department No. 2	2	26	4	—	—	—	—	—	—	32
Нейрохирургия Neurosurgery	8	11	4	—	—	15	—	—	—	38
Неврология Neurology	16	22	5	1	1	2	—	—	—	47
Радиология Radiology	29	76	1	—	—	—	—	—	—	105
Трансплантации и диализа Transplantation and Dialysis	19	11	2	—	—	1	—	—	—	30
Педиатрическое Pediatric	—	—	—	—	—	—	—	6	24	30

населения с ограниченными возможностями передвижения, и (или) на лестничных клетках устройство безопасных зон, в которых они могут находиться до прибытия спасательных подразделений. При

этом к указанным лифтам предъявляются такие же требования, как к лифтам для транспортировки подразделений пожарной охраны. Такие лифты могут использоваться для эвакуации групп населения с

а



б



Рис. 5. Спуск женщины спиной по лестнице вниз: *а* — с 5-го на 4-й этаж и далее; *б* — с 3-го на 2-й этаж
Fig. 5. Descent women back at the stairs down to: *a* — from 5th to 4th floor and then; *b* — from the 3rd to the 2nd floor

ограниченными возможностями передвижения во время пожара”. Однако недостаточно четкая редакция этого пункта допускает, как показывает практика, его казуистическое толкование, которое позволяет представителям противопожарной инспекции и сегодня считать недопустимым использование лифтов для эвакуации людей во время пожара [32].

Складывается парадоксальная ситуация. При стремлении обеспечить доступность и комфорт искусственной среды зданий лечебных учреждений для людей с ограниченными физическими возможностями используются лифты, дающие им возможность посещать помещения, расположенные на этажах выше первого. В период же наибольшей для них опасности, например во время пожара, самостоятельно пользоваться лифтом им запрещается, в результате чего лифт превращается в дверцу пожарной ловушки для людей с ограниченными физическими возможностями передвижения.

Вывод

В объемно-планировочных решениях зданий учреждений охраны материнства и детства решающее значение приобретает организация целесообразной

технологической взаимосвязи между помещениями подготовки результатов обследования человека и последовательности этапов его лечения. Размеры коммуникационных путей здания, реализующих выполнение требований комфортного движения людей, а также безопасной эвакуации их в случае пожара, должны проектироваться исходя из физических возможностей этих людей (состава основного функционального контингента) и требований, удовлетворяющих критериям обеспечения безопасности их эвакуации при любых условиях эксплуатации зданий. Поскольку плотность людского потока, необходимая для комфортного передвижения людей, должна быть $D < 0,05$, а допустимая для беспрепятственной эвакуации в аварийных условиях — $D < 0,5$, то оказывается, что требуемую ширину эвакуационного пути должны определять повседневные условия эксплуатации здания, а не условия экстренной ситуации.

Для немобильных людей, т. е. людей, лишенных возможности самостоятельного передвижения, время начала эвакуации (фактически время начала спасения) теснейшим образом переплетается с временем их транспортировки тем или иным способом (на носилках, на руках, на кроватях и т. п.) и опреде-

ляется главным образом численностью персонала. Поэтому возникает вопрос о количестве людей различной степени мобильности в помещениях различного назначения в зданиях комплекса лечебно-профилактических учреждений, поскольку в составе помещений зданий лечебных учреждений (в частности, зданий учреждений охраны материнства и детства) есть помещения, основной функциональный контингент которых не может эвакуироваться самостоятельно. Это — палаты новорожденных, операционные. Их эвакуация, осуществляемая при помощи персонала, превращается фактически в спасение.

Результаты тренировочных эвакуаций из зданий лечебных учреждений показывают крайне ограниченные возможности успешной самостоятельной эвакуации людей с ограниченными (по различным причинам) физическими возможностями и необходимость проведения большого объема спасательных мероприятий персоналом для обеспечения безопас-

ности людей, неспособных эвакуироваться самостоятельно.

Эти результаты диктуют практическую необходимость использования лифтовых установок для эвакуации людей в начале пожара, а не только в условиях нормальной эксплуатации зданий. Это актуализирует разработку лифтов для самостоятельного использования людьми во время пожара с пожарнотехническими характеристиками, эквивалентными лифтам для перевозки пожарных подразделений.

Современное направление мероприятий по повышению пожаробезопасности зданий лечебных учреждений, как и зданий других классов функциональной пожарной опасности, связано с разработкой современных автоматических систем пожаротушения и противопожарной защиты [33], позволяющих увеличить время безопасного пребывания людей с ограничениями физических возможностей любой степени, количество которых во всем мире в последние десятилетия резко возрастает [34–37].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений : Федер. закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ (ред. от 02.07.2013). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_95720/ (дата обращения: 26.08.2017).
2. Холщевников В. В. Закономерности связи между параметрами людских потоков : диплом № 24-S на открытие в области социальной психологии. — М. : Российская академия естественных наук, Международная академия авторов научных открытий и изобретений, Международная ассоциация авторов научных открытий, 2005.
3. Fechner G. Th. Elemente der psychophysik. — Zweite Auflagen. — Leipzig : Breitkopf und Härtel, 1889. — 378 s. (in Germany).
4. Забродин Ю. М., Лебедев А. Н. Психофизиология и психофизика. — М. : Наука. 1977. — 288 с.
5. Холщевников В. В. Людские потоки в зданиях, сооружениях и на территории их комплексов : дис. ... д-ра техн. наук. — М. : МИСИ, 1983. — 486 с.
6. Холщевников В. В. Исследования людских потоков и методология нормирования эвакуации людей из зданий при пожаре. — М. : МИПБ МВД РФ, 1999. — 93 с.
7. Предтеченский В. М., Милинский А. И. Проектирование зданий с учетом организации движения людских потоков : учебное пособие для вузов. — 2-е изд., доп. и перераб. — М. : Стройиздат, 1979. — 375 с.
8. Архитектура гражданских и промышленных зданий. Гражданские здания : учебник для вузов / Под общ. ред. А. В. Захарова. — М. : Стройиздат, 1993. — 509 с.
9. Kholshchevnikov V. V. Forecast of human behavior during fire evacuation // Emergency evacuation of people from buildings : Proceedings of International Scientific and Technical Conference. — Poland, Warsaw, 2011. — P. 139–153.
10. Kholshchevnikov V., Serkov B., Kosatchev A., Samoshin D. Psychophysical relation laws for pedestrian flows parameters // Human Behaviour in Fire : Proceedings of 5th International Symposium. — 19–21 September 2012, UK, Cambridge. — P. 49–62.
11. Григорьянц Р. Г. Исследование движения длительно существующих людских потоков : дис. ... канд. техн. наук. — М. : МИСИ, 1971. — 195 с.
12. Гвоздяков В. С. Закономерности движения людских потоков в транспортно-коммуникационных сооружениях : дис. ... канд. техн. наук. — М. : МИСИ, 1978. — 211 с.
13. Kholshchevnikov V., Samoshin D., Istratov R. The problems of elderly people safe evacuation from senior citizen health care buildings in case of fire // Human Behaviour in Fire : Proceedings of 5th International Symposium. — 19–21 September 2012, UK, Cambridge. — P. 587–593. URL: http://www.fireevacuation.ru/files/Paper_Samoshin_Elderly.pdf (дата обращения: 05.09.2017).

14. *Kosachev A. A., Karpov A. V., Ushakov D. V., Kholshevnikov V. V., Samoshin D. A.* Simulation of people evacuation for fire risk assessment // 8th International Conference “FIRECO 2009”. — Slovak Republic, Trenčín, 2009. — 23 p. URL: http://www.fireevacuation.ru/Archive_En/Slovakia.pdf (дата обращения: 05.09.2017).
15. *Буга П. Г.* Исследование пешеходного движения в городах : дис. ... канд. техн. наук. — М. : МИСИ, 1973. — 154 с.
16. *Kholshevnikov V. V., Shields T. J., Samoshyn D. A., Galushka M. M.* Retrospective review of research on pedestrian flows modelling in Russia and perspectives of its development // Proceedings of the Fourth International Seminar on Fire and Explosion Hazards. — Londonderry, UK : University of Ulster, 2003. — P. 907–916.
17. *Kholshevnikov V. V., Samoshin D. A.* Parameters of pedestrian flow for modeling purposes // Pedestrian and Evacuation Dynamics 2008 / Klingsch W., Rogsch C., Schadschneider A., Schreckenberg M. (eds). — Berlin, Heidelberg : Springer, 2010. — P. 157–170. DOI: 10.1007/978-3-642-04504-2_12.
18. *Kholshevnikov V. V., Samoshin D. A.* Modeling and reality of evacuation process // Proceedings of 13th International Conference “Interflam 2013”. — London, UK : Royal Holloway College, University of London, 2013. — P. 509–514. URL: http://www.fireevacuation.ru/files/Interflam2013/InterFlam_2013_Samoshin_paper.pdf (дата обращения: 03.09.2017).
19. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности : приказ МЧС России от 30.06.2009 № 382 (с изм. на 02.12.2015). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902167776> (дата обращения: 05.09.2017).
20. *Холицевников В. В., Присадков В. И., Костерин И. В.* Совершенствование методологии определения расчетных величин пожарного риска в зданиях и сооружениях на основе стохастического описания определяющих их процессов и деревьев событий // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2017. — Т. 26, № 1. — С. 5–17. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.01.5-17.
21. *Самошин Д. А., Холицевников В. В.* Проблемы нормирования времени начала эвакуации // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2016. — Т. 25, № 5. — С. 37–51. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.05.37-51.
22. *Holshevnikov V. V.* Experimental researches of pedestrian flows moving along staircase of a multi-storey building // International Journal of Applied Engineering Research. — 2015. — Vol. 10, No. 21. — P. 42549–42552.
23. *Парфененко А. П.* Нормирование требований пожарной безопасности к эвакуационным путям и выходам в зданиях детских дошкольных образовательных учреждений : дис. ... канд. техн. наук. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2012. — 153 с.
24. *Истратов Р. Н.* Исследование возможностей спасения при пожаре немобильных людей из стационаров лечебно-профилактических и социальных учреждений // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2014. — Т. 23, № 6. — С. 54–63.
25. *Истратов Р. Н.* Нормирование требований пожарной безопасности к эвакуационным путям и выходам в стационарах социальных учреждений по обслуживанию граждан пожилого возраста : дис. ... канд. техн. наук. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2014. — 160 с.
26. *Pauls J. L.* Building evacuation: research findings and recommendations // Fires and human behaviour / Canter D. (ed.). — New York : John Wiley & Sons, 1980. — P. 251–275.
27. *Fruin J. J.* Pedestrian planning and design. — New York : Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners, Inc., 1971. — 206 p.
28. *Предтеченский В. М., Холицевников В. В.* Психология движения людских потоков и архитектурная композиция // Архитектурная композиция / Под общ. ред. Л. И. Кириллова. — М. : Стройиздат, 1970. — С. 79–82.
29. *Великовский Л. Б., Холицевников В. В.* Вопросы эвакуации из высотных зданий // Архитектура СССР. — 1969. — № 1. — С. 46–49.
30. *Холицевников В. В.* Оптимизация путей движения людских потоков. Высотные здания : дис. ... канд. техн. наук. — М. : МИСИ, 1969. — 251 с.
31. *Холицевников В. В., Самошин Д. А.* Безопасность эвакуации людей из высотных зданий и требования ее обеспечения в МГСН 4.19–2005 // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2006. — Т. 15, № 3. — С. 62–66.
32. *Холицевников В. В., Самошин Д. А.* Нормирование безопасной эвакуации людей из высотных зданий // Промышленное и гражданское строительство. — 2007. — № 2. — С. 50–52.

33. СП 59.13330.2016. Доступность зданий для маломобильных групп населения. Актуализированная редакция СНиП 35-01-2001. — Введ. 15.05.2017. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456033921> (дата обращения: 26.06.2017).
34. Холщевников В. В., Серков Б. Б. Значимость автоматических систем противопожарной защиты для обеспечения безопасности людей в высотных зданиях // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2017. — Т. 26, № 9. — С. 44–53. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.09.44-53.
35. World Population Ageing 2013 / Department of Economic and Social Affairs Population Division. Working Paper No. ST/ESA/SER.A/348. — New York : United Nations, 2013. URL: <http://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/ageing/WorldPopulationAgeing2013.pdf> (дата обращения: 04.08.2017).
36. World Population Prospects: The 2012 Revision. Highlights and Advance Tables / Department of Economic and Social Affairs Population Division. Working Paper No. ESA/P/WP.228. — New York : United Nations, 2013. URL: <http://stadtteilagenten.de/wp-content/uploads/2013/08/World-Population-Prospects-The-2012-Revision-Highlights-and-Advance-Tables.pdf> (дата обращения: 04.08.2017).
37. OECD. Obesity Update 2012. URL: <http://www.oecd.org/health/49716427.pdf> (дата обращения: 04.08.2017).

Материал поступил в редакцию 10 сентября 2017 г.

Для цитирования: Зосимова О. С., Семин А. А., Корольченко Д. А. Концепции и реалии нормирования коммуникационных путей в зданиях лечебных учреждений // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2017. — Т. 26, № 11. — С. 64–80. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.11.64-80.

English

CONCEPTS AND REALITIES OF RATIONING OF COMMUNICATION PATHS IN THE BUILDINGS OF MEDICAL INSTITUTIONS

ZOSIMOVA O. S., Postgraduate Student, Chair of Integrated Safety in Construction, National Research Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail: cheptsovaos@mail.ru)

SEMIN A. A., Head of Fire Safety Department, Moscow Regional Scientific Research Clinical Institute by M. F. Vladimirskiy (Shchepkina St., 61/2, build. 1, Moscow, 129110, Russian Federation)

KOROLCHENKO D. A., Head of Chair of Integrated Safety in Construction, National Research Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation)

ABSTRACT

Ensuring the implementation in the projection of numerical values the established safety criteria for people when they are evacuated from health facilities in a fire, during natural emergencies and during daily operation requires a careful analysis of the process of formation of human flows on the original sections of the communication paths of the floor and their further movement. At the same time, it is necessary to eliminate the erroneous interpretation technique of time of the beginning of the evacuation as the moment of simultaneous evacuation of people from the premises, because it leads to an inappropriate reality of overestimating the amount of flows, which does not allow to analyze the fulfillment of safety criteria. This analysis should be carried out taking into account the physical capabilities of people in the buildings of medical institutions and the changes of their emotional state in accordance with the situation.

The results of training evacuations from the buildings of medical institutions show extremely limited opportunities for the successful independent evacuation of people with limited physical capabilities (for various reasons) and the necessity of conducting of a large amount of rescue activities by personnel to ensure the safety of people who are unable to evacuate on their own.

These results dictate the practical necessity of using elevator systems for evacuation of people at the beginning of a fire, and not only in the normal operation of buildings. This actualizes the de-

velopment of elevators for independent use by people during a fire with fire-technical characteristics equivalent to elevators for transportation of fire departments.

The modern direction of measures, which are increase the fire safety of buildings of medical institutions as editions of other classes of functional fire danger, is connected with the development of modern automatic fire extinguishing and fire protection systems, allowing to increase the time of safe stay of people with any degree of restriction of their physical capabilities, the number of which in recent decades has increased dramatically in the whole world.

Keywords: communication paths; emergency; evacuation; security; human flow; immobile population groups; medical institutions.

REFERENCES

1. *Technical regulations for safety of buildings and constructions*. Federal Law on 30.12.2009 No. 384 (in Russian). Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_95720/ (Accessed 26 August 2017).
2. Kholshchevnikov V. V. *Regularities of connection between parameters of human flows: diploma No. 24-S on discovery in the field of social psychology*. Moscow, Russian Academy of Natural Sciences, International Academy of Authors of Scientific Discoveries and Inventions, International Association of Authors of Scientific Discoveries, 2005 (in Russian).
3. Fechner G. Th. *Elemente der psychophysik*. Zweite Auflagen. Leipzig, Breitkopf und Härtel, 1889. 378 s. (in Germany).
4. Zabrodin Yu. M., Lebedev A. N. *Psikhofiziologiya i psikhofizika* [Psychophysiology and psychophysics]. Moscow, Nauka Publ., 1977. 288 p. (in Russian).
5. Kholshchevnikov V. V. *Human flows in buildings, structures and on adjoining territories*. Dr. tech. sci. diss. Moscow, Moscow State University of Civil Engineering Publ., 1983. 486 p. (in Russian).
6. Kholshchevnikov V. V. *Issledovaniya lyudskikh potokov i metodologiya normirovaniya evakuatsii lyudey iz zdaniy pri pozhare* [Study of human flows and methodology of rationing evacuation of people from buildings in case of fire]. Moscow, Fire Safety Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia Publ., 1999. 93 p. (in Russian).
7. Predtechenskiy V. M., Milinskiy A. I. *Proyektirovaniye zdaniy s uchetom organizatsii dvizheniya lyudskikh potokov* [Planing for foot traffic flow in buildings]. Moscow, Stroyizdat, 1979. 375 p. (in Russian).
8. Zakharov A. V. (ed.). *Arkhitektura grazhdanskikh i promyshlennykh zdaniy. Grazhdanskiye zdaniya* [The architecture of residential and civil buildings. Civil building]. Moscow, Stroyizdat, 1993. 509 p. (in Russian).
9. Kholshchevnikov V. V. Forecast of human behavior during fire evacuation. In: *Emergency evacuation of people from buildings. Proceedings of International Scientific and Technical Conference*. Poland, Warsaw, 2011, pp. 139–153.
10. Kholshchevnikov V., Serkov B., Kosatchev A., Samoshin D. Psychophysical relation laws for pedestrian flows parameters. In: *Human Behaviour in Fire. Proceedings of 5th International Symposium*. 19–21 September 2012, UK, Cambridge, pp. 49–62.
11. Grigoryants R. G. *Traffic study of long-existing human flows*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, Moscow State University of Civil Engineering Publ., 1971. 195 p. (in Russian).
12. Gvozdyakov V. S. *Regularities of traffic of human flows in transport and communication facilities*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, Moscow State University of Civil Engineering Publ., 1978. 211 p. (in Russian).
13. Kholshchevnikov V., Samoshin D., Istratov R. The problems of elderly people safe evacuation from senior citizen health care buildings in case of fire. In: *Human Behaviour in Fire. Proceedings of 5th International Symposium*. 19–21 September 2012, UK, Cambridge, pp. 587–593. Available at: http://www.fire-evacuation.ru/files/Paper_Samoshin_Elderly.pdf (Accessed 5 September 2017).
14. Kosachev A. A., Karpov A. V., Ushakov D. V., Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A., Simulation of people evacuation for fire risk assessment. In: *8th International Conference "FIRECO 2009"*. Slovak Republic, Trenčín, 2009. 23 p. Available at: http://www.fireevacuation.ru/Archive_En/Slovakia.pdf (Accessed 5 September 2017).
15. Buga P. G. *A study of pedestrian movement in cities*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, Moscow State University of Civil Engineering Publ., 1973. 154 p. (in Russian).

16. Kholshchevnikov V. V., Shields T. J., Samoshyn D. A., Galushka M. M. Retrospective review of research on pedestrian flows modelling in Russia and perspectives of its development. In: *Proceedings of the Fourth International Seminar on Fire and Explosion Hazards*. Londonderry, UK, University of Ulster, 2003, pp. 907–916.
17. Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A. Parameters of pedestrian flow for modeling purposes. In: Klingsch W., Rogsch C., Schadschneider A., Schreckenberg M. (eds). *Pedestrian and Evacuation Dynamics 2008*. Berlin, Heidelberg, Springer, 2010, pp. 157–170. DOI: 10.1007/978-3-642-04504-2_12.
18. Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A. Modeling and reality of evacuation process. In: *Proceedings of 13th International Conference “Interflam 2013”*. London, UK, Royal Holloway College, University of London, 2013, pp. 509–514. Available at: http://www.fireevacuation.ru/files/Interflam2013/Interflam_2013_Samoshin_paper.pdf (Accessed 3 September 2017).
19. *Technique of determination of settlement sizes of fire risk in buildings, constructions and structures of various classes of functional fire danger*. Order of Emercom of Russia on 30.06.2009 No. 382 (ed. on 02.12.2015) (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902167776> (Accessed 5 September 2017).
20. Kholshchevnikov V. V., Prisadkov V. I., Kosterin I. V. Improvement methodology for determining the calculated value of the fire risk in buildings and structures based on stochastic description of determining their processes and trees events. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 1, pp. 5–17. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.01.5-17 (in Russian).
21. Samoshin D. A., Kholshchevnikov V. V. Problems of regulation of time to start evacuation. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 5, pp. 37–51. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.05.37-51 (in Russian).
22. Kholshchevnikov V. V. Experimental researches of pedestrian flows moving along staircase of a multi-storey building. *International Journal of Applied Engineering Research*, 2015, vol. 10, no. 21, pp. 42549–42552.
23. Parfenenko A. P. *Standardization of fire safety requirements for evacuation routes and exits in buildings of pre-school educational institutions*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2012. 153 p. (in Russian).
24. Istratov R. N. Study on rescue possibilities of immobile people from medical and social institutions in case of fire. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 6, pp. 54–63 (in Russian).
25. Istratov R. N. *The requirements of fire safety to evacuation routes and exits in hospitals of social service agencies senior citizens*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2014. 160 p. (in Russian).
26. Pauls J. L. Building evacuation: research findings and recommendations. In: Canter D. (ed.). *Fires and human behaviour*. New York, John Wiley & Sons, 1980, pp. 251–275.
27. Fruin J. J. *Pedestrian planning and design*. New York, Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners, Inc., 1971. 206 p.
28. Predtechenskiy V. M., Kholshchevnikov V. V. Psychology of movement human flows and architectural composition. In: Kirillov L. I. (ed.). *Arkhitekturnaya kompozitsiya [Architectural composition]*. Moscow, Stroyizdat, 1970, pp. 79–82 (in Russian).
29. Velikovskiy L. B., Kholshchevnikov V. V. Evacuation from high-rise buildings. *Arkhitectura SSSR / Architecture in the USSR*, 1969, no. 1, pp. 46–49 (in Russian).
30. Kholshchevnikov V. V. *Optimization of routes of movement of human streams. High-rise buildings*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, Moscow State University of Civil Engineering Publ., 1969. 251 p. (in Russian).
31. Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A. Security of people evacuation from the high-rise buildings and the requirements for it provision in MGSN 4.19–2005. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2006, vol. 15, no. 3, pp. 62–66 (in Russian).
32. Rating the safe escape of people from high-rise buildings and its provision with software. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo / Industrial and Civil Engineering*, 2007, no. 2, pp. 50–52 (in Russian).
33. Set of rules 59.13330.2016. Accessibility of buildings and structures for persons with reduced mobility (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/456033921> (Accessed 26 June 2017).
34. Kholshchevnikov V. V., Serkov B. B. Importance of automatic fire protection systems to ensure the safety of people in high-rise buildings. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 9, pp. 44–53 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.09.44-53.

35. *World Population Ageing 2013*. Department of Economic and Social Affairs Population Division. Working Paper No. ST/ESA/SER.A/348. New York, United Nations, 2013. Available at: <http://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/ageing/WorldPopulationAgeing2013.pdf> (Accessed 4 August 2017).
36. *World Population Prospects: The 2012 Revision. Highlights and Advance Tables*. Department of Economic and Social Affairs Population Division. Working Paper No. ESA/P/WP.228. New York, United Nations, 2013. Available at: <http://stadtteilagenten.de/wp-content/uploads/2013/08/World-Population-Prospects-The-2012-Revision-Highlights-and-Advance-Tables.pdf> (Accessed 4 August 2017).
37. *OECD. Obesity Update 2012*. Available at: <http://www.oecd.org/health/49716427.pdf> (Accessed 4 August 2017).

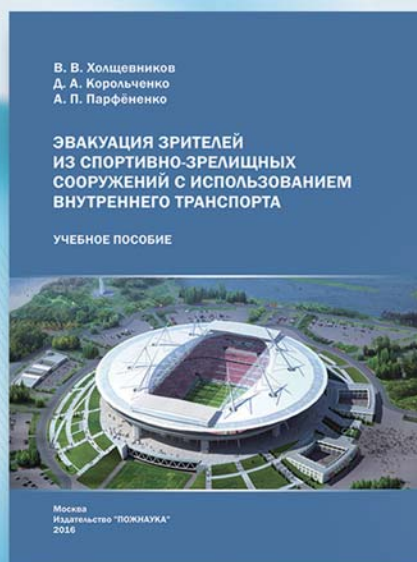
For citation: Zosimova O. S., Semin A. A., Korolchenko D. A. Concepts and realities of rationing of communication paths in the buildings of medical institutions. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 11, pp. 64–80 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.11.64-80.



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. С. ХАРЛАМЕНКОВ**, старший преподаватель, кафедра 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 621.3.002.5-213.34:006.354

ПРИМЕНЕНИЕ КАБЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ С УЧЕТОМ РАЗЛИЧИЙ В ТЕРМИНОЛОГИИ

Рассмотрены основные отличия в терминологии кабелей, применяемых для обеспечения безопасной работы различных систем противопожарной защиты. Проведен анализ существующих нормативных документов о требованиях пожарной безопасности кабельных изделий. Представлены примеры различных способов снижения горючести кабелей. Даны определения схожих по значению терминов и установлены допустимые варианты их применения в практической деятельности. Указаны основные отличия между огнестойкими кабелями и кабелями, не распространяющими горение.

Ключевые слова: кабельные изделия; огнестойкость; пожарная безопасность; оболочки кабелей; категории кабелей.



ВОПРОС:

В целях эффективной работы систем противопожарной защиты, а также систем, обеспечивающих безопасную эвакуацию людей при пожаре, в настоящее время должны применяться кабели, не распространяющие горение. В различных литературных и нормативных источниках можно встретить иные названия кабелей, такие как “негорючие”, “огнестойкие” и даже “пожаростойкие”. Есть ли разница между этими названиями или это один и тот же вид кабелей?

ОТВЕТ:

Требования п. 4. ст. 82 “Технического регламента о требованиях пожарной безопасности” [1] распространяются на кабели, прокладываемые открыто, т. е. на лотках, тросах, роликах, изоляторах, свободным подвешиванием и т. п. При групповой прокладке такие кабели должны иметь в маркировке индекс “нг”, определяющий их как “не распространяющие горение” согласно ГОСТ 31565–2012 [2].

Для достижения требуемой безопасности оболочки кабелей изготавливают из поливинилхлоридного (ПВХ) пластиката, самозатухающего хлорсульфированного или хлорированного полиэтилена, фторполимеров, а также из резин на основе полихлоропреновых и кремнийорганических каучуков.

Кабельные оболочки на основе ПВХ-пластикатов, активно применявшиеся в СССР в 80-е годы, сегодня используются значительно реже в силу выделения ими при горении большого количества дыма и вредных для здоровья человека веществ, таких как угарный газ, монооксид и диоксид серы.

Из вышеперечисленных материалов оболочек кабелей видно, что их выбор является основным спо-

собом обеспечения требований пожарной безопасности. Вместе с тем большое распространение получили дополнительные защитные элементы конструкции кабелей, которые задают несколько путей снижения горючести кабелей (см. рисунок).

Например, в России достаточно распространены кабели марок ВБВнг и АВБВнг, у которых достигаются приемлемые показатели по нераспространению горения при групповой прокладке за счет покрытия ПВХ-оболочки кабелей стальными лентами, образующими бронепокров (броню).



Пути снижения горючести кабельных изделий

Пламя при горении кабелей, не распространяющих горение, должно затухать при исчезновении его источника как при одиночной, так и при групповой прокладке. Такие кабели согласно серии ГОСТ IEC 60332 “Испытания электрических и оптических кабелей в условиях воздействия пламени” различаются по категориям (A F/R, A, B, C, D) в зависимости от пределов распространения огня дальше источника возгорания.

Для обозначения не распространяющих горение кабелей часто применяют словосочетание “негорючий кабель”, которое не является в общем случае термином, так как не применяется в нормативных документах по кабельным изделиям.

Имеется существенная разница и между терминами “не распространяющий горение” и “огнестойкий” кабель. Под огнестойкостью кабеля понимается параметр, характеризующий способность кабельного изделия продолжать выполнять заданные функции при воздействии и после воздействия на него источника пламени в течение заданного периода времени [2]. Иначе говоря, огнестойкость кабеля — это критерий его работоспособности, количественной мерой которого является предел огнестойкости. В табл. 1 ГОСТ 31565–2012 [2] указано восемь пределов огнестойкости кабелей, отличающихся друг от друга временем их работоспособности в условиях воздействия пламени. Огнестойкие кабели согласно [2] должны иметь в своей маркировке индекс “–FR”, поэтому кабель может быть одновременно огнестойким и не распространяющим горение с маркировкой “нг-FR”.

В заключение хотелось бы отметить, что в действующих нормативных документах, например в НПБ 248–97 [3], огнестойкость кабеля обозначена термином “пожаростойкость”. Он был введен с целью разграничить понятия огнестойкости строительных конструкций и кабелей. Под термином “пожаростойкость” в НПБ [3] понимают время, в течение которого в кабеле или проводе не происходит короткого замыкания между отдельными токопроводящими жилами, подключенными к различным фазам источника напряжения, при воздействии на кабельное изделие стандартного очага пожара при проведении испытаний. Из данного определения следует, что огнестойкость и пожаростойкость кабеля — термины практически идентичные, но более верным считается термин “огнестойкость”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон РФ от 22.07.2008 № 123-ФЗ (в ред. от 29.07.2017). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения: 30.08.2017).
2. ГОСТ 31565–2012. Кабельные изделия. Требования пожарной безопасности. — Введ. 01.01.2014. — М. : Стандартинформ, 2014.
3. НПБ 248–97*. Кабели и провода электрические. Показатели пожарной опасности. Методы испытаний (с изм.). — Введ. 01.01.1998. — М. : ГУГПС и ФГУ ВНИИПО МВД России, 2001.

Для цитирования: Харламенков А. С. Применение кабельной продукции для обеспечения пожарной безопасности с учетом различий в терминологии // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2017. — Т. 26, № 11. — С. 81–82.

English

APPLICATION OF CABLE PRODUCTS FOR FIRE SAFETY WITH DIFFERENCES IN TERMINOLOGY

KHARLAMENKOV A. S., Senior Lecturer,
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 differences in the terminology of cables used to ensure the safe operation of various fire protection systems are considered. The analysis of existing normative documents on fire safety requirements for cable products is conducted. Examples of various ways of reducing the flammability of cables are presented. The definitions of similar terms are given and the permissible variants of their application in practice are established. The main differences between fire-resistant cables and non-burning cables are indicated.

Keywords: cable products; fire resistance; fire safety; cable sheaths; cable categories.

For citation: Kharlamenkov A. S. Application of cable products for fire safety with differences in terminology. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 11, pp. 81–82 (in Russian).

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ!

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

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

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

Редакция просит авторов при подготовке рукописи руководствоваться изложенными ниже правилами.

1. Статья и сопутствующие ей материалы должны быть направлены в редакцию в электронном виде по адресу info@fire-smi.ru.

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

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

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

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

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

Материал статьи должен излагаться в следующем порядке.

2.1. Номер УДК (универсальная десятичная классификация).

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

2.3. Информация об авторах.

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

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

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

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

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

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

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

- информативным (не содержать общих слов);
- оригинальным (не быть калькой с русскоязычной аннотации с дословным переводом);
- содержательным (должно отражать существенные результаты работы; не должно включать материал, который отсутствует в основной части публикации);
- структурированным (т. е. следовать логике описания результатов в публикации);
- грамотным (написанным качественным английским языком, без использования программ автоматизированного перевода);
- объемом не менее 250–300 слов.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Сокращения и условные обозначения физических величин в тексте статьи должны соответствовать действующим международным стандартам. Формулы и буквенные обозначения должны быть четкими и ясными. Все буквенные обозначения, входящие в формулы, должны быть расшифрованы с указанием единиц измерения. Размерность всех характеристик должна соответствовать системе СИ. Иллюстрации в электронной версии прилагаются отдельно. Фотографии должны быть сделаны с хорошего негатива контрастной печатью (файлы растровых изображений предоставляются с разрешением не менее 300 dpi, черно-белая штриховая графика — 600 dpi). Файлы векторной графики следует предоставлять в формате той программы, в которой они созданы, либо печатать PDF-файл из этой программы. Все иллюстрации должны иметь сквозную нумерацию. Чертежи и карты в качестве иллюстраций неприемлемы. Ссылки на все рисунки в тексте обязательны.

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

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

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

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

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

В описании источников необходимо указывать всех авторов.

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

Список литературы должен содержать не менее 20 источников (в это число не входят нормативные документы, патенты и т. п.). При этом процент ссылок на статьи из иностранных научных журналов и других иностранных источников должен быть не ниже 40 %. Выполнение данного требования будет свидетельствовать о том, что авторы используют предыдущие научные достижения в необходимой мере.

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 науч-

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

При составлении References необходимо следовать схеме:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Начинается
подписка
на журнал**

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)



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.