

6-2019

FIRE and EXPLOSION
SAFETY

ПОЖАРОВЗРЫВО-

БЕЗОПАСНОСТЬ

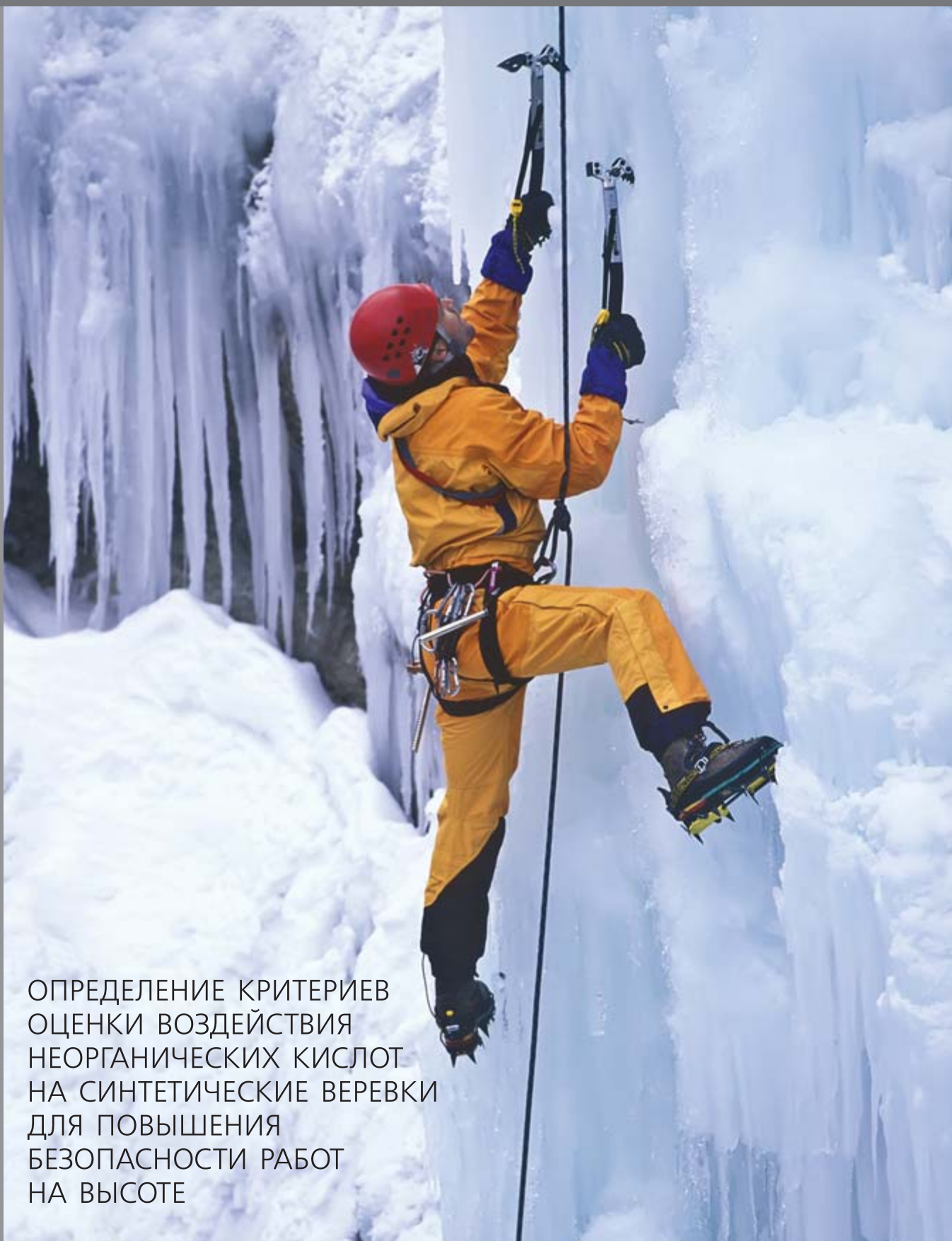


НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

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

КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

пожарная • промышленная • производственная • экологическая



ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТЕРИЕВ
ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ
НЕОРГАНИЧЕСКИХ КИСЛОТ
НА СИНТЕТИЧЕСКИЕ ВЕРЕВКИ
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ
БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТ
НА ВЫСОТЕ

26-я Международная выставка
технических средств охраны
и оборудования для обеспечения
безопасности и противопожарной защиты



a Hyve event



Москва, Крокус Экспо

13–16
апреля
2020



Видеонаблюдение



Контроль
доступа



Охрана
периметра



Противопожарная
защита



Сигнализация
и оповещение



Автоматизация
зданий

РЕКЛАМА



securika-moscow.ru

Бесплатный билет
по промо-коду:

sec20p0



№ 6 ^{ТОМ 28}
2019



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

**УЧРЕДИТЕЛЬ и ИЗДАТЕЛЬ —
ООО "Издательство "ПОЖНАУКА"**

Адрес:

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

Журнал издается с 1992 г.,
периодичность — 6 номеров в год.
СМИ зарегистрировано Федеральной
службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массо-
вых коммуникаций — свидетельство ПИ
№ ФС 77-43615 от 18 января 2011 г.
Префикс DOI: 10.18322.

РЕДАКЦИЯ:

Зав. редакцией **Корольченко О. Н.**

Шеф-редактор **Соколова Н. Н.**

Редактор **Крылова Л. В.**

Адрес редакции:

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

Адрес для переписки:

121352, Россия, г. Москва, а/я 26.

Тел./факс: +7 (495) 228-09-03,
+7 (909) 940-01-85.

E-mail: info@fire-smi.ru

https://www.fire-smi.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 13.12.2019.

Выход в свет 25.12.2019.

Формат 60x84 1/8. Тираж 2000 экз.

Бумага мелованная матовая.

Печать офсетная. Цена свободная.

Распространяется по подписке.

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

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

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

ЗАМ. ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

Мольков В. В., д. т. н., профессор (Ольстерский университет, Ньютаунабби, Ве-
ликобритания)

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

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

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

Берлин А. А., д. х. н., профессор, академик РАН (Федеральный исследовательский
центр химической физики им. Н. Н. Семенова РАН, Москва, Россия)

Богданова В. В., д. х. н., профессор (Научно-исследовательский институт физико-
химических проблем Белорусского государственного университета, Минск,
Беларусь)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Тамразян А. Г., д. т. н., профессор, действительный член Российской инженерной
академии (РИА), советник РААСН (Национальный исследовательский Московский
государственный строительный университет, Москва, Россия)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

НОВОСТИ, КОНФЕРЕНЦИИ, ВЫСТАВКИ

I Международная научно-практическая конференция
“Огнезащита материалов и конструкций”, Россия,
г. Санкт-Петербург, 20–24 апреля 2020 г.

Впервые в г. Бишкеке начали обсуждать безопасность,
надежность и долговечность фасадных систем

ПРОЦЕССЫ ГОРЕНИЯ, ДЕТОНАЦИИ И ВЗРЫВА

С. В. ПУЗАЧ, ЛЕ АНЬ ТУАН
Экспериментальное исследование параметров
горения кроны наиболее распространенных пород
деревьев Вьетнама

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

А. И. НЕДОБИТКОВ, Б. М. АБДЕЕВ
О физической основе локальной токовой перегрузки
в автомобильной электрической сети

БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ, ОБЪЕКТОВ

Ю. Н. ШЕБЕКО, А. В. ЗУБАНЬ, А. Ю. ШЕБЕКО
Расчет фактического предела огнестойкости
незащищенных стальных конструкций при различных
температурных режимах пожара

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

В. В. ВАСИЛЕНКО, Г. Д. ЛЕЛИКОВ,
Т. А. ОВЧИННИКОВА, Д. А. КОРОЛЬЧЕНКО
Определение критериев оценки воздействия
неорганических кислот на синтетические веревки
для повышения безопасности работ на высоте

А. А. СЕМИН
Расчетные данные для проектирования
зон безопасности в зданиях лечебных учреждений

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ И СРЕДСТВА

А. И. БОНДАР, Е. А. МЕШАЛКИН,
Л. Т. ТАНКЛЕВСКИЙ, А. А. ТАРАНЦЕВ, С. Г. ЦАРИЧЕНКО
Об особенностях применения автоматических установок
сдерживания пожара

СРЕДСТВА И СПОСОБЫ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

А. С. ПОЛЯКОВ, Д. Ф. КОЖЕВИН, А. С. КОНСТАНТИНОВА
Распределение фракций огнетушащего порошка
в моделируемом нестационарном газовом потоке

ВОПРОС – ОТВЕТ

А. С. ХАРЛАМЕНКОВ
Современная молниезащита зданий
и сооружений. Часть 1

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ ЗА 2019 г.

ТЕМАТИЧЕСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ СТАТЕЙ,
ОПУБЛИКОВАННЫХ В ЖУРНАЛЕ В 2019 г.

ОСНОВНАЯ ЦЕЛЬ ЖУРНАЛА –
ознакомление международного сообщества
с результатами исследований, проводимых
российскими и зарубежными учеными
в области комплексной безопасности.

CONTENTS

NEWS, CONFERENCES, EXHIBITIONS

I International Scientific-Practical Conference
“Fire Protection of Materials and Structures”,
Russia, Saint Petersburg, 20–24 April, 2020

For the first time in Bishkek, we begin to discuss
the safety, reliability and durability of facade systems

COMBUSTION, DETONATION AND EXPLOSION PROCESSES

S. V. PUZACH, LE ANH TUAN
Experimental study of krone burning parameters
of the most common trees
in Vietnam

ELECTRICAL ENGINEERING

A. I. NEDOBITKOV, B. M. ABDEEV
On physical basis of local current overload
in vehicle electric mains

SAFETY OF BUILDINGS, STRUCTURES, OBJECTS

Yu. N. SHEBEKO, A. V. ZUBAN, A. Yu. SHEBEKO
An evaluation of an actual fire resistance limit
of non-protected steel structures for different
temperature regimes of fires

LIFE SAFETY

V. V. VASILENKO, G. D. LELIKOV,
T. A. OVCHINNIKOVA, D. A. KOROLCHENKO
Determination of criteria for assessing the effect
of inorganic acids on synthetic ropes in order to improve
the safety of high-altitude works

A. A. SEMIN
Estimated data for refuge area design in buildings
of health care facilities

AUTOMATED SYSTEMS AND MEANS

A. I. BONDAR, E. A. MESHALKIN,
L. T. TANKLEVSKIY, A. A. TARANTSEV, S. G. TSARICHENKO
About features of application of automatic fire containment
installations

MEANS AND WAYS OF FIRE EXTINGUISHING

A. S. POLYAKOV, D. F. KOZHEVIN, A. S. KONSTANTINOVA
Distribution of fire extinguishing powder fractions
in simulated non-stationary gas stream

QUESTION – ANSWER

A. S. KHARLAMENKOV
Modern lightning protection of buildings
and constructions. Part 1

AUTHORS INDEX '2019

GUIDE INDEX OF THE ARTICLES
PUBLISHED IN 2019

THE MAIN AIM OF THE JOURNAL –
acquaintance of the international community
with results of the researches conducted
by the Russian and foreign scientists in the field
of integrated security.



Впервые в Бишкеке начали обсуждать фасадные системы зданий

Стр. 8



Локальная токовая перегрузка в автомобильной электрической сети

Стр. 18



Предел огнестойкости незащищенных стальных конструкций

Стр. 29



Оценка воздействия неорганических кислот на синтетические веревки

Стр. 35



Проектирование зон безопасности в зданиях лечебных учреждений

Стр. 52

КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

пожарная • промышленная • производственная • экологическая



FOUNDER and PUBLISHER —
“POZHNAUKA” Publishing House, Ltd.

Address:

Gorbunova St., 2, bldg. 3, office II, rm. 12,
Moscow, 121596, Russia.

Journal founded in 1992,
issued 6 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.
DOI prefix: 10.18322.

EDITORIAL STAFF:

Chief of Editorial Staff **O. N. Korolchenko**

Editorial Director **N. N. Sokolova**

Editor **L. V. Krylova**

Address of Editorial Staff:

Gorbunova St., 2, bldg. 3, office II, rm. 12,
Moscow, 121596, Russia.

Corresponding to: Post office box 26,
Moscow, 121352, Russia.

Phone/Fax: +7 (495) 228-09-03,
+7 (909) 940-01-85.

E-mail: info@fire-smi

https://www.fire-smi.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 13.12.2019.

Date of publication 25.12.2019.

Format is 60x84 1/8.

Printing is 2000 copies.

Chalk-overlay mat paper.

Offset printing. Free price.

Journal sells subscription.

Printed at “Gran Pri”, Ltd.

(Ordzhonikidze St., 57, Rybinsk,
152900, Russian Federation).

EDITOR-IN-CHIEF:

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

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF:

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

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

EDITORIAL BOARD:

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

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

Berlin A. A., Dr. Sci. (Chem.), Professor, Academician of Russian Academy of Sciences
(Semenov Institute of Chemical Physics of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia)

Bogdanova V. V., Dr. Sci. (Chem.), Professor (Research Institute for Physical Chemical
Problems of Belarusian State University, Minsk, Belarus)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

A. G. Tamrazyan, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Full Member of Russian Academy of
Engineering, Advisor of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences
(National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia)

N. G. Topolskiy, Dr. Sci. (Eng.), 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)

V. V. Kholshchevnikov, Dr. Sci. (Eng.), 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)

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

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

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

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

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

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

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

Второй циркуляр

Российская академия наук

Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий

Институт химической физики
им. Н. Н. Семенова РАН

Институт биохимической физики
им. Н. М. Эмануэля РАН

Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого

Академия Государственной противопожарной
службы МЧС России

Всероссийский научно-исследовательский
институт противопожарной обороны МЧС России

Уральский институт Государственной
противопожарной службы МЧС России

Научно-исследовательский институт пожарной
безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций
МЧС Республики Беларусь

Кокшетауский технический институт МЧС МВД
Республики Казахстан

Научно-исследовательский институт
проблем горения Республики Казахстан

Всемирная ассоциация пожарной, промышленной
и экологической безопасности



I Международная
научно-практическая конференция

ОГНЕЗАЩИТА МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ

Место проведения
конференции:

Санкт-Петербургский
политехнический универ-
ситет Петра Великого.
Адрес: 195251, г. Санкт-
Петербург, ул. Политех-
ническая, д. 29

Дата проведения:

20–24 апреля 2020 г.

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ:

Председатель:

Берлин А. А. Академик РАН, научный
руководитель ИХФ РАН

Сопредседатель:

Рудской А. И. Академик РАН, ректор
Санкт-Петербургского
политехнического универ-
ситета Петра Великого

Заместители председателя:

Сивенков А. Б. Профессор, Академия
ГПС МЧС России, д. т. н.,
профессор

Танклевский Л. Т. Заведующий кафедрой
пожарной безопасности
Санкт-Петербургского
политехнического универ-
ситета Петра Великого,
д. т. н., профессор

ЧЛЕНЫ ОРГАНИЗАЦИОННОГО КОМИТЕТА:

Акулов А. Ю. Начальник адъюнктуры
Уральского института
ГПС МЧС России, к. т. н.,
доцент

Алешков М. В. Заместитель начальника
Академии ГПС МЧС России
по научной работе, д. т. н.,
профессор

Асеева Р. М. Профессор, Академия
ГПС МЧС России, д. х. н.,
профессор

Богданова В. В. Профессор, НИИ ФХП
БГУ, Республика Беларусь,
д. х. н., профессор

Бабкин О. Э. Профессор Санкт-Петер-
бургского университета
кино и телевидения, д. т. н.,
профессор

Варфоломеев С. Д. Научный руководитель
ИБХФ РАН, чл.-корр. РАН

Гаращенко А. Н. ЦНИИСМ (г. Хотьково),
д. т. н., доцент

Голованов В. И. Главный научный сотрудник,
ВНИИПО МЧС России,
д. т. н., доцент

Гордиенко Д. М. Начальник ВНИИПО МЧС
России, д. т. н.

Гравит М. В. Санкт-Петербургский поли-
технический университет
Петра Великого, к. т. н.,
доцент

Захматов В. Д. Главный научный сотрудник
Института телекоммуника-
ций глобального информа-
ционного пространства НАН
Украины, д. т. н., профессор

Ивахнюк Г. К.	Профессор Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета), д. т. н., профессор
Казиев М. М.	Профессор, Академия ГПС МЧС России, к. т. н., доцент
Ксандопуло Г. И.	Почетный директор Института проблем горения, академик РАТН, д. х. н., профессор
Константинова Н. И.	Профессор, ВНИИПО МЧС России, д. т. н., профессор
Леонович А. А.	Профессор, Санкт-Петербургская ЛТА, д. т. н., профессор
Мансуров З. А.	Генеральный директор Института проблем горения, академик МАН ВШ, д. х. н., профессор
Мнацаканов С. С.	Научный директор ООО "НПО "Иннотех", д. т. н., профессор
Новаков И. А.	Академик РАН, Президент Волгоградского ГТУ
Петров В. В.	Профессор, ЮФУ, д. т. н., профессор
Покровская Е. Н.	Профессор, МГСУ, д. т. н., профессор
Раимбеков К. Ж.	Заместитель начальника КТИ КЧС МВД Республики Казахстан, к. ф.-м. н.
Рева О. В.	Доцент кафедры ПГиВ УГЗ Республики Беларусь, к. х. н., доцент
Ройтман В. М.	Профессор, Академия ГПС МЧС России, д. т. н., профессор
Серков Б. Б.	Профессор, Академия ГПС МЧС России, д. т. н., профессор
Сиротинкин Н. В.	Профессор, Санкт-Петербургский технологический институт, д. х. н., профессор
Супруновский А. М.	Начальник Академии ГПС МЧС России, к. т. н.
Снегирев А. Ю.	Профессор кафедры гидроаэродинамики, горения и теплообмена, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, д. т. н., профессор
Шелоумов А. В.	Профессор, Санкт-Петербургская ЛТА, д. т. н., профессор
Шумай С. М.	Начальник НИИ ПБ и ЧС МЧС Республики Беларусь

Шутов Ф. А.	Профессор, РХТУ им. Д. И. Менделеева, д. т. н., профессор
-------------	---

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ:

Председатель:

Зыбина О. А.	Заместитель директора по научной деятельности Высшей школы техносферной безопасности, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, д. т. н., доцент
--------------	--

Члены программного комитета:

Альменбаев М. М.	Начальник факультета КТИ КЧС Республики Казахстан, к. т. н.
Анохин Е. А.	Академия ГПС МЧС России, к. т. н.
Лукьянов А. С.	НИИ ПБ и ЧС МЧС Республики Беларусь, к. т. н.
Макишев Ж. К.	КТИ КЧС Республики Казахстан, к. т. н.
Сахаров П. А.	Институт биохимической физики РАН
Халепа П. В.	Академия ГПС МЧС России
Андреев А. В.	Директор Высшей школы техносферной безопасности, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, к. в. н., доцент

Ученые секретари:

Кобелев А. А.	Академия ГПС МЧС России, к. т. н.
Устинов А. А.	Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, аспирант

Технические секретари:

Матвеева Н. П.	Академия ГПС МЧС России
Гомазов Ф. А.	Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, аспирант

Основные направления научной конференции:

- Разработка огнезащитных средств для материалов и конструкций, исследование их эффективности и механизма огнезащитного действия
- Эффективные технологии применения средств огнезащиты для защиты материалов и конструкций для объектов различных сфер жизнедеятельности

- Методы огневых испытаний и экспериментальная оценка параметров эффективности огнезащиты
- Расчетно-программные комплексы и инженерные подходы к оценке технических параметров для средств огнезащиты
- Вопросы оценки и обеспечения долговечности средств огнезащиты, методы и подходы
- Нормативно-техническое обеспечение применения средств огнезащиты для материалов и конструкций
- Сертификация и подтверждение соответствия качества огнезащитных средств, их идентификация

Программа конференции включает серию лекций, докладов, дискуссий и стендовых сессий, выставку, подведение итогов, заявленных оргкомитетом конкурса на лучшую работу молодых ученых.

В программу конференции будут включены пленарные, устные и стендовые доклады.

Ключевые даты

- 15 ноября 2019 г.** Рассылка первого циркуляра
- 1 декабря 2019 г.** Начало регистрации участников на сайте Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого
- 15 февраля 2020 г.** Окончание регистрации участников на сайте Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого
- 20 февраля 2020 г.** Рассылка второго циркуляра
- 1 марта 2020 г.** Окончание приема тезисов докладов и копии платежного поручения и регистрации на мероприятия культурной программы
- 20–24 апреля 2020 г.** Работа конференции

Правила оформления тезисов конференции

- Материалы представляются по электронной почте.
- Текст должен быть набран в редакторе Word for Windows (версия 6.0, русская редакция) шрифтом “Times New Roman Cyr” размером 14 пт, с межстрочным интервалом 1,5.

- Поля страницы: слева — 2,5 см, справа — 1,5 см, сверху и снизу — по 2 см.
- Формулы набираются в MS Equation 2.0.
- Рисунки и схемы в тексте должны быть сгруппированы.
- Объем тезисов не должен превышать трех страниц.

Порядок печати

Название статьи набирается по центру без переноса, жирным шрифтом, строчными буквами, через интервал — инициалы и фамилия автора строчными буквами, *например: А. А. Петров*; через интервал — полное название учебного заведения (организации), далее через интервал текст, в конце статьи — список литературы (не более 2–3 наименований).

За содержание докладов ответственность несут авторы. Программный комитет имеет право отклонить доклад. Все материалы публикуются в авторской редакции.

Справки по телефонам:

В Москве:

Кобелев Артем Александрович
+7 (926) 595-13-21.

В Санкт-Петербурге:

Устинов Андрей Александрович
+7 (981) 799 78 98.

Предварительная программа конференции

20 апреля — заезд участников.

21 апреля — регистрация, официальное открытие конференции, пленарное заседание, выставка, работа секций, экскурсия по университету, товарищеский ужин.

22 апреля — продолжение работы секций, стендовые доклады, экскурсия по г. Санкт-Петербургу с посещением Эрмитажа.

23 апреля — продолжение работы секций, круглый стол по вопросам и проблемам нормативно-технического применения средств огнезащиты с приглашением ведущих экспертов. Экскурсионная программа с посещением г. Кронштадта — г. Пушкина.

24 апреля — подведение итогов, заявленных оргкомитетом конкурса за лучший доклад молодых ученых и специалистов, награждение дипломами и сертификатами, официальное закрытие конференции в Белом зале СПбПУ. Культурная программа — концерт. Отъезд.

ВПЕРВЫЕ В БИШКЕКЕ начали обсуждать **безопасность, надежность и долговечность фасадных систем**



27 ноября 2019 г. в Бишкеке впервые прошел Международный форум по вопросам качества и безопасности фасадных систем. Инициаторами организации этого мероприятия стали ОсОО Smart Facade, ОсОО “КантТШП” и общественное объединение “Фасадный союз Кыргызстана”.

Стоит отметить, что Фасадный союз Кыргызстана образован недавно. Его цель — собрать тех, кто неравнодушен к проблемам безопасности и надежности фасадных систем: архитекторов, представителей строительных компаний, поставщиков и производителей фасадных систем.

В своем приветственном слове генеральный директор ОсОО Smart Facade Каныбек Мамбеткулов сообщил, что объединение будет заниматься разработкой и продвижением нормативно-правовых актов, ГОСТов, СНиПов по устройству фасадов на государственном уровне.



В России такая организация уже существует. Президент Фасадного союза России Сергей Алевин, приглашенный на форум, отметил, что они готовы на первом этапе подсказать и помочь коллегам из Кыргызстана. Он рассказал, что их объединение также разрабатывает свои требования и стандарты для застройщиков и надеется, что в будущем они перейдут в государственные стандарты Российской Федерации.

По словам С. Алевина, безопасность, надежность и долговечность — это весь комплекс жизненного

цикла фасадных систем, который должен обеспечивать условия для безопасности людей.



“Жизненный цикл начинается с идеи и заканчивается утилизацией фасада. Но самое главное — это проектирование, реализация, подтверждение пригодности, монтаж, технический надзор. Это крайне важная цепочка, из которой невозможно убрать один камушек. Фасады рядом с нами и влияют на безопасность”, — говорит он.





Глава Союза привел пример, из которого следует, что две абсолютно идентичные по виду фасадные системы через какой-то период времени, который может быть коротким, проявят себя по-разному, т. е. система, выполненная с нарушениями технических и проектных решений, начнет обрушаться.

“Мы должны сделать красивый фасад, чтобы он работал, и мы о нем не вспоминали”, — заключил Сергей Алахин.

На форуме были представлены доклады:

- главы Управления МЧС КР по г. Бишкеку А. Чаргынова “Информация МЧС о состоянии вопросов пожарной безопасности фасадов”;
- генерального директора ООО Smart Facade К. Ж. Мамбеткулова “Ситуации по фасадам в КР”;
- ректора МУИТ, президента Международной ассоциации экспертов по сейсмическому строительству У. Т. Бегалиева “О сейсмостойком строительстве”;
- президента Фасадного союза Российской Федерации С. В. Алахина “Опыт Фасадного Союза России”;
- директора ИКБС НИУ МГСУ, к. т. н, доцента, Академика МАНЭБ Д. А. Корольченко “Пожарная безопасность фасадов РФ”;

- научного сотрудника НИУ МИСиС О. В. Волковой “Воздействие коррозии на различные виды подсистем НФС”;
- руководителя отдела ООО “Альтернатива” П. В. Куликова “Общая ситуация с НФС РФ”.

Председатель общественного объединения “Фасадный союз Кыргызстана” Тимур Мамытов рассказал, что в настоящее время невозможно проанализировать рынок Кыргызстана, потому что не с чем сравнивать. Общих стандартов по устройству фасадных систем нет.

“Чтобы говорить, какой материал качественный, а какой нет, его нужно с чем-то сравнить. Если у нас и есть экспертиза стройматериалов, она в основном касается материалов основного массива конструкции всего здания — марки бетона, арматуры и прочего. То, что касается качества фасада, в мировой международной практике чаще всего регулируется ГОСТами и стандартами, которых на данный момент в нашей стране нет”, — отметил он.

В рамках форума был подписан договор о сотрудничестве фасадных союзов России и Кыргызстана.

Форум — это первый шаг по созданию площадки для заинтересованных в применении грамотных решений и качественных материалов. И здесь поднимаются самые актуальные вопросы, требующие проработки.



Экспериментальное исследование параметров горения кроны наиболее распространенных пород деревьев Вьетнама

© С. В. Пузач^{1✉}, Ле Ань Туан^{1, 2}

¹ Академия Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4)

² Институт пожарной безопасности Вьетнама (Вьетнам, 120000, Ханой, Хуат Зуй Тиен, 243)

РЕЗЮМЕ

Введение. Отсутствие данных по параметрам горения лесных горючих материалов не позволяет проводить достоверный расчет теплового потока от лесного пожара, воздействующего на объекты энергетики Вьетнама. Поэтому исследование процесса горения кроны различных пород деревьев Вьетнама является актуальной научной и практической задачей.

Цели и задачи. Целью статьи является обоснование исходных данных для математического моделирования параметров и теплового воздействия верховых лесных пожаров на объекты энергетики Вьетнама. Для ее достижения были проведены экспериментальные исследования процесса горения образцов кроны наиболее распространенных лиственных и хвойных пород деревьев Вьетнама.

Методы. Используется экспериментальный метод исследования горения образцов кроны деревьев в малогабаритной экспериментальной установке. Проведен анализ полученных результатов.

Результаты. Получены экспериментальные зависимости удельной массовой скорости газификации и удельного коэффициента выделения монооксида углерода (CO) от времени испытаний образцов кроны пяти наиболее распространенных лиственных и хвойных пород деревьев Вьетнама. Проведено сопоставление средних значений вышеуказанных параметров с результатами, полученными при горении образцов древесной массы стволов деревьев и приведенными в литературных источниках. Показано, что средние по времени экспериментальные значения удельной массовой скорости газификации всех образцов кроны деревьев в 2,7–5,7 раза меньше значений, полученных при горении древесной массы стволов деревьев. В то же время экспериментальные средние значения удельного коэффициента образования монооксида углерода при горении кроны деревьев в 2,5–10,9 раза больше, чем в случае горения древесной массы стволов.

Заключение. Проведенное экспериментальное исследование процесса горения образцов кроны наиболее распространенных лиственных и хвойных пород деревьев Вьетнама позволяет обосновать выбор значений удельного коэффициента образования CO и удельной массовой скорости газификации, необходимых для математического моделирования параметров и теплового воздействия верховых лесных пожаров на объекты энергетики Вьетнама.

Ключевые слова: лесной пожар; моделирование; удельная массовая скорость газификации; удельный коэффициент выделения CO; пламенное горение.

Для цитирования: Пузач С. В., Ле Ань Туан. Экспериментальное исследование параметров горения кроны наиболее распространенных пород деревьев Вьетнама // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2019. — Т. 28, № 6. — С. 10–17. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.06.10-17.

✉ Пузач Сергей Викторович, e-mail: puzachsv@mail.ru

Experimental study of krone burning parameters of the most common trees in Vietnam

© Sergey V. Puzach^{1✉}, Le Anh Tuan^{1, 2}

¹ State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation)

² University of Fire-Fighting in Vietnam (Khuat Duy Tien St., 243, Hanoi, 120000, Vietnam)

ABSTRACT

Introduction. The absence of the burning parameters of forest combustible materials does not allow a reliable calculation of the heat flux from a forest fire affecting the energy facilities of Vietnam. Therefore, the study of the combustion of samples of Vietnamese trees krone is an urgent scientific and practical problem.

Goals and objectives. The purpose of the article is to substantiate the source data for mathematical modeling of the parameters and thermal effects of high forest fires on the objects of power industry in Vietnam. To achieve it, experimental studies of the burning of trees krone samples of the most common deciduous and coniferous trees of Vietnam were carried out.

Methods. An experimental method is used to study the burning of trees krone samples in a small-sized experimental installation. The analysis of the results is made.

Results. Experimental dependences of the specific mass speed of gasification and specific coefficient of release of carbon monoxide on the time of testing of trees krone samples of five most common deciduous and coniferous trees of Vietnam were obtained. The average values of the above mentioned parameters were compared with the values obtained during the burning of tree trunk samples and given in the literary sources. It is shown that time-average experimental values of specific mass speed of gasification of all samples of tree krone are 2.7–5.7 times less than corresponding values, which were determined during tree trunks burning. At the same time experimental average values of specific coefficient of release of carbon monoxide at burning of tree krone are 2.5–10.9 times more than corresponding values in case of burning of wood mass of tree trunks.

Conclusion. An experimental study of the burning of trees krone samples of the most common deciduous and coniferous trees of Vietnam allows to substantiate the choice of specific coefficient of release of carbon monoxide and specific mass speed of gasification required for mathematical modeling of parameters and thermal effects of high forest fires on Vietnamese energy facilities.

Keywords: forest fire; modeling; specific mass speed of gasification; specific coefficient of release of carbon monoxide; flame burning.

For citation: S. V. Puzach, L. A. Tuan. Experimental study of krone burning parameters of the most common trees in Vietnam. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2019, vol. 28, no. 6, pp. 10–17 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2019.28.06.10-17.

✉ Sergey Viktorovich Puzach, e-mail: puzachsv@mail.ru

Введение

Лесные пожары могут приводить к катастрофическим разрушениям жизненно важных для экономики и безопасности страны объектов энергетики, прекращение функционирования которых ведет к нарушению жизнедеятельности человека.

Математическое моделирование лесных пожаров является очень сложной, до конца не решенной, многофакторной и нелинейной задачей [1–16]. Отсутствие данных по параметрам горения лесных горючих материалов не позволяет проводить достоверный расчет теплового воздействия лесного пожара на энергетические объекты Вьетнама (ТЭС, ГЭС, линии электропередач и т. д.).

Параметры процесса горения образцов древесной массы стволов наиболее распространенных лиственных и хвойных пород деревьев Вьетнама представлены в работе [17]. Однако исследование процесса горения кроны деревьев Вьетнама, существенно влияющего на параметры лесного пожара, не проводилось, поэтому оно представляет собой актуальную научную и практическую задачу.

Целью настоящей статьи является обоснование исходных данных для математического моделирования параметров и теплового воздействия верховых лесных пожаров на объекты энергетики Вьетнама.

Для этого были выполнены экспериментальные исследования параметров процесса горения образцов крон наиболее распространенных лиственных и хвойных пород деревьев Вьетнама.

Экспериментальная установка и методика проведения экспериментов

На рис. 1 приведена схема экспериментальной установки, предложенной в работах [18–20]. Установка состоит из камеры сгорания 1, которая соеди-

нена с экспозиционной камерой 2 с помощью переходного рукава 3.

Стенки камеры сгорания с внутренним объемом $3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ изготовлены из листовой нержавеющей стали толщиной $(2,0 \pm 0,1) \text{ мм}$. Наблюдения за образцами материалов во время испытаний проводились через окно, изготовленное из кварцевого стекла. Изменение режима испытаний за счет воздухообмена камеры с помещением осуществлялось через расположенные на боковой стенке экспозиционной камеры шиберные отверстия 6.

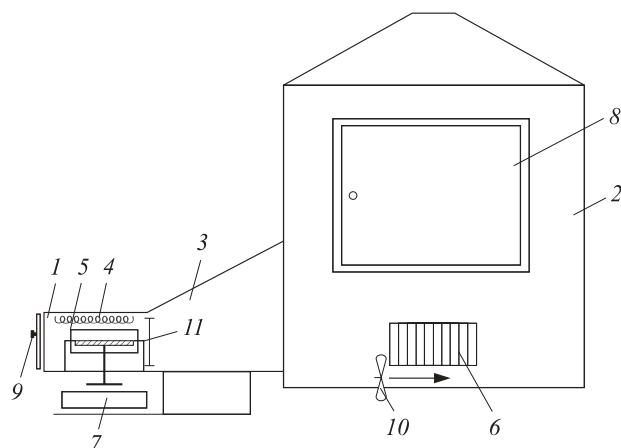


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 — камера сгорания; 2 — экспозиционная камера; 3 — переходной рукав; 4 — электронагревательный излучатель; 5 — держатель образца; 6 — шиберные отверстия; 7 — столик для весов; 8 — дверца экспозиционной камеры; 9 — дверца камеры сгорания; 10 — вентилятор; 11 — заслонка (перегородка) переходного рукава [18, 19]

Fig. 1. The scheme of the experimental unit: 1 — combustion chamber; 2 — exposure camera; 3 — transition sleeve; 4 — electric heating radiator; 5 — sample holder; 6 — gate holes; 7 — table for scales; 8 — door of the exposure chamber; 9 — door of the combustion chamber; 10 — the fan; 11 — damper (partition) of the transition sleeve [18, 19]

Экранированный электронагревательный излучатель 4 и держатель образца 5 находятся в камере сгорания.

Устройство теплового блокирования экспозиционной камеры от камеры сгорания размещено в переходном рукаве 3. Экспозиционная камера объемом 0,5887 м³ имеет верхнюю часть в виде конуса.

Электронные весы 7, на которых расположен держатель образца, позволяют измерять массу образца с погрешностью, не превышающей ± 1 мг. Весы установлены на столике, который имеет регулировку положения по высоте.

Непрерывные измерения температуры в экспозиционной камере проводятся с использованием 32 низкоинерционных бронированных термодатчиков. Диапазон температур составляет от минус 40 до +1100 °C, погрешность измерений не превышает $\pm 1,5t$ (где t — температура, °C).

Плотность теплового потока, поступающего от экранированного электронагревательного излучателя на поверхность образца материала, измеряется водоохлаждаемым датчиком типа Гордона. Погрешность измерений не превышает ± 8 %.

Состав газовой среды в экспозиционной камере измеряется с помощью многоканального газоанализатора. Диапазон измерений концентраций газов с максимальной погрешностью ± 10 % об. составляет: для CO — 0–1 % об., CO₂ — 0–5 % об., O₂ — 0–21 % об.

Испытания проводились в режиме пламенного горения, который обеспечивался при плотности падающего теплового потока 60 кВт/м² и температуре поверхности излучателя 750 °C.

Методика проведения экспериментов была следующей.

Во вкладыш держателя образца помещался предварительно взвешенный образец материала, который имел комнатную температуру.

После стабилизации режима работы электронагревательного излучателя дверцу камеры сгорания открывали и в держатель образца помещали вкладыш с образцом древесины. Затем открывали заслонку переходного рукава, а дверцу камеры сгорания закрывали. Происходило возгорание образца.

Во время эксперимента непрерывно измерялись концентрации CO (% об.), CO₂ (% об.), O₂ (% об.), температура в экспозиционной камере и в помещении, а также масса образца.

Удельная массовая скорость газификации определялась по формуле

$$\psi_{уд} = \frac{1}{F} \frac{dM}{dt}, \quad (1)$$

где $\psi_{уд}$ — удельная массовая скорость газификации, кг/(м²·с);

M — текущая масса образца, кг;

F — площадь поверхности образца, м²;

t — время, с.

Знание концентрации монооксида углерода необходимо для прогнозирования токсикологической обстановки во время лесного пожара, поэтому в экспериментах определялся удельный коэффициент образования CO (L_{CO}) в каждый момент времени по формуле

$$L_{CO} = \frac{V}{\psi_{уд} F} \frac{d\rho_{CO}}{dt}, \quad (2)$$

где V — объем экспозиционной камеры, м³;

ρ_{CO} — среднеобъемная плотность CO в экспозиционной камере, кг/м³.

Исходные данные

Для математического моделирования параметров и теплового воздействия верховых лесных пожаров на объекты энергетики необходимо в первую очередь знать удельную массовую скорость газификации древесной биомассы.

Измерения удельной массовой скорости газификации образцов кроны проведены для наиболее распространенных пород деревьев Вьетнама (табл. 1).

Образцы кроны деревьев (листьев и веток) имеют размеры 0,1×0,1×0,05 м. Масса листьев и ветвей в образце составляет соответственно 5,27 и 12,3 г в соотношении 3:7, характерном для тропических лесов Вьетнама.

Влажность образцов, измеряемая влагомером ZNT 125 Electronic с диапазоном измерений 5–50 % и погрешностью измерений ± 2 %, не превышала 8 % (см. табл. 1), что соответствует влажности деревьев Вьетнама в наиболее пожароопасный засушливый период года.

Таблица 1. Рассматриваемые породы деревьев Вьетнама
Table 1. Considered tree species of Vietnam

Номер образца Number of sample	Название (русское, вьетнамское) Name (English, Vietnamese)	Класс деревьев Tree kind	Влажность, % Humidity, %
1	Акация, keo Acacia auriculiformis, keo	Лиственные Deciduous	<5
2	Мелия ацедарах, xoan Chinaberry, xoan		
3	Сосна, họ thông Pine, họ thông	Хвойные Coniferous	<5
4	Эвкалипт, bạch đàn Eucalyptus camaldulensis dehnhardt, bạch đàn	Лиственные Deciduous	8
5	Лонган, nhãn Dimocarpus longan, nhãn		7

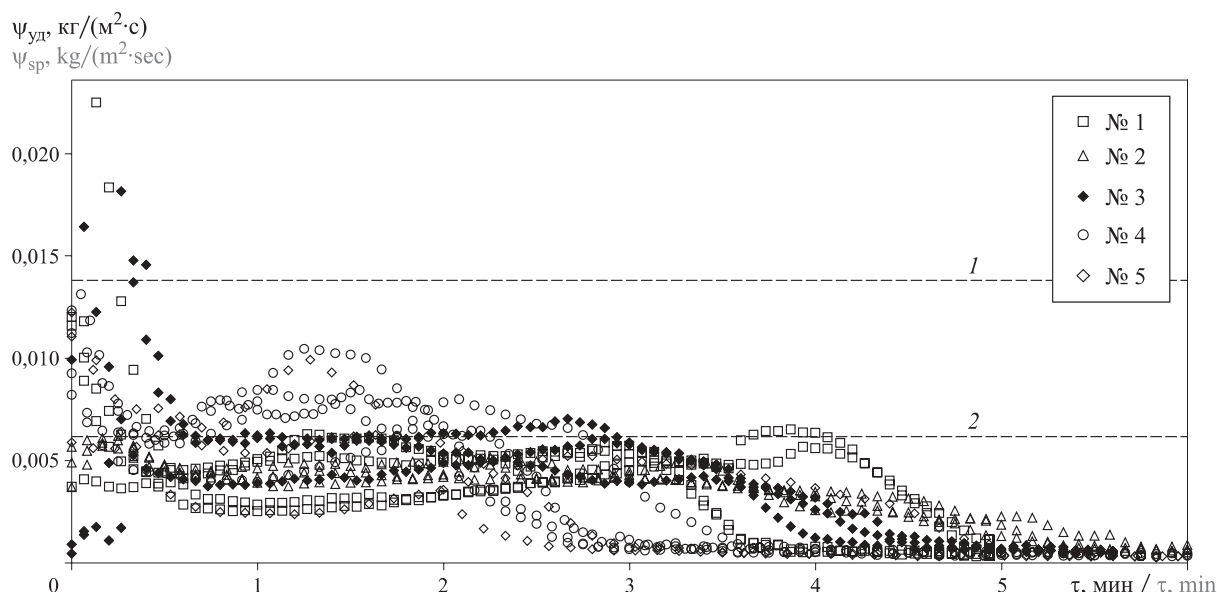


Рис. 2. Зависимости удельной массовой скорости газификации образцов кроны от времени с начала испытаний (в легенде указан номер образца): 1 — $\psi_{уд} = 0,0063 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ (хвойные породы) [21]; 2 — $\psi_{уд} = 0,014 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ (лиственные) [21]

Fig. 2. Dependences of the specific mass speed of gasification of tree krone from the time since the beginning of combustion (sample number specified in legend): 1 — $\psi_{sp} = 0.0063 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{sec})$ (coniferous trees) [21]; 2 — $\psi_{sp} = 0.014 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{sec})$ (deciduous trees) [21]

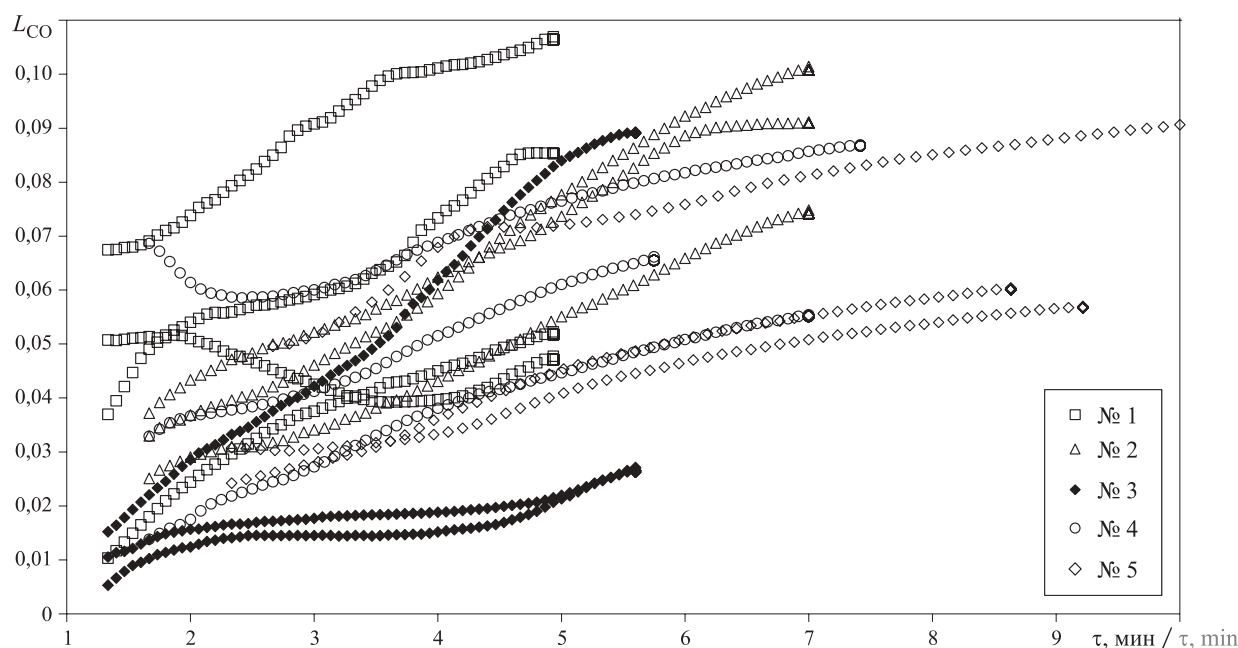


Рис. 3. Зависимости удельных массовых коэффициентов образования CO от времени с начала испытаний (в легенде указан номер образца)

Fig. 3. Dependences of the specific coefficient of release of carbon monoxide from the time from the beginning of combustion (sample number specified in legend)

Результаты экспериментов и их анализ

На рис. 2 представлены экспериментальные зависимости удельной массовой скорости газификации $\psi_{уд}$ ($\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$) образцов кроны от времени. Из рис. 2 видно, что величина $\psi_{уд}$ примерно через 3 мин от начала горения становится меньше значе-

ния $0,0063 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, характерного для горения древесной массы стволов хвойных пород деревьев [21].

При горении древесной массы стволов тех же пород деревьев Вьетнама значения $\psi_{уд}$ после 2 мин испытаний находятся в диапазоне $0,0063\text{--}0,014 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ [17], где нижний предел соответствует горению хвойных пород деревьев, а верхний — лиственных [21].

Таблица 2. Средние по времени проведения экспериментов значения $\psi_{уд}$ и L_{CO} **Table 2.** Average experiment values ψ_{sp} and L_{CO}

Номер образца Number of sample	$\psi_{уд}$, кг/(м ² ·с) / ψ_{sp} , kg/(m ² ·sec)			L_{CO}		
	Образец кроны Krone of tree	Древесная масса [17] Wood pulp [17]	По [21] Article [21]	Образец кроны Krone of tree	Древесная масса [17] Wood pulp [17]	По [21] Article [21]
1	0,0032	0,0093	0,014	0,0565	0,0052	0,024
2	0,0027	0,0102	0,014	0,0587	0,0107	
3	0,0036	0,0113	0,0063	0,0180	0,0073	
4	0,0029	0,0127	0,014	0,0472	0,012	
5	0,0016	0,0091	0,014	0,0524	0,008	

Более низкая удельная массовая скорость газификации кроны деревьев объясняется в первую очередь тем, что плотность кроны существенно меньше плотности древесной массы стволов. Поэтому при лесном верховом пожаре для более точного расчета параметров пожара необходимо учитывать скорость газификации именно кроны деревьев.

На рис. 3 приведены экспериментальные зависимости удельных массовых коэффициентов образования СО от времени.

Из рис. 2 видно, что примерно через 5,5 мин удельная массовая скорость газификации стремится к нулю. В то же время удельный коэффициент образования СО продолжает увеличиваться (см. рис. 3). Это объясняется тем, что по мере уменьшения концентрации O_2 в камере сгорания снижается скорость окисления СО до CO_2 .

Средние за время проведения экспериментов значения $\psi_{уд}$ и L_{CO} представлены в табл. 2. Из табл. 2 видно, что:

- экспериментальные средние значения $\psi_{уд}$, полученные при горении кроны деревьев, в 2,7–5,7 раза меньше, чем при горении древесной массы стволов;
- экспериментальные средние значения L_{CO} при горении кроны деревьев в 2,5–10,9 раза больше, чем при горении древесной массы стволов.

Полученные средние экспериментальные значения удельной массовой скорости газификации и удельного коэффициента образования СО для образцов кроны наиболее распространенных лиственных и хвойных пород деревьев Вьетнама могут быть использованы при расчете характеристик верховых пожаров.

Заключение

Концентрация монооксида углерода, образующегося при горении кроны наиболее распространенных лиственных и хвойных пород деревьев Вьетнама, существенно выше, чем в случае горения массы их стволов.

Удельная массовая скорость газификации кроны деревьев значительно меньше по сравнению с древесной массой стволов.

Результаты экспериментального исследования процесса горения образцов кроны позволяют обосновать выбор значений удельного коэффициента образования СО и удельной массовой скорости газификации, необходимых для математического моделирования параметров и теплового воздействия верховых лесных пожаров на объекты энергетики Вьетнама.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пузач С. В., Горюшкин С. С. Оценка теплового воздействия лесного пожара на электрическую подстанцию с масляными трансформаторами // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — 2017. — № 3. — С. 79–83. DOI: 10.25257/FE.2017.3.79-83.
2. Доррер Г. А. Динамика лесных пожаров. — Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2008. — 404 с.
3. Гришин А. М. О математическом моделировании природных пожаров и катастроф // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. — 2008. — № 2(3). — С. 105–114.
4. Krueger S. K. Wildfire modeling / NIST GCR 11-953. — Gaithersburg : National Institute of Standards and Technology, 2011. — 46 p. URL: <https://www.nist.gov/publications/wildfire-modeling>.
5. Morvan D. Physical phenomena and length scales governing the behaviour of wildfires: a case for physical modelling // Fire Technology. — 2011. — Vol. 47, Issue 2. — P. 437–460. DOI: 10.1007/s10694-010-0160-2.
6. Mandel J., Bennethum L. S., Beezley J. D., Coen J. L., Douglas C. C., Kim M., Vodacek A. A wildland fire model with data assimilation // Mathematics and Computers in Simulation. — 2008. — Vol. 79, Issue 3. — P. 584–606. DOI: 10.1016/j.matcom.2008.03.015.

7. Sullivan A. L. Wildland surface fire spread modelling, 1990–2007. 3: Simulation and mathematical analogue models // *International Journal of Wildland Fire*. — 2009. — Vol. 18, No. 4. — P. 387–403. DOI: 10.1071/wf06144.
8. Rochoux M. C., Emery C., Ricci S., Cuenot B., Trouvé A. Towards predictive data-driven simulations of wildfire spread — Part II: Ensemble Kalman Filter for the state estimation of a front-tracking simulator of wildfire spread // *Natural Hazards and Earth System Sciences*. — 2015. — Vol. 15, No. 8. — P. 1721–1739. DOI: 10.5194/nhess-15-1721-2015.
9. Rochoux M. C., Ricci S., Lucor D., Cuenot B., Trouvé A. Towards predictive data-driven simulations of wildfire spread — Part I: Reduced-cost Ensemble Kalman Filter based on a Polynomial Chaos surrogate model for parameter estimation // *Natural Hazards and Earth System Sciences*. — 2014. — Vol. 14, No. 11. — p. 2951–2973. DOI: 10.5194/nhess-14-2951-2014.
10. Tymstra C., Bryce R. W., Wotton B. M., Armitage O. B. Development and structure of Prometheus: the Canadian wildland fire growth simulation model / *Information Report NOR-X-417*. — Edmonton : Natural Resources of Canada, Canadian Forest Service, 2010.
11. Sardoy N., Consalvi J.-L., Porterie B., Fernandez-Pello A. C. Modeling transport and combustion of firebrands from burning trees // *Combustion and Flame*. — 2007. — Vol. 150, Issue 3. — P. 151–169. DOI: 10.1016/j.combustflame.2007.04.008.
12. Kaur I., Mentrelli A., Bosseur F., Filippi J.-B., Pagnini G. Turbulence and fire-spotting effects into wild-land fire simulators // *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulations*. — 2016. — Vol. 39. — P. 300–320. DOI: 10.1016/j.cnsns.2016.03.003.
13. Martin J., Hillen T. The spotting distribution of wildfires // *Applied Sciences*. — 2016. — Vol. 6, No. 6. — P. 177. DOI: 10.3390/app6060177.
14. Cunningham P., Goodrick S. L., Hussaini M. Y., Linn R. R. Coherent vortical structures in numerical simulations of buoyant plumes from wildland fires // *International Journal of Wildland Fire*. — 2005. — Vol. 14, Issue 1. — P. 61–75. DOI: 10.1071/wf04044.
15. Кузнецов С. Л., Пузач С. В., Ярошенко А. В. Математическая модель распространения кромки природного пожара с учетом основных особенностей растительности, ландшафта местности и состояния атмосферы // *Системы безопасности–2011 : материалы 20-й научно-технической конференции*. — М. : Академия ГПС МЧС РФ, 2011. — С. 195–197.
16. Varner J. M., Keyes C. R. Fuels treatment and fire models: errors and corrections // *Fire Management Today*. — 2009. — Vol. 69, No. 3. — P. 47–50.
17. Пузач С. В., Ле Ань Туан. Обоснование выбора параметров горения древесной массы деревьев для расчета воздействия верховых лесных пожаров на объекты энергетики Вьетнама // *Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety*. — 2018. — Т. 27, № 11. — С. 5–14. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.11.5-14.
18. Пузач С. В., Сулейкин Е. В. Новый теоретико-экспериментальный подход к расчету распространения токсичных газов при пожаре в помещении // *Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety*. — 2016. — Т. 25, № 2. — С. 13–20. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.02.13-20.
19. Пузач С. В., Акперов Р. Г. Экспериментальное определение удельного коэффициента образования монооксида углерода при пожаре в помещении // *Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety*. — 2016. — Т. 25, № 5. — С. 18–25. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.05.18-25.
20. Пузач С. В., Сулейкин Е. В., Акперов Р. Г., Пузач В. Г. Об экспериментальной оценке токсичности продуктов горения при пожаре в помещении // *Технологии техносферной безопасности*. — 2013. — Вып. 4(50). — 11 с.
21. Кошмаров Ю. А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении. — М. : Академия ГПС МВД России, 2000. — 118 с.

REFERENCES

1. S. V. Puzach, S. S. Goriushkin. Assessment of the forest fire thermal effect on the electrical substation with oil transformers. *Pozhary i chrezvychaynye situatsii: predotvrashcheniye, likvidatsiya / Fire and Emergencies: Prevention, Elimination*, 2017, no. 3, pp. 79–83 (in Russian). DOI: 10.25257/FE.2017.3.79-83.
2. G. A. Dorrer. *Dinamika lesnykh pozharov* [Dynamics of forest fires]. Novosibirsk, Publishing House of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2008. 404 p. (in Russian).
3. A. M. Grishin. About mathematical modelling natural fires and catastrophes. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Matematika i mekhanika / Tomsk State University Journal of Mathematics and Mechanics*, 2008, no. 2(3), pp. 105–114 (in Russian).
4. S. K. Krueger. *Wildfire modeling*. NIST GCR 11–953. Gaithersburg, National Institute of Standards and Technology, 2011. 46 p. Available at: <https://www.nist.gov/publications/wildfire-modeling>.

5. D. Morvan. Physical phenomena and length scales governing the behaviour of wildfires: a case for physical modelling. *Fire Technology*, 2011, vol. 47, issue 2, pp. 437–460. DOI: 10.1007/s10694-010-0160-2.
6. J. Mandel, L. S. Bennethum, J. D. Beezley, J. L. Coen, C. C. Douglas, M. Kim, A. Vodacek. A wildland fire model with data assimilation. *Mathematics and Computers in Simulation*, 2008, vol. 79, issue 3, pp. 584–606. DOI: 10.1016/j.matcom.2008.03.015.
7. A. L. Sullivan. Wildland surface fire spread modelling, 1990–2007. 3: Simulation and mathematical analogue models. *International Journal of Wildland Fire*, 2009, vol. 18, no. 4, pp. 387–403. DOI: 10.1071/wf06144.
8. M. C. Rochoux, C. Emery, S. Ricci, B. Cuenot, A. Trouvé. Towards predictive data-driven simulations of wildfire spread — Part II: Ensemble Kalman Filter for the state estimation of a front-tracking simulator of wildfire spread. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2015, vol. 15, no. 8, pp. 1721–1739. DOI: 10.5194/nhess-15-1721-2015.
9. M. C. Rochoux, S. Ricci, D. Lucor, B. Cuenot, A. Trouvé. Towards predictive data-driven simulations of wildfire spread — Part I: Reduced-cost Ensemble Kalman Filter based on a Polynomial Chaos surrogate model for parameter estimation. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2014, vol. 14, no. 11, pp. 2951–2973. DOI: 10.5194/nhess-14-2951-2014.
10. C. Tymstra, R. W. Bryce, B. M. Wotton, O. B. Armitage. Development and structure of Prometheus: the Canadian wildland fire growth simulation model. *Information Report NOR-X-417*. Edmonton, Natural Resources of Canada, Canadian Forest Service, 2010.
11. N. Sardoy, J.-L. Consalvi, B. Porterie, A. C. Fernandez-Pello. Modeling transport and combustion of firebrands from burning trees. *Combustion and Flame*, 2007, vol. 150, issue 3, pp. 151–169. DOI: 10.1016/j.combustflame.2007.04.008.
12. I. Kaur, A. Mentrelli, F. Bosseur, J.-B. Filippi, G. Pagnini. Turbulence and fire-spotting effects into wild-land fire simulators. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulations*, 2016, vol. 39, pp. 300–320. DOI: 10.1016/j.cnsns.2016.03.003.
13. J. Martin, T. Hillen. The spotting distribution of wildfires. *Applied Sciences*, 2016, vol. 6, no. 6, p. 177. DOI: 10.3390/app6060177.
14. P. Cunningham, S. L. Goodrick, M. Y. Hussaini, R. R. Linn. Coherent vortical structures in numerical simulations of buoyant plumes from wildland fires. *International Journal of Wildland Fire*, 2005, vol. 14, issue 1, pp. 61–75. DOI: 10.1071/wf04044.
15. S. L. Kuznetsov, S. V. Puzach, A. V. Yaroshenko. Mathematical model of the spread of the edge of a natural fire, taking into account the main features of vegetation, terrain landscape and state of the atmosphere. In: *Sistemy bezopasnosti–2011. Materialy 20-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Security Systems–2011. Materials of the 20th Scientific and Technical Conference]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2011, p. 195–197 (in Russian).
16. J. M. Varner, C. R. Keyes. Fuels treatment and fire models: errors and corrections. *Fire Management Today*, 2009, vol. 69, no. 3, pp. 47–50.
17. S. V. Puzach, Tuan Anh Le. Justification of the choice of wood pulp combustion parameters for calculation of running crowning forest fires impact on power engineering facilities in Vietnam. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 11, pp. 5–14 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.11.5-14.
18. S. V. Puzach, E. V. Suleykin. New united theoretical and experimental approach to the calculation of the distribution of toxic gases in case of fire in the room. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 2, pp. 13–20 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2016.25.02.13-20.
19. S. V. Puzach, R. G. Akperov. Experimental determination of the specific coefficient of release of carbon monoxide during a fire in the room. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 5, pp. 18–25 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2016.25.05.18-25.
20. S. V. Puzach, E. V. Suleikin, R. G. Akperov, V. G. Puzach. About experimental toxicity assessment of combustion products at fire in premise. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti / Technology of Technosphere Safety*, 2013, issue 4(50). 11 p. (in Russian).
21. Yu. A. Koshmarov. *Prognozirovaniye opasnykh faktorov pozhara v pomeshchenii* [The prediction of dangerous fire factors in the room]. Moscow, State Fire Academy of Ministry of Internal Affairs of Russia Publ., 2000. 118 p. (in Russian).

Поступила 20.09.2019, после доработки 17.10.2019;

принята к публикации 30.10.2019

Received 20 September 2019; Received in revised form 17 October 2019;

Accepted 30 October 2019

Информация об авторах

ПУЗАЧ Сергей Викторович, д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, начальник кафедры инженерной теплофизики и гидравлики, Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, г. Москва, Российская Федерация; Author ID: 7003537835; Researcher ID: U-2907-2019; ORCID: 0000-0001-7234-1339; e-mail: puzachsv@mail.ru

Ле Ань ТУАН, Институт пожарной безопасности Вьетнама, Ханой, Вьетнам; адъюнкт кафедры инженерной теплофизики и гидравлики, Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, г. Москва, Российская Федерация; ORCID: 0000-0002-4171-9949; e-mail: leanhtuant34@gmail.com

Information about the authors

Sergey V. PUZACH, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Honoured Scientist of the Russian Federation, Head of Thermal Physics and Hydraulic Department, State Fire Academy of Emercom of Russia, Moscow, Russian Federation; Author ID: 7003537835; Researcher ID: U-2907-2019; ORCID: 0000-0001-7234-1339; e-mail: puzachsv@mail.ru

Le Anh TUAN, University of Fire-Fighting in Vietnam, Hanoi, Vietnam; Postgraduated Student, Thermal Physics and Hydraulic Department, State Fire Academy of Emercom of Russia, Moscow, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-4171-9949; e-mail: leanhtuant34@gmail.com



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу

Д. Г. Пронин, Д. А. Корольченко

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

— М. : Издательство "ПОЖНАУКА".



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

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

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

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

121352, г. Москва, а/я 26; тел./факс: (495) 228-09-03; e-mail: info@fire-smi.ru

О физической основе локальной токовой перегрузки в автомобильной электрической сети

© А. И. Недобитков[✉], Б. М. Абдеев

Восточно-Казахстанский государственный технический университет
(Республика Казахстан, 070014, г. Усть-Каменогорск, ул. Серикбаева, 19)

РЕЗЮМЕ

Введение. Приведенные в статье данные свидетельствуют о том, что проблема повышения пожарной безопасности автотранспортных средств очень актуальна. Целью статьи является разработка научно обоснованного метода исследования медного проводника, имеющего признаки локальной токовой перегрузки, для установления причины его повреждения в ходе пожарно-технической экспертизы.

Материалы и методика. Исследования проводились с использованием растрового электронного микроскопа JSM-6390LV с приставкой для энергодисперсионного микроанализа. Поверхности разрушения медного проводника подвергались анализу без предварительной пробоподготовки.

Теоретические основы (теория и расчеты). Разработана уточненная модель предельного напряженно-деформированного состояния неупругого чистого изгиба медного стержня, имеющего круглое поперечное сечение. Решение доведено до простых расчетных формул, позволяющих оценивать несущую способность изгибаемых одиночных медных проводников. На конкретном примере показана применимость разработанной математической модели для проведения пожарно-технической экспертизы.

Результаты и обсуждение. Приведены примеры пожаров транспортных средств, возникновение которых обусловлено критическим изгибом жгута проводов. Экспериментальными данными подтверждено, что оплавление медного проводника под действием токовой перегрузки происходит на участке критического изгиба. Обоснована необходимость уточнения формулировки термина “локальная токовая перегрузка”.

Заключение. Предложен метод определения критического изгиба медного проводника, при котором может произойти его оплавление под действием электрического тока. Приведенные в статье данные могут быть использованы специалистами при экспертном исследовании медных проводников, изымаемых с мест пожаров, установлении механизма их повреждения и в конечном счете причины пожара автомобиля.

Ключевые слова: пожар; медный проводник; короткое замыкание; сверхток; медь; растровая электронная микроскопия; напряженно-деформированное состояние; изгиб; диагностический признак; пожарно-техническая экспертиза.

Для цитирования: Недобитков А. И., Абдеев Б. М. О физической основе локальной токовой перегрузки в автомобильной электрической сети // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2019. — Т. 28, № 6. — С. 18–28. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.06.18-28.

✉ Недобитков Александр Игнатьевич, e-mail: a.nedobitkov@mail.ru

On physical basis of local current overload in vehicle electric mains

© Alexandr I. Nedobitkov[✉], Boris M. Abdeev

D. Serikbayev East Kazakhstan State Technical University
(Serikbayeva St., 19, Ust-Kamenogorsk, 070014, Republic of Kazakhstan)

ABSTRACT

Introduction. The data presented in the article indicate that the problem of improving fire safety of vehicles is very topical. The aim of the article is to develop a scientifically based method for studying a copper conductor with signs of local current overload in order to establish the cause of its damage during a fire-technical examination.

Materials and methods. The studies were carried out with a JSM-6390LV scanning electron microscope with an add-on device for energy dispersive microanalysis. The fracture surfaces of the copper conductor were analyzed without preliminary sample preparation.

Theoretical foundations (theory and calculations). An updated model of ultimate stress-strain state of inelastic pure bending of a copper rod of circular cross section has been developed. The solution has been reduced to simple rating formulas that allow us to evaluate the bearing capacity of flexible single copper conductors. The applicability of the developed mathematical model during the fire-technical examination is shown by a specific example.

Results and discussion. Examples of vehicle fires caused by critical bending of the wiring harness are given in the article. Experimental data confirmed that the copper conductor under current overload melts in the critical bend area. The need to clarify the wording of the term “local current overload” is justified.

Conclusion. A method for determining the critical bending of a copper conductor at which its melting can occur under electric current has been proposed. The data presented in the article can be used by experts in an expert study of copper conductors from fire sites to establish the mechanism of their damage and, ultimately, the cause of a vehicle fire.

Keywords: fire; copper conductor; short circuit; overcurrent; copper; scanning electron microscopy; stress-strain state, bending, diagnostic signs; fire technical expertise.

For citation: A. I. Nedobitkov, B. M. Abdeev. On physical basis of local current overload in vehicle electric mains. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2019, vol. 28, no. 6, pp. 18–28 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2019.28.06.18-28.

✉ Alexandr Ignatyevich Nedobitkov, e-mail: a.nedobitkov@mail.ru

Введение

Авторами работ [1–3] наглядно и убедительно проиллюстрировано, что пожары наносят значительный ущерб экономике государства. Большую часть среди них занимают пожары на автотранспортных средствах (далее — АТС). Необходимо отметить, что на современном этапе автомобилестроения доля электромобилей в общем числе АТС неуклонно растет. Например, в Норвегии она составляет 49,14 % от общего количества проданных транспортных средств. В связи с этим выводы авторов работ [4–13] о том, что отдельные элементы электрической системы автомобиля могут служить источником возгорания в случае возникновения аварийного режима в какой-либо функциональной цепи, являются вполне обоснованными.

В частности, авторы работы [6], обосновывая необходимость классификации аварийных пожароопасных режимов работы электросетей автомобилей, подчеркивают, что при исследовании сгоревшего автомобиля практически всегда рассматривается так называемая “электрическая” версия возникновения пожара.

В работах [10, 11], посвященных поведению медных проводников под действием токовой перегрузки, указывается на сложность визуальной дифференциации их оплавлений. Этот вывод в той или иной форме поддерживается авторами [6, 7, 9, 13], а также такими исследователями, как V. Babrauskas, Kuan-Heng Liu, Yung-Hui Shih, Guo-Ju Chen и др., которые предлагают как новые методы исследования, так и уточнение существующих [14–24]. В частности, авторами [6, 11] было введено понятие локальной токовой перегрузки (далее — ЛТП).

В настоящей работе на основе исследований [6, 9, 10, 11, 13, 24] предпринята попытка обосновать математическую модель, применение которой позволит идентифицировать причину разрушения медного проводника под действием токовой перегрузки.

Целью работы является теоретическое обоснование физической природы локальной токовой перегрузки на примере изгиба одиночного медного проводника.

В статье поставлены следующие задачи:

- разработать уточненную модель предельного напряженно-деформированного состояния неупругого чистого изгиба медного стержня с круглым поперечным сечением;
- довести решение до простых расчетных формул, позволяющих оценивать несущую способность изгибаемых одиночных медных проводников;
- экспериментально подтвердить оплавление в области изгиба медного одиночного проводника при протекании тока перегрузки;
- на конкретном примере показать применимость разработанной математической модели для проведения пожарно-технической экспертизы;
- показать необходимость уточнения формулировки термина “локальная токовая перегрузка”.

Материалы и методы исследования

Как и в работе [13], исследования проводились в Центре опережающего развития “Veritas” Восточно-Казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева на растровом электронном микроскопе JSM-6390LV с приставкой для энергодисперсионного микроанализа. По аналогии с [13] поверхности разрушения медного проводника подвергались анализу без предварительной пробоподготовки.

В целях максимальной простоты и наглядности эксперимента объектом лабораторного исследования был выбран одножильный медный проводник без изоляционного покрытия длиной 44 см, сечением $1,76 \text{ мм}^2$. Проводник предварительно изгибали под углом 90° , закрепляли на установке У-1134М и пропускали через него ток. Согласно справочным данным максимально допустимая сила тока для медного проводника такого сечения составляет порядка 23 А.

Теоретические основы

Новизна предлагаемой модели заключается в том, что зависимость между нормальным напряжением σ и относительной продольной деформацией ε аппроксимируется двумя несимметричными функциональными выражениями и общим начальным

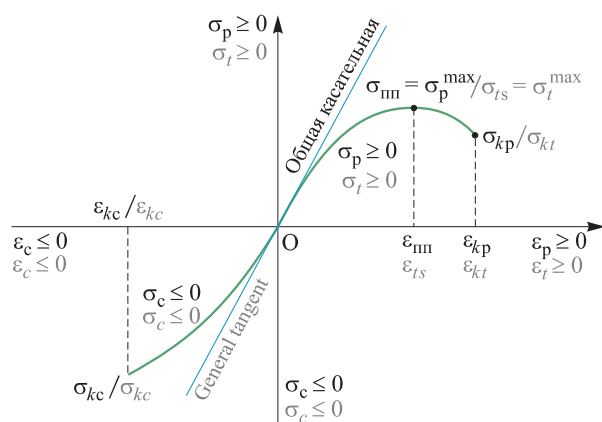


Рис. 1. Диаграмма, построенная на основе выражений (1) и (2)
Fig. 1. Diagram based on expressions (1) and (2)

модулем упругости E [25], описывающими интенсивность внутренних сил и деформаций пластичного материала (рис. 1):

- при растяжении в виде кубической параболы, имеющей экстремум, равный известному пределу прочности $\sigma_{пп}$, и нисходящий участок, оканчивающийся напряжением $\sigma_{кр} < \sigma_{пп}$ и характеризующий повышение пластичности на внешней границе изгибаемого элемента [25]:

$$\sigma_p = \sigma_p(\varepsilon_p) = E\varepsilon_p - A_p \varepsilon_p^3 \geq 0, \quad 0 \leq \varepsilon_p \leq \varepsilon_{кр}; \quad (1)$$

- в виде кривой второй степени, возрастающей в пределах сжатой области сечения:

$$\sigma_c = \sigma_c(\varepsilon_c) = E\varepsilon_c + A_c \varepsilon_c^2 \leq 0, \quad -\varepsilon_{кс} \leq \varepsilon_c \leq 0, \quad (2)$$

где σ_p — нормальное напряжение в растянутой области изгибаемого проводника;

σ_c — нормальное напряжение, действующее в сжатой зоне изгибаемого проводника;

ε_p — относительная линейная растягивающая деформация, соответствующая σ_p ;

ε_c — относительная линейная деформация сжатия, соответствующая σ_c ;

$\sigma_{кс}$, $\sigma_{кр}$, $\varepsilon_{кс}$, $\varepsilon_{кр}$ — соответственно напряжения и линейные относительные деформации в крайних точках (индекс “к”) круглого поперечного сечения изгибаемого проводника;

A_p , A_c — искомые коэффициенты; $A_p = \text{const}$; $A_c = \text{const}$.

Необходимо указать, что эмпирическая кривая (1) имеет широкое распространение в практических приложениях [25].

В основу решаемой статической физико-математической задачи положены классические допущения прикладной механики деформируемого твердого тела в условиях нормального температурного градиента [25–27]:

- 1) материал однородный, сплошной, изотропный;
- 2) в процессе изгиба стержня (рис. 2):
 - форма и диаметр его поперечного сечения d не изменяются;
 - радиус кривизны ρ геометрической оси остается постоянным, т. е.

$$\rho = \text{const}; \quad (3)$$

- координатная ось симметрии x совпадает с центром тяжести O круглого сечения и является нейтральной, если

$$\varepsilon_p = \varepsilon_c = 0, \quad \sigma_p = \sigma_c = 0; \quad (4)$$

- 3) соблюдается гипотеза плоских сечений:

$$\varepsilon = \varepsilon_y = y/\rho; \quad -d/2 \leq y \leq d/2. \quad (5)$$

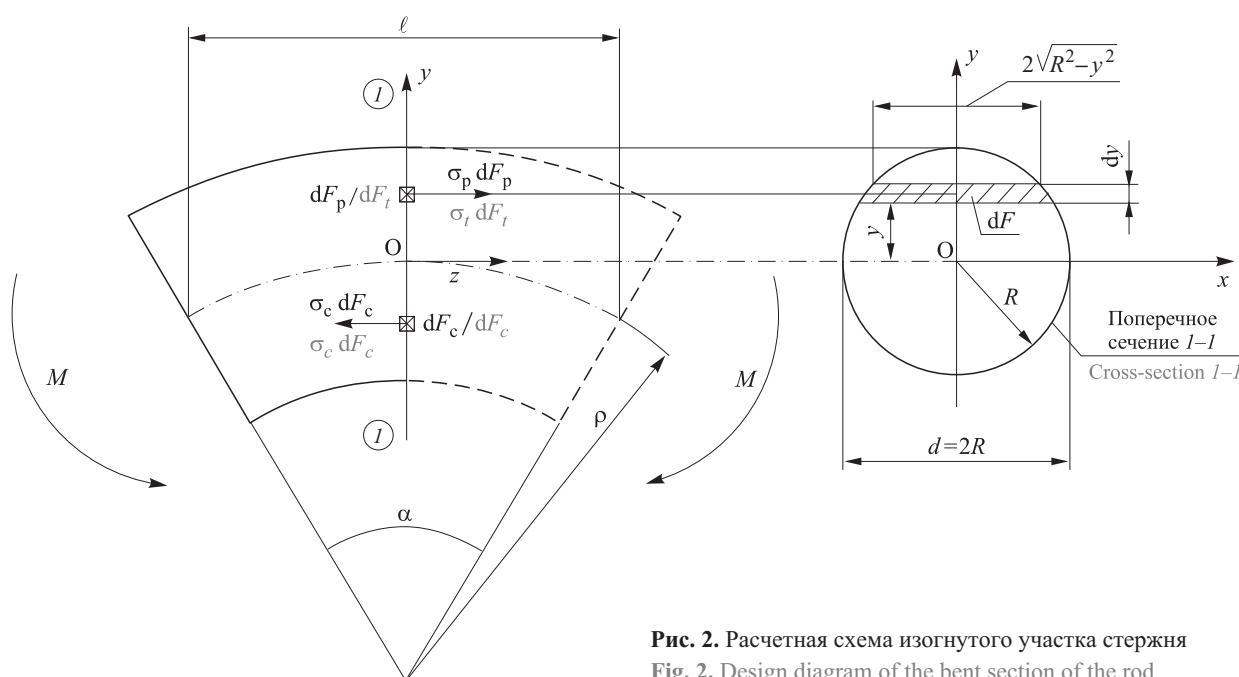


Рис. 2. Расчетная схема изогнутого участка стержня
Fig. 2. Design diagram of the bent section of the rod

Следует отметить, что прямо пропорциональное соотношение (5) между ε и y , широко используемое в механике, было выведено на основании чисто геометрических соображений и поэтому совершенно не связано со свойствами материала и видом графика зависимости напряжения σ от деформации ε [25, 26] (см. рис. 1).

Формулируем с учетом допущений (1), (2) и (5) первое необходимое условие равновесия:

$$N = \int_F \sigma dF = 0, \quad (6)$$

которое эквивалентно отсутствию равнодействующей внутренней силы N , перпендикулярной плоскости любого радиального сечения и обусловленной напряжениями σ_p и σ_c [25, 26] (см. рис. 2):

$$\begin{aligned} \int_F \sigma dF &= \int_{F_p} \sigma_p dF + \int_{F_c} \sigma_c dF = \\ &= 2 \int_0^{0,5d} \sigma_p \sqrt{\frac{d^2}{4} - y^2} dy + 2 \int_{-0,5d}^0 \sigma_c \sqrt{\frac{d^2}{4} - y^2} dy = 0, \end{aligned} \quad (7)$$

где F, F_p, F_c — общая площадь всего сечения и аналогичные геометрические характеристики соответственно его растянутой и сжатой частей; $F_p = F_c$.

Вторым уравнением связываем функцию изгибающего момента M с кривизной бруса $1/\rho = \text{const}$ [25, 26] (см. рис. 2):

$$\begin{aligned} M &= M\left(\frac{1}{\rho}\right) = \int_F \sigma y dF = \int_{F_p} \sigma_p y dF + \int_{F_c} \sigma_c y dF = \\ &= 2 \int_0^{0,5d} \sigma_p y \sqrt{\frac{d^2}{4} - y^2} dy + 2 \int_{-0,5d}^0 \sigma_c y \sqrt{\frac{d^2}{4} - y^2} dy = 0. \end{aligned} \quad (8)$$

Для получения экстремума $\sigma_p^{\max} = \sigma_{\text{min}}$ функции $\sigma_p(\varepsilon_{\text{min}})$, свидетельствующего о наличии требуемой нисходящей ветви на графике $\sigma_p(\varepsilon_{\text{min}})$ (см. рис. 1), преобразуем выражение (1) по методике [25]:

$$\left[\frac{d\sigma_p}{d\varepsilon_p} \right]_{\varepsilon=\varepsilon_{\text{min}}} = E_k = E - 3A_p \varepsilon_{\text{min}}^2 = 0; \quad (9)$$

$$\varepsilon_{\text{min}} = \sqrt{\frac{E}{3A_p}}; \quad A_p = \frac{E}{3\varepsilon_{\text{min}}^2}, \quad (10)$$

где E_k — касательный модуль [25, 26].

Заменяя ε_p на ε_{min} в (1) при $\sigma_p(\varepsilon_{\text{min}}) = \sigma_{\text{min}}$, получаем требуемое выражение для определения физико-механической константы A_p :

$$A_p = \frac{4E^3}{27\sigma_{\text{min}}^2}. \quad (11)$$

Постоянную A_c вычисляем из статического равенства (7) при условии $0,5d = R$. После подстанов-

ки (1), (2) с учетом (5), (11) и раскрытия интегралов с помощью таблиц [28] получаем:

$$\begin{aligned} \int_0^R \left[E \frac{y}{\rho} - A_p \left(\frac{y}{\rho} \right)^3 \right] \sqrt{R^2 - y^2} dy + \\ + \int_{-R}^0 \left[E \frac{y}{\rho} - A_c \left(\frac{y}{\rho} \right)^2 \right] \sqrt{R^2 - y^2} dy = 0. \end{aligned} \quad (12)$$

Для определения значений интегральных выражений, входящих в алгебраическое уравнение (12), воспользуемся двумя общими справочными формулами [28, 29]:

$$\begin{aligned} \int y^n \sqrt{R^2 - y^2} dy &= -\frac{y^{n+1} \sqrt{R^2 - y^2}}{n+2} + \\ &+ \frac{(n-1)R^2}{n+2} \int y^{n-2} \sqrt{R^2 - y^2} dy; \end{aligned} \quad (13)$$

$$\int \sqrt{R^2 - y^2} dy = \frac{1}{2} \left(y \sqrt{R^2 - y^2} + R^2 \arcsin \frac{y}{R} \right), \quad (14)$$

где $n = 1, 2, 3$; $R = 0,5d$ (см. рис. 2).

В итоге получаем:

- при $n = 1$

$$\int_0^R y \sqrt{R^2 - y^2} dy = \frac{R^3}{3} = \frac{d^3}{24}; \quad (15)$$

$$\int_{-R}^0 y \sqrt{R^2 - y^2} dy = -\frac{R^3}{3} = -\frac{d^3}{24}; \quad (16)$$

- при $n = 2$

$$\int_{-R}^0 y^2 \sqrt{R^2 - y^2} dy = \frac{\pi R^4}{16} = \frac{\pi d^4}{256}; \quad (17)$$

- при $n = 3$

$$\int_{-R}^0 y^3 \sqrt{R^2 - y^2} dy = \frac{2R^5}{15} = \frac{d^5}{240}. \quad (18)$$

Подставляем (15)–(18) в соотношение (12), исключаем A_p с помощью (11) и в результате получаем

$$A_c = \frac{64E^3 d}{405\pi \sigma_{\text{min}}^2} \left(\frac{1}{\rho} \right). \quad (19)$$

Далее, используя интегральную сумму (8) и формулы (1), (2), (5), (11), (19) и учитывая со знаком “минус” (17) и (18), находим изгибающий момент M в зависимости от кривизны $1/\rho$ деформированной оси стержня (см. рис. 2):

$$\begin{aligned} M &= M\left(\frac{1}{\rho}\right) = 2E\left(\frac{1}{\rho}\right) \int_0^R y^2 \sqrt{R^2 - y^2} dy - \\ &- \frac{8E^3}{27\sigma_{\text{min}}^2} \left(\frac{1}{\rho}\right)^3 \int_0^R y^4 \sqrt{R^2 - y^2} dy + \\ &+ 2E\left(\frac{1}{\rho}\right) \int_{-R}^0 y^2 \sqrt{R^2 - y^2} dy + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{128E^3d}{405\pi\sigma_{\text{III}}^2} \left(\frac{1}{\rho}\right)^3 \int_{-R}^0 y^3 \sqrt{R^2 - y^2} dy = \\
& = \left[\frac{1}{\rho} - \frac{64E^2d^2}{\pi\sigma_{\text{III}}^2} \left(\frac{8}{405\pi \cdot 15} + \frac{\pi}{27 \cdot 256} \right) \left(\frac{1}{\rho}\right)^3 \right] = \\
& = \frac{\pi d^4 E}{64} \left[\frac{1}{\rho} - 0,0178 \frac{E^2 d^2}{\sigma_{\text{III}}^2} \left(\frac{1}{\rho}\right)^3 \right]; \\
& 0 \leq \frac{1}{\rho} \leq \left(\frac{1}{\rho}\right)_{\text{max}}, \quad (20)
\end{aligned}$$

где дополнительный интеграл $\int_0^R y^4 \sqrt{R^2 - y^2} dy$ вы-

числяется на основе формулы (13) при $n = 4$, с учетом (17) и при замене $R = 0,5d$:

$$\int_0^R y^4 \sqrt{R^2 - y^2} dy = \frac{\pi d^6}{8 \cdot 256} = \frac{\pi d^6}{2048}. \quad (21)$$

Дифференцируя (20) по параметру $1/\rho$ и приравняв производную нулю, получаем расчетные аналитические зависимости для наибольшей кривизны $(1/\rho)_{\text{max}}$ и минимального (предельного) радиуса ρ_{min} , соответствующие M_{max} :

$$\begin{aligned}
& \left[\frac{dM}{d\left(\frac{1}{\rho}\right)} \right]_{\frac{1}{\rho} = \left(\frac{1}{\rho}\right)_{\text{max}}} = \frac{\pi d^4 E}{64} \times \\
& \times \left[1 - 0,0534 \frac{E^2 d^2}{\sigma_{\text{III}}^2} \left(\frac{1}{\rho}\right)_{\text{max}}^2 \right] = 0. \quad (22)
\end{aligned}$$

Отсюда следует, что

$$\left(\frac{1}{\rho}\right)_{\text{max}}^2 = 4,327 \frac{\sigma_{\text{III}}}{Ed}, \quad \rho_{\text{min}} = 0,231 \frac{Ed}{\sigma_{\text{III}}}, \quad (23)$$

а функция (20) достигает экстремума:

$$M_{\text{max}} = M\left(\frac{1}{\rho}\right)_{\text{max}} = 0,1416 d^3 \sigma_{\text{III}}. \quad (24)$$

Руководствуясь зависимостью

$$\sigma_p = \sigma_p(y) = E \left(\frac{1}{\rho}\right)_{\text{max}} y - A_p \left(\frac{1}{\rho}\right)_{\text{max}}^3 y^3, \quad (25)$$

основанной на (1), (5) и (23), а также [25], определяем ординату y_m , соответствующую максимальному значению $\sigma_p^{\text{max}} = \sigma_{\text{III}}$ (см. рис. 1 и 2):

$$\left[\frac{d\sigma_p}{dy} \right]_{y=y_m} = E \left(\frac{1}{\rho}\right)_{\text{max}} - 3A_p \left(\frac{1}{\rho}\right)_{\text{max}}^3 y_m^2 = 0; \quad (26)$$

$$\begin{aligned}
y_m &= \rho_{\text{min}} \sqrt{\frac{E}{3A_p}} = 0,231 \frac{Ed}{\sigma_{\text{III}}} \sqrt{\frac{27E\sigma_{\text{III}}^2}{12E^3}} = \\
&= 0,3465d = 0,693R. \quad (27)
\end{aligned}$$

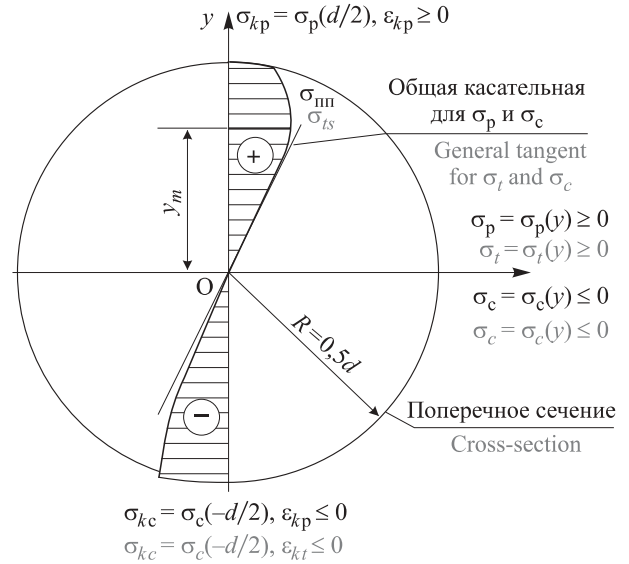


Рис. 3. Эпюры напряжений в плоскости поперечного сечения круглого стержня, соответствующие экстремумам σ_{III} , ρ_{min} и M_{max}

Fig. 3. Stress plots in the cross-sectional plane of a round rod corresponding to extremes σ_{III} , ρ_{min} , M_{max}

Напряжения σ_{kp} и σ_{kc} в крайних волокнах $y = \pm d/2$ исследуемого поперечного сечения (см. рис. 1 и 2) определяются подстановкой в формулы (2) и (25) констант A_p и A_c , полученных в (11) и (19), и предельных значений относительных деформаций (см. рис. 1):

$$\begin{aligned}
\epsilon_{kp} &= \epsilon_p\left(\frac{d}{2}\right) = \frac{d}{2} \left(\frac{1}{\rho}\right)_{\text{max}}; \\
\epsilon_{kc} &= \epsilon_c\left(-\frac{d}{2}\right) = -\frac{d}{2} \left(\frac{1}{\rho}\right)_{\text{max}}. \quad (28)
\end{aligned}$$

Таким образом, согласно (5) и (23) (см. рис. 2) имеем:

$$\begin{aligned}
\sigma_{kp} &= \sigma_p\left(\frac{d}{2}\right) = 0,6635 \sigma_{\text{III}}; \\
\sigma_{kc} &= \sigma_c\left(-\frac{d}{2}\right) = -1,14471 \sigma_{\text{III}}. \quad (29)
\end{aligned}$$

Численные значения, полученные из (19)–(27), полностью согласуются с обобщенной графической иллюстрацией эпюр внутренних силовых факторов (рис. 3).

По значению ρ_{min} , вычисленному по (23), можно определить радиус закругления проводника на участке перегиба длиной l с центральным углом α (см. рис. 2) [29]:

- в случае $l \geq l_{\text{min}}$

$$l_{\text{min}} = \frac{\alpha \pi \rho_{\text{min}}}{180}, \quad 0 \leq \alpha \leq 180^\circ; \quad (30)$$

- в случае $\alpha \leq \alpha_{\text{max}}$

$$\alpha_{\text{max}} = \frac{180l}{\pi \rho_{\text{min}}}. \quad (31)$$

Очевидно, что для проведения расчетов должен быть известен один из параметров — α или l .

Расчеты

Для определения физико-геометрических характеристик ($1/\rho$)_{max}, ρ _{min}, M _{max}, y_m , σ_{kp} и σ_{kc} приведем пример апробации выведенных формул (23), (24), (27) и (29) на примере одиночного медного проводника диаметром 1 мм, имеющего начальный модуль упругости $E = 13000$ кгс/мм² и предел прочности $\sigma_{\text{пн}} = 50$ кгс/мм²:

$$\left(\frac{1}{\rho}\right)_{\text{max}} = 4,32 \frac{\sigma_{\text{пн}}}{Ed} = 4,327 \frac{50}{13000 \cdot 1} = 0,0166 \text{ мм}^{-2};$$

$$\rho_{\text{min}} = 1/0,0166 = 60,2 \text{ мм};$$

$$M_{\text{max}} = 0,1416d^3 \sigma_{\text{пн}} = 7,08 \text{ кгс} \cdot \text{мм};$$

$$y_m = 0,693R = 0,3465 \text{ мм};$$

$$\sigma_{kp} = 0,6635 \sigma_{\text{пн}} = 33,18 \text{ кгс/мм}^2;$$

$$\sigma_{kc} = -1,1447 \sigma_{\text{пн}} = -57,24 \text{ кгс/мм}^2.$$

Таким образом, изгиб медного проводника диаметром 1 мм с радиусом закругления 60 мм с точки зрения напряженно-деформированного состояния уже будет являться предельно допустимым. Это не означает, что проводник под действием этих напряжений разрушится в обычных условиях. Расчет наглядно демонстрирует, что сжимающие напряжения в поверхностном слое превышают предел прочности, в то время как растягивающие напряжения еще не достигли критического значения. В частности, если по такому медному проводнику с критическим радиусом закругления будет пропущен сверхток даже небольшой кратности, например 1,8–2,0, то через какой-то промежуток времени именно на этом участке произойдет оплавление проводника. Вполне очевидно, что оплавление проводника является пожароопасным режимом. Необходимо напомнить, что в работе [10] экспериментально установлено, что при 3–4-кратной токовой перегрузке в приповерхностном слое проводника имеет место оплавление границ зерен, повышенная концентрация пор и общее поверхностное оплавление. Таким образом, результаты расчета согласуются с экспериментальными данными [10].

Результаты и их обсуждение

По мнению авторов [6, 11], локальная токовая перегрузка — это аварийный пожароопасный режим работы электросети, возникающий вследствие локального уменьшения площади сечения жилы электропроводника.

В работах [6, 11] отмечается, что в специальной технической литературе режим ЛТП не выделяют

среди прочих аварийных пожароопасных электрических режимов, отсутствует также анализ его пожарной опасности и методика установления причастности к возникновению пожара. Таким образом, авторы [6, 11] сделали один из первых шагов в данном направлении. При этом они прямо указывают, что отличительной особенностью ЛТП является то, что сила тока для всей цепи не изменяется. Это означает, что устройство автоматической защиты (автомат защиты, предохранитель), реагирующее на рост тока при КЗ или обычной токовой перегрузке, не отключит электросеть от источника питания, в результате чего выделение тепла на локальном участке будет происходить неконтролируемо [6, 11].

В настоящей статье, помимо основной задачи, предпринята попытка показать, что формулировка термина ЛТП, предложенная авторами [6, 11], требует уточнения.

Следует напомнить, что согласно п. 3.1.11 [30] в сетях, защищаемых от перегрузок, проводники следует выбирать по расчетному току, причем таким образом, чтобы по отношению к длительно допустимым токовым нагрузкам аппараты защиты имели кратность не более 80–100 % от величины номинального тока. Иначе говоря, аппарат защиты не будет срабатывать при кратности тока перегрузки менее 1,8–2,0.

В работе [13] экспериментально доказано, что медный проводник при токовой перегрузке в первую очередь подвергается разрушению в местах, в которых возникает предварительное напряжение вследствие пластической деформации.

Кроме того, согласно п. 2.3.20 [30] “радиусы внутренней кривой изгиба кабелей должны иметь по отношению к их наружному диаметру кратности не менее указанных в стандартах или технических условиях”.

Например, согласно п. 9.1 ГОСТ 23586–96 (Монтаж электрической радиоэлектронной аппаратуры и приборов. Технические требования к жгутам и их креплению) “внутренний радиус изгиба укладываемого в аппаратуре жгута диаметром не более 20 мм должен быть не менее трех диаметров жгута”. Практика показывает, что далеко не всегда это требование выполняется. На рис. 4 видно, что для ограничения перемещения двужильный провод был завязан узлом, и это привело к локальному нагреву на данном участке электрической цепи. Только благодаря специфическому запаху нагретой изоляции этот дефект был обнаружен. Если бы дефект не был устранен, то изоляция бы воспламенилась. Указанный случай хорошо подпадает под определение ЛТП, согласно которому устройство автоматической защиты при приведенной в качестве примера токовой перегрузке не отключит электросеть от источника

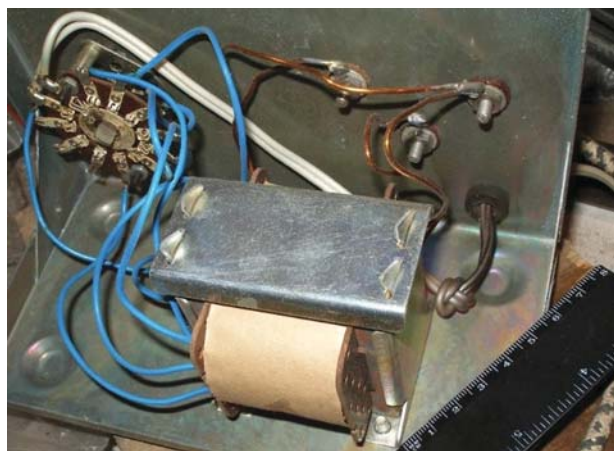


Рис. 4. Изменение цвета изоляции провода на участке, имеющем остаточные механические напряжения

Fig. 4. Changing the color of the wire insulation in the area having residual mechanical stresses

питания и выделение тепла на локальном участке будет происходить неконтролируемо. Следует подчеркнуть, что уменьшения площади сечения жилы электропроводника в данном случае не наблюдается.

В отношении автомобильной электропроводки следует отметить, что в период 2013–2014 гг. имели место многочисленные случаи возгорания новых автомобилей LADA Granta после установки автомагнитолы Sony (рис. 5).

Очаг пожара располагался в правой части панели приборов в области прокладки антенного кабеля (см. рис. 5,а). Штатная глубина отсека для головного устройства у данного автомобиля меньше, чем ширина автомагнитолы Sony, поэтому в процессе установки необходимо было удалить пластиковые элементы панели приборов. В случае некорректного удаления жгут проводов критически изгибался (на угол более 90°), так что касался корпуса магнитолы. При протекании тока по участку критического изгиба провода изоляция оплавлялась, но штатный предохранитель при этом не срабатывал. На рис. 5,б видно, что изоляция на плюсовом проводе питания повреждена на участке от соединительного разъема

до корпуса адаптера. При контакте корпуса магнитолы с этим плюсовым проводом ток, минуя защитный предохранитель магнитолы (10 А), протекал через экранированную оплетку антенного кабеля на кузов автомобиля, вследствие чего антенный кабель воспламенялся по всей длине (см. рис. 5,в). Возможная ссылка на то обстоятельство, что провод оплавился от контакта с радиатором магнитолы, противоречит п. 1.4.16 [30], так как согласно ему кабели и изолированные провода с медными жилами могут иметь температуру нагрева не выше 120–150 °С. Согласно ГОСТ 5960–72 (Пластикат поливинилхлоридный для изоляции и защиты оболочек проводов и кабелей) “температура размягчения изоляции составляет 175–190 °С в зависимости от марки изоляции”. Вполне очевидно, что радиатор автомагнитолы в штатном режиме работы не нагревается до такой температуры. Как следует из этого примера, уменьшения площади сечения жилы электропроводника в данном случае также нет.

В ходе эксперимента по пропусканию тока перегрузки по изогнутому под углом 90° одножильному медному проводнику без изоляции установлено, что в области изгиба имеют место оплавления, которые визуально трудно обнаружить (рис. 6). Следует подчеркнуть, что в месте изгиба уменьшения сечения проводника визуально не наблюдается.

Таким образом, экспериментальные данные полностью соответствуют расчетным, что подтверждает адекватность выбранной математической модели реальным условиям.

Резюмируя изложенное, можно сделать вывод, что специалист, проводящий осмотр сторевавшего транспортного средства в целях установления причины пожара, должен обращать внимание на изгиб элементов электропроводки в очаговой зоне, даже если следы оплавления визуально не обнаруживаются, в том числе из-за применения карбонизированной изоляции и пр. В случае изыятия таких фрагментов для лабораторных исследований необходимо указывать радиус закругления, измерив его циркулем

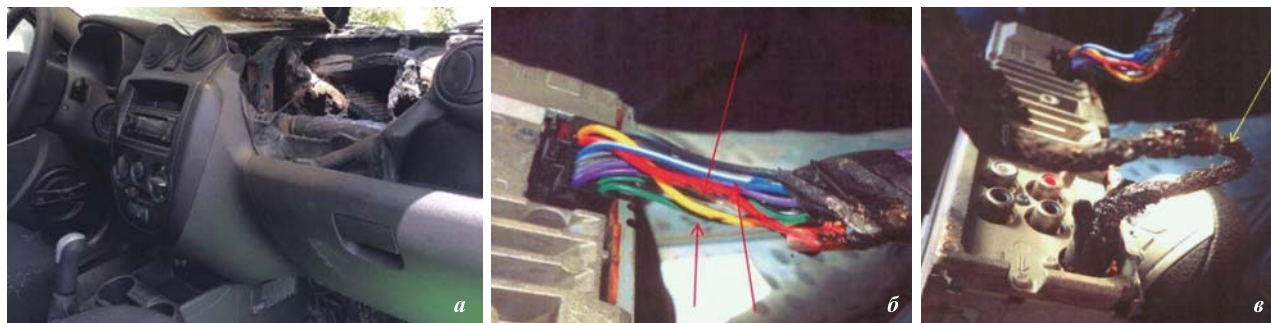


Рис. 5. Пример из практики исследования обстоятельств пожаров: а — очаг пожара; б — повреждения изоляции провода; в — повреждения кабеля антенны

Fig. 5. Example from practice of research of circumstances of fires: а — the center of the fire; б — damages of the wire insulation; в — damages of a cable of the antenna

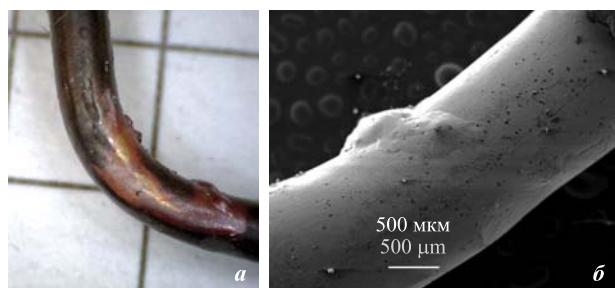


Рис. 6. Оплавление медного проводника на участке изгиба: *a* — увеличение 7 $\times$; *b* — увеличение 35 $\times$

Fig. 6. Burn-off of copper conductor on the area of bend: *a* — increase of 7 $\times$; *b* — increase of 35 $\times$

в процессе осмотра. Несомненно, измеренный таким образом радиус изгиба дает лишь общее представление, которое затем проверяется расчетным путем и лабораторными исследованиями. В случае если на изгибе имеют место микрооплавления, а расчеты показывают результат, близкий к критическому радиусу закругления, то вывод о причине пожара очевиден.

В заключение необходимо отметить, что в работе [8] было подчеркнуто, что использование результатов инструментальных исследований в судебно-экспертном исследовании причины пожара даже в качестве “промежуточного этапа” не снижает их ценности как важнейшего источника объективной информации, без которой выводы о причине пожара будут малоубедительными.

Заключение

Примерами из практики наглядно проиллюстрировано, что в местах критического изгиба медных

проводников имеет место оплавление изоляции, вызванное токовой перегрузкой, которая не фиксируется приборами защиты.

Экспериментально подтверждено оплавление в области критического изгиба медного одиночного проводника при протекании через него тока перегрузки.

Разработана уточненная модель предельного напряженно-деформированного состояния неупругого чистого изгиба медного стержня с круглым поперечным сечением.

Уточненная модель доведена до простых расчетных формул, позволяющих оценивать несущую способность изгибаемых одиночных медных проводников.

На конкретном примере показана применимость разработанной математической модели для проведения пожарно-технической экспертизы.

Настоящим исследованием установлена необходимость уточнения формулировки термина “локальная токовая перегрузка”. В частности, термин ЛТП может быть дополнен фразой: “возникающий вследствие локального сокращения площади сечения жилы электропроводника или уменьшения его несущей способности”.

Полученные результаты могут быть использованы при экспертном исследовании фрагментов медных проводников, изымаемых с мест пожаров, установления механизма их повреждения и в конечном счете причины пожара транспортного средства. 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. Чешко И. Д., Скودтаев С. В., Теплякова Т. Д. Классификация аварийных пожароопасных режимов работы электросетей автомобилей и схема выявления их следов после пожара // Проблемы управления рисками в техносфере. — 2019. — № 1(49). — С. 107–115.
7. Богатищев А. И. Комплексные исследования пожароопасных режимов в сетях электрооборудования автотранспортных средств : дис. ... канд. техн. наук. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2002. — 269 с.
8. Чешко И. Д. Экспертиза пожаров (объекты, методы, методики исследования). — 2-е изд., стереотип. — СПб. : СПб ИПБ МВД РФ, 1997. — 562 с.

9. Чешко И. Д., Мокряк А. Ю., Скودтаев С. В. Механизм формирования следов протекания сверхтоков по медному проводнику // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. — 2015. — № 1. — С. 41–46.
10. Мокряк А. Ю. Установление природы оплавлений медных проводников и латунных токоведущих изделий при экспертизе пожаров на объектах энергетики : дис. ... канд. техн. наук. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2018. — 140 с.
11. Скودтаев С. В. Механизм и морфологические признаки аварийных пожароопасных процессов в электросетях автомобилей : дис. ... канд. техн. наук. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2019. — 144 с.
12. Смелков Г. И., Чешко И. Д., Плотников В. Г. Экспериментальное моделирование пожароопасных аварийных режимов в электрических проводах // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. — 2017. — № 3. — С. 121–128.
13. Недобитков А. И. Особенности токовой перегрузки в автомобильной электрической сети // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2019. — Т. 28, № 4. — С. 42–50. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.04.42-50.
14. Смелков Г. И. Пожарная безопасность электропроводок. — М. : ООО “Кабель”, 2009. — 328 с.
15. 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.
16. 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.
17. 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.
18. Babrauskas V. Arc mapping: a critical review // Fire Technology. — 2018. — Vol. 54, Issue 3. — P. 749–780. DOI: 10.1007/s10694-018-0711-5.
19. Hoffmann D. J., Swonder E. M., Burr M. T. Arc faulting in household appliances subjected to a fire test // Fire Technology. — 2016. — Vol. 52, Issue 6. — P. 1659–1666. DOI: 10.1007/s10694-015-0556-0.
20. Kuan-Heng Liu, Yung-Hui Shih, Guo-Ju Chen, Jaw-Min Chou. Microstructural study on oxygen permeated arc beads // Journal of Nanomaterials. — 2015. — Article ID 373861. — 8 p. DOI: 10.1155/2015/373861.
21. Lewis K. H., Templeton B. Morphological variation in copper arcs during post-arc fire heating // Proceedings of 3rd International Symposium on Fire Investigation Science & Technology. — Sarasota : National Association of Fire Investigators, 2008. — P. 183–195.
22. Murray I., Ajersch F. New metallurgical techniques applied to fire investigation // Fire & Materials '2009. — London : Interscience Communications, Ltd., 2009. — P. 857–869.
23. Carey N. J. Developing a reliable systematic analysis for arc fault mapping : Ph. D. diss. — Strathclyde, United Kingdom : University of Strathclyde, 2009.
24. Roby R. J., McAllister J. Forensic investigation techniques for inspecting electrical conductors involved in fire // Final Technical Report for Award No. 239052. — Columbia : Combustion Science & Engineering, Inc., 2012.
25. Лукаш П. А. Основы нелинейной строительной механики. — М. : Стройиздат, 1978. — 204 с.
26. Тимошенко С. П., Гере Дж. Механика материалов / Пер. с англ. — 2-е изд. — СПб. : Лань, 2002. — 672 с.
27. Филин А. П. Прикладная механика твердого деформируемого тела. — М. : Наука, 1975. — Т. 1. — 832 с.
28. Смолянский М. Л. Таблицы неопределенных интегралов. — М. : Физматгиз, 1963. — 112 с.
29. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. — 13-е изд., исправл. — М. : Наука, Физматгиз, 1986. — 544 с.
30. Правила устройства электроустановок. Все действующие разделы шестого и седьмого изданий с изменениями и дополнениями. — Новосибирск : Норматика, 2018. — 462 с.

REFERENCES

1. N. N. Brushlinskiy, S. V. Sokolov, P. Wagner. *Chelovechestvo i pozhary* [Humanity and fires]. Moscow, IPTs Maska Publ., 2007. 142 p. (in Russian).

2. J. G. Quintiere. *Fundamentals of fire phenomena*. England, Chichester, John Wiley and Sons Ltd, 2006. DOI: 10.1002/0470091150.fmatter.
3. C. Beyler, D. Carpenter, P. Dinunno. *Introduction to fire modeling. Fire Protection Handbook*. 20th ed. Quincy, National Fire Protection Association, 2008.
4. D. Severy, D. Blaisdell, J. Kerkhoff. 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. I. D. Cheshko, S. V. Skodtaye, T. D. Teplyakova. Classification of emergency fire-hazardous operations of electric networks of cars and the scheme of identifying their trails after the fire. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere / Problems of Technosphere Risk Management*, 2019, no. 1(49), pp. 107–115 (in Russian).
7. A. I. Bogatishchev. *Comprehensive research of fire hazardous modes in mains of electrical equipment of vehicles*. Cand. Sci. (Eng.) Diss. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2002. 269 p. (in Russian).
8. I. D. Cheshko. *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).
9. I. D. Cheshko, A. Yu. Mokryak, S. V. Skodtaye. Formation mechanism of excess currents passage traces in copper conductors. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MChS Rossii / Herald of St. Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia*, 2015, no. 1, pp. 41–46 (in Russian).
10. A. Yu. Mokryak. *Determination of the nature of melting of copper conductors and brass current-carrying products in the examination of fires at power facilities*. Cand. Sci. (Eng.) Diss. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2018. 140 p. (in Russian).
11. S. V. Skodtaye. *Mechanism and morphological features of emergency fire-dangerous processes in electric networks of cars*. Cand. Sci. (Eng.) Diss. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2019. 144 p. (in Russian).
12. G. I. Smelkov, I. D. Cheshko, V. G. Plotnikov. Experimental modeling of fire-alarm emergency modes in electrical wires. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MChS Rossii / Herald of St. Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia*, 2017, no. 3, pp. 121–128 (in Russian).
13. A. I. Nedobitkov. Peculiarities of current overload in the car electric network. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2019, vol. 28, no. 4, pp. 42–50 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2019.28.04.42-50.
14. G. I. Smelkov. *Pozharnaya bezopasnost elektroprovodok* [Fire safety of wirings]. Moscow, Cable LLC. Publ., 2009. 328 p. (in Russian).
15. V. Babrauskas. 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.
16. M. Delplace, E. Vos. 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.
17. S. A. Wright, J. D. Loud, R. A. Blanchard. 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.
18. V. Babrauskas. Arc mapping: a critical review. *Fire Technology*, 2018, vol. 54, issue 3, pp. 749–780. DOI: 10.1007/s10694-018-0711-5.
19. D. J. Hoffmann, E. M. Swonder, M. T. Burr. Arc faulting in household appliances subjected to a fire test. *Fire Technology*, 2016, vol. 52, issue 6, pp. 1659–1666. DOI: 10.1007/s10694-015-0556-0.
20. Kuan-Heng Liu, Yung-Hui Shih, Guo-Ju Chen, Jaw-Min Chou. Microstructural study on oxygen permeated arc beads. *Journal of Nanomaterials*, 2015, article ID 373861. 8 p. DOI: 10.1155/2015/373861.
21. K. H. Lewis, B. Templeton. Morphological variation in copper arcs during post-arc fire heating. In: *Proceedings of 3rd International Symposium on Fire Investigation Science & Technology*. Sarasota, National Association of Fire Investigators, 2008, pp. 183–195.
22. I. Murray, F. Ajersch. New metallurgical techniques applied to fire investigation. In: *Fire & Materials '2009*. London, Interscience Communications, Ltd., 2009, pp. 857–869.

23. N. J. Carey. *Developing a reliable systematic analysis for arc fault mapping*. Ph. D. diss. Strathclyde, United Kingdom, University of Strathclyde, 2009.
24. R. J. Roby, J. McAllister. Forensic investigation techniques for inspecting electrical conductors involved in fire. In: *Final Technical Report for Award No. 239052*. Columbia, Combustion Science & Engineering, Inc., 2012.
25. P. A. Lukash. *Osnovy nelineynoy stroitelnoy mekhaniki* [Fundamentals of nonlinear structural mechanics]. Moscow, Stroyizdat, 1978. 204 p. (in Russian).
26. J. V. Gere, S. P. Timoshenko. *Mechanics of materials*. 3rd ed. London, Chapman & Hall, 1991. 807 p. DOI: 10.1007/978-1-4899-3124-5 (Russ. ed.: S. P. Timoshenko, J. V. Gere. *Mekhanika materialov*. 2nd ed. Saint Petersburg, Lan Publ., 2002. 672 p.).
27. A. P. Filin. *Prikladnaya mekhanika tverdogo deformiruyemogo tela* [Applied mechanics of a solid deformable body]. Moscow, Nauka Publ., 1975. Vol. 1, 832 p. (in Russian).
28. M. L. Smolyanskiy. *Tablitsy neopredelennykh integralov* [Tables of indefinite integrals]. Moscow, Fizmatgiz Publ., 1963. 112 p. (in Russian).
29. I. N. Bronshteyn, K. A. Semendyaev. *Spravochnik po matematike dlya inzhenerov i uchashchikhsya vtuzov* [Mathematics handbook for engineers and students in higher technical education]. 13th ed. Moscow, Nauka Publ., Fizmatgiz Publ., 1986. 544 p. (in Russian).
30. *Pravila ustroystva elektroustanovok. Vse deystviyushchiye razdely shestogo i sedmogo izdaniy s izmeneniyami i dopolnleniyami* [Rules of arrangement of electrical installations]. Novosibirsk, Normatika Publ., 2018. 462 p. (in Russian).

Поступила 06.10.2019, после доработки 18.11.2019;
принята к публикации 25.11.2019

Received 6 October 2019; Received in revised form 18 November 2019;
Accepted 25 November 2019

Информация об авторах

НЕДОБИТКОВ Александр Игнатьевич, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, Восточно-Казахстанский государственный технический университет, Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск; ORCID: 0000-0003-4605-9668; e-mail: a.nedobitkov@mail.ru

АБДЕЕВ Борис Масгутович, канд. техн. наук, профессор кафедры “Профессиональное обучение”, Восточно-Казахстанский государственный технический университет, Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск; ORCID: 0000-0002-7188-7599; e-mail: m.abdeeva@mail.ru

Information about the authors

Alexandr I. NEDOBITKOV, Cand. Sci. (Eng.), Senior Research, D. Serikbayev East Kazakhstan State Technical University, Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan; ORCID: 0000-0003-4605-9668; e-mail: a.nedobitkov@mail.ru

Boris M. ABDEEV, Cand. Sci. (Eng.), Professor, Department Vocational training, D. Serikbayev East Kazakhstan State Technical University, Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan; ORCID: 0000-0002-7188-7599; e-mail: m.abdeeva@mail.ru

Расчет фактического предела огнестойкости незащищенных стальных конструкций при различных температурных режимах пожара

© Ю. Н. Шебеко, А. В. Зубань, А. Ю. Шебеко✉

Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России
(Россия, 143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12)

РЕЗЮМЕ

Введение. В соответствии с требованиями СП 2.13130.2012 (п. 5.4.3) допускается применение незащищенных стальных конструкций, если требуемый предел их огнестойкости составляет R 15 (RE 15, REI 15). Однако фактический предел огнестойкости зависит как от приведенной толщины конструкции, так и от температурно-режима пожара (“целлюлозный” или углеводородный). Работа посвящена расчетной оценке фактического предела огнестойкости незащищенных стальных конструкций для температурных режимов, соответствующих стандартным “целлюлозному” и углеводородному пожарам, в зависимости от приведенной толщины конструкций.

Методика расчета и полученные результаты. Численное моделирование прогрева конструкций проводили с помощью программного комплекса FDS 6. Рассматривались стальные незащищенные конструкции с приведенной толщиной $\delta_{кр}$ от 3 до 60 мм. Предел огнестойкости устанавливали по достижении конструкцией температуры 500 °С. Получены зависимости фактического предела огнестойкости конструкции от ее приведенной толщины $\delta_{кр}$, который для углеводородного режима пожара оказался существенно ниже, чем для “целлюлозного”. Найдена зависимость отношения пределов огнестойкости для углеводородного и “целлюлозного” пожаров от приведенной толщины строительной конструкции.

Заключение. Результаты работы подтверждают обоснованность требований СП 2.13130.2012 (п. 5.4.3) в части возможности применения незащищенных стальных конструкций, если требуемый предел огнестойкости составляет R 15 (RE 15, REI 15) для “целлюлозного” пожара. В то же время для углеводородного режима пожара данное требование неприменимо.

Ключевые слова: “целлюлозный” пожар; углеводородный пожар; приведенная толщина конструкции; FDS 6; прогрев конструкции.

Для цитирования: Шебеко Ю. Н., Зубань А. В., Шебеко А. Ю. Расчет фактического предела огнестойкости незащищенных стальных конструкций при различных температурных режимах пожара // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2019. — Т. 28, № 6. — С. 29–34. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.06.29-34.

✉ Шебеко Алексей Юрьевич, e-mail: ay_shebeko@mail.ru

An evaluation of an actual fire resistance limit of non-protected steel structures for different temperature regimes of fires

© Yury N. Shebeko, Andrey V. Zuban, Aleksey Yu. Shebeko✉

All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia
(VNIPO, 12, Balashikha, Moscow Region, 143903, Russian Federation)

ABSTRACT

Introduction. A normative document Set of Rules 2.13130.2012 (item 5.4.3) states that if an required fire resistance limit of structures is equal to R 15 (RE 15, REI 15) an application of non-protected steel structures is possible. But an actual fire resistance limit depends both on a reduced thickness of the structure and a temperature regime of a fire (for example “cellulose” or hydrocarbon regime). This study is aimed on a numerical evaluation of the actual fire resistance limit of the non-protected steel structures for the standard “cellulose” and hydrocarbon temperature regimes of fires at various reduced thickness of the structures.

Methodology and results. A numerical modeling of a heating of the structures was carried out using the software FDS 6. The non-protected steel structures having the reduced thickness δ_{cr} from 3 to 60 mm were considered. The fire resistance limits were determined as a time interval from a beginning of the fire to the time moment when the temperature of the structure reaches a value of 500 °C. Dependences of the actual fire resistance limits on δ_{cr} were obtained. These limits for the hydrocarbon fire were substantially lower than for “cellulose” one. A dependence of a ratio of the fire resistance limits for the hydrocarbon and “cellulose” fires on the reduced thickness of the structure was found.

Conclusion. The results of this study confirm the requirement of the normative document Set of Rules 2.13130.2012 (item 5.4.3) concerning a possibility of the application of the non-protected steel structures in the case when the required fire resistance limit is equal to R 15 (RE 15, REI 15), but only for the “cellulose” fire. But this requirement is not valid for the hydrocarbon fire.

Keywords: “cellulose” fire; hydrocarbon fire; reduced thickness of a structure; software FDS 6; temperatures of steel structures.

For citation: Yu. N. Shebeko, A. V. Zuban, A. Yu. Shebeko. An evaluation of an actual fire resistance limit of non-protected steel structures for different temperature regimes of fires. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2019, vol. 28, no. 6, pp. 29–34 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2019.28.06.29-34.

✉ Aleksey Yuryevich Shebeko, e-mail: ay_shebeko@mail.ru

Введение

В соответствии с требованиями нормативных документов по пожарной безопасности (см., например, п. 5.4.3 СП 2.13130.2012 “Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты”), если требуемый предел огнестойкости конструкций (за исключением конструкций в составе противопожарных преград) составляет R 15 (RE 15, REI 15), допускается применять незащищенные стальные конструкции независимо от их фактического предела огнестойкости. Исключением являются случаи, когда предел огнестойкости хотя бы одного из элементов несущих конструкций (структурные элементы ферм, балок, колонн и т. п.) по результатам испытаний составляет менее R 8. Однако на практике последним условием зачастую пренебрегают и принимают предел огнестойкости для незащищенных стальных конструкций равным R 15. Кроме того, недостаточно ясно, как фактический предел огнестойкости незащищенных стальных конструкций зависит от их приведенной толщины $\delta_{кр}$ (мм). При этом величина R 15 может быть как избыточной (при больших значениях $\delta_{кр}$), так и недостаточной (при малых значениях $\delta_{кр}$). Данные по фактическому пределу огнестойкости стальных незащищенных конструкций при различных значениях $\delta_{кр}$, представленные в [1], относятся к стандартному температурному режиму так называемого “целлюлозного” пожара (см. ISO 834-1:1999 “Испытания на огнестойкость. Элементы строительных конструкций. Часть 1. Общие требования”; ГОСТ 30247.0–94 “Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования”). В то же время незащищенные стальные конструкции зачастую используются на предприятиях нефтегазового комплекса, для которых характерен углеводородный температурный режим пожара (см. ГОСТ Р ЕН 1363-2–2014 “Конструкции строительные. Испытания на огнестойкость. Часть 2. Альтернативные и дополнительные методы”). Однако в литературе для такого случая отсутствует зависимость предела огнестойкости от приведенной толщины конструкции $\delta_{кр}$.

В работе [2] представлен инженерный метод расчета пределов огнестойкости стальных конструкций и для стандартного “целлюлозного” пожара

вычислены температуры конструкций, имеющих различные приведенные толщины. Вопросы оценки огнестойкости стальных конструкций, а также поведения строительных конструкций (в том числе стальных незащищенных) при пожаре освещались и в работах [3–16], но тоже в основном для случая стандартного “целлюлозного” пожара. И лишь в работах [17–19] рассматриваются иные температурные режимы пожара.

В связи с вышеизложенным настоящая работа посвящена расчетной оценке фактического предела огнестойкости незащищенных стальных конструкций для температурных режимов, соответствующих стандартным “целлюлозному” и углеводородному пожарам.

Методика расчета и полученные результаты

Проведено численное моделирование прогрева незащищенных стальных конструкций, имеющих различные приведенные толщины $\delta_{кр}$, при воздействии стандартных “целлюлозного” и углеводородного пожаров. Использован программный комплекс FDS 6 [20]. Температурные режимы “целлюлозного” и углеводородного пожаров описывались соотношениями:

- “целлюлозный” режим (ГОСТ 30247.0–94):

$$T = T_0 + 345 \log(8t + 1); \quad (1)$$

- углеводородный режим (ГОСТ Р ЕН 1363-2–2014):

$$T = 1080(1 - 0,325e^{-0,167t} - 0,675e^{-2,5t}) + 20, \quad (2)$$

где T , T_0 — текущая и начальная температуры, °C;
 t — время от начала пожара, мин.

Рассмотрены стальные незащищенные конструкции с приведенной толщиной от 3 до 60 мм. Предел огнестойкости определялся по достижении конструкцией температуры 500 °C (ГОСТ Р 53295–2009 “Средства огнезащиты для стальных конструкций. Общие требования. Методы определения огнезащитной эффективности”).

На рис. 1 представлена зависимость фактического предела огнестойкости незащищенных стальных конструкций от их приведенной толщины при

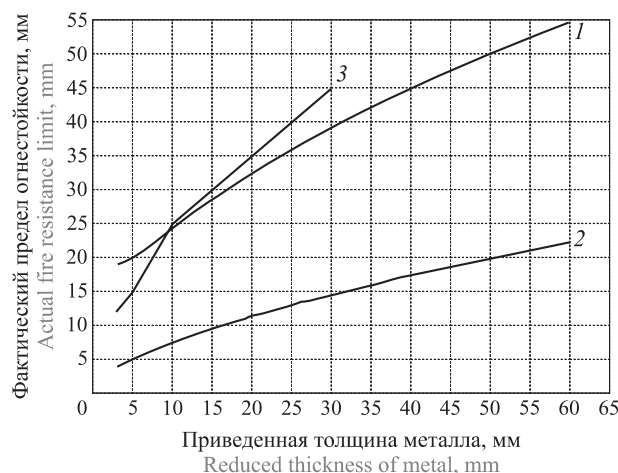


Рис. 1. Зависимость фактического предела огнестойкости незащищенных стальных конструкций от их приведенной толщины при воздействии стандартных “целлюлозного” (1) и углеводородного (2) пожаров и по данным работы [1] (3)

воздействии стандартных “целлюлозного” (кривая 1) и углеводородного (кривая 2) пожаров. На рис. 1 для сравнения представлены также данные работы [1, с. 356] для стандартного “целлюлозного” пожара (кривая 3). Видно, что с увеличением приведенной толщины конструкции $\delta_{кр}$ фактический предел огнестойкости заметно возрастает. Обращает на себя внимание и тот факт, что для стандартного “целлюлозного” пожара рассчитанный предел огнестойкости превышает 15 мин. В соответствии с СП 2.13130.2012 (п. 5.4.3), если требуемый предел огнестойкости конструкции (за исключением конструкции в составе противопожарных преград) составляет R 15 (RE 15, REI 15), допускается применять незащищенные стальные конструкции независимо от их фактического предела огнестойкости. Исключение составляют случаи, когда предел огнестойкости хотя бы одного из элементов несущих конструкций по результатам испытаний менее R 8. Результаты расчетов, выполненных в настоящей работе, подтверждают правильность этого требования для случая стандартного “целлюлозного” пожара. В то же время применение данного требования для стандартного углеводородного пожара может привести к ошибочным результатам, так как фактический предел огнестойкости (см. рис. 1) может быть менее 15 мин. Следует отметить удовлетворительное согласие результатов, полученных в настоящей работе для стандартного “целлюлозного” пожара, с данными, приведенными в [1] (см. рис. 1, кривые 1 и 3).

В работе [19] найдено приближенное соотношение между температурами строительных конструк-

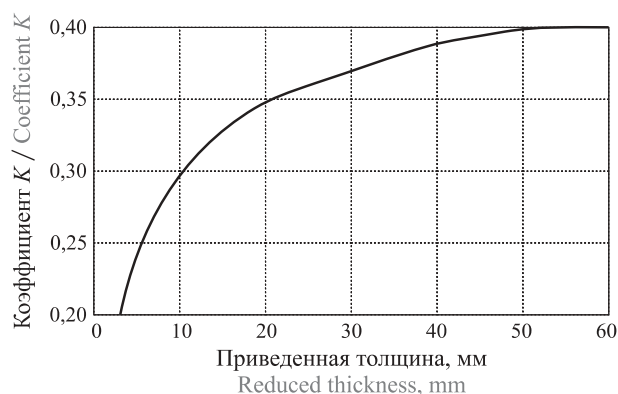


Рис. 2. Зависимость коэффициента K от приведенной толщины конструкции

Fig. 2. Dependence of the coefficient K on the reduced thickness of the structure

ций при воздействии на них стандартных “целлюлозного” и углеводородного пожаров:

$$t_h = K t_s, \quad (3)$$

где t_h , t_s — времена достижения одной и той же температуры соответственно для углеводородного и “целлюлозного” режимов пожара;

K — коэффициент, равный 0,6 для бетонной конструкции и 0,28 для стальной незащищенной конструкции.

Соотношение (3) может быть распространено и на рассматриваемый случай. При этом для стальной незащищенной конструкции коэффициент K может зависеть от ее приведенной толщины.

Для определения зависимости коэффициента K от приведенной толщины конструкции (рис. 2) использованы данные, представленные на рис. 1 (кривые 1 и 2).

Из рис. 2 видно, что коэффициент K зависит от приведенной толщины строительной конструкции $\delta_{кр}$. При этом при $\delta_{кр}$ более 30 мм эта зависимость довольно слабая, и в этом случае величина K может быть принята приближенно равной 0,39.

Выводы

В настоящей работе с помощью программного комплекса FDS 6 проведено численное моделирование воздействия стандартных “целлюлозного” и углеводородного пожаров на стальные незащищенные строительные конструкции при их различных приведенных толщинах $\delta_{кр}$. Найдено, что для “целлюлозного” пожара фактический предел огнестойкости превышает 15 мин при $\delta_{кр} = 5$ мм, что подтверждает обоснованность допущения СП 2.13130.2012 о применении незащищенных стальных конструкций для данного температурного режима пожара. В то же время для углеводородного пожара это допущение неприемлемо. Найдена зависимость между пределами огнестойкости для “целлюлозного” и уг-

леводородного пожаров при различной приведенной толщине конструкций. Результаты работы свидетельствуют о необходимости корректировки п. 5.4.3

СП 2.13130.2012 в части применения стальных незащищенных конструкций для зданий и сооружений, для которых характерен углеводородный пожар.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Молчадский И. С. Пожар в помещении. — М. : ВНИИПО, 2005. — 456 с.
2. Голованов В. И., Павлов В. В., Пехотиков А. В. Инженерный метод расчета огнестойкости стальных конструкций с огнезащитными плитами КНАУФ-Файерборд // Пожарная безопасность. — 2016. — № 3. — С. 171–178.
3. Голованов В. И., Павлов В. В., Пехотиков А. В. Оценка качества нанесения средств огнезащиты на стальные конструкции зданий и сооружений различного функционального назначения // Пожарная безопасность. — 2015. — № 3. — С. 74–82.
4. Голованов В. И., Пехотиков А. В., Павлов В. В. Расчет огнестойкости конструкций из стали с повышенными показателями огнестойкости для объектов нефтегазовой промышленности // Территория НЕФТЕГАЗ. — 2007. — № 4. — С. 72–77.
5. Хасанов И. Р., Голованов В. И. Обеспечение огнестойкости несущих строительных конструкций // Юбилейный сборник трудов ФГБУ ВНИИПО МЧС России. — М. : ВНИИПО, 2012. — С. 81–101.
6. PD 7974-7:2003. Application of fire safety engineering principles to the design of buildings — Part 7: Probabilistic risk assessment. — London : British Standards Institution, 2003. — 88 p.
7. Law M. A review of formulae for T-equivalence // Fire Safety Science. — 1997. — Vol. 5. — P. 985–996. DOI: 10.3801/iafss.fss.5-985.
8. Thomas G. C., Buchanan A. H., Fleischmann C. M. Structural fire design: the role of time equivalence // Fire Safety Science. — 1997. — Vol. 5. — P. 607–618. DOI: 10.3801/iafss.fss.5-607.
9. Shebeko Yu. N., Shebeko A. Yu. Conditions of fire and explosion safety at a determination of operation parameters of industrial facilities // Science and Technology of Energetic Material. — 2011. — Vol. 72, No. 2. — P. 57–61.
10. Cadorin J. F., Perez Jimenez C., Franssen J. M. Influence of the section and of the insulation type on the equivalent time // Proceedings of the 4th International Seminar on Fire and Explosion Hazards. — Ulster : University of Ulster, 2004. — P. 547–557.
11. Yang You-Fu, Fu Feng. Fire resistance of steel beam to square CFST column composite joints using RC slabs: Experiments and numerical studies // Fire Safety Journal. — 2019. — Vol. 104. — P. 90–108. DOI: 10.1016/j.firesaf.2019.01.009.
12. Шебеко А. Ю., Шебеко Ю. Н., Гордиенко Д. М. Расчетная оценка эквивалентной продолжительности пожара для стальных конструкций технологической эстакады нефтеперерабатывающего предприятия // Пожарная безопасность. — 2017. — № 1. — С. 25–29.
13. Correia A. M., Pires T. A. C., Rodrigues J. P. C. Behaviour of steel columns subjected to fire // Proceedings of the Sixth International Seminar on Fire and Explosion Hazards (April 11–16, 2010, Leeds, UK) / D. Bradley, G. Makhviladze, V. Molkov (eds.). — Leeds : Research Publishing, 2011. — P. 879–890. DOI: 10.3850/978-981-08-7724-8_13-01.
14. Qing Xu, Guo-Qiang Li, Jian Jiang, Yong C. Wang. Experimental study of the influence of topcoat on insulation performance of intumescent coating for steel structures // Fire Safety Journal. — 2018. — Vol. 101. — P. 25–38. DOI: 10.1016/j.firesaf.2018.08.006.
15. Meijing Liu, Shenggang Fan, Wenjun Sun, Runmin Ding, Ting Zhu. Fire-resistant design of eccentrically compressed stainless steel columns with constraints // Fire Safety Journal. — 2018. — Vol. 100. — P. 1–19. DOI: 10.1016/j.firesaf.2018.06.006.
16. Maciulaitis R., Grigonis M., Malaikiene J. The impact of the aging of intumescent fire protective coatings on fire resistance // Fire Safety Journal. — 2018. — Vol. 98. — P. 15–23. DOI: 10.1016/j.firesaf.2018.03.007.
17. Lucherini A., Giuliani L., Jomaas G. Experimental study of the performance of intumescent coatings exposed to standard and non-standard fire conditions // Fire Safety Journal. — 2018. — Vol. 95. — P. 42–50. DOI: 10.1016/j.firesaf.2017.10.004.
18. Quil S. E., Yokoyama T., Bregman L. S., Mueller K. A., Marjanishvili S. M. A streamlined frame work for calculating the response of steel-supported bridges to open-car tanker truck fires // Fire Safety Journal. — 2015. — Vol. 73. — P. 63–75. DOI: 10.1016/j.firesaf.2015.03.004.

19. Шебеко А. Ю., Шебеко Ю. Н. Взаимосвязь величин температуры строительных конструкций при стандартном и углеводородном температурных режимах пожара // Пожарная безопасность. — 2017. — № 2. — С. 46–49.
20. McGrattan K. B., McDermott R. J., Weinschenk C. G., Forney G. P. Fire Dynamics Simulator. Technical Reference Guide (version 6.1) / NIST Special Publication-1018. — Gaithersburg, Maryland : National Institute of Standards and Technology, 2013.

REFERENCES

1. I. S. Molchadskiy. *Pozhar v pomeshchenii* [Fire in a room]. Moscow, VNIPO Publ., 2005. 456 p. (in Russian).
2. V. I. Golovanov, V. V. Pavlov, A. V. Pekhotikov. Engineering method for designing fire resistance of steel constructions protected by KNAUF-Fireboard plates. *Pozharnaya bezopasnost / Fire Safety*, 2016, no. 3, pp. 171–178 (in Russian).
3. V. I. Golovanov, V. V. Pavlov, A. V. Pekhotikov. Assessment of quality application of fire protection means on steel constructions of buildings and structures of various functional purposes. *Pozharnaya bezopasnost / Fire Safety*, 2015, no. 3, pp. 74–82 (in Russian).
4. V. I. Golovanov, A. V. Pekhotikov., V. V. Pavlov. A calculation of a fire resistance of steel structures with elevated indexes of the fire resistance for oil and gas industrial objects. *Territorija NEFTEGAS / Oil and Gas Territory*, 2007, no. 4, pp. 72–77 (in Russian).
5. I. R. Khasanov, V. I. Golovanov. A fire resistance ensuring of bearing structures. In: *Yubileyny sbornik trudov FGBU VNIPO MChS Rossii* [Anniversary Proceedings of All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia]. Moscow, VNIPO Publ., 2012, pp. 81–101 (in Russian).
6. PD 7974-7:2003. Application of fire safety engineering principles to the design of buildings — Part 7: Probabilistic risk assessment. London, British Standards Institution, 2003, 88 p.
7. M. Law. A review of formulae for T-equivalence. *Fire Safety Science*, 1997, vol. 5, pp. 985–996. DOI: 10.3801/iafss.fss.5-985.
8. G. C. Thomas, A. H. Buchanan, C. M. Fleischmann. Structural fire design: the role of time equivalence. *Fire Safety Science*, 1997, vol. 5, pp. 607–618. DOI: 10.3801/iafss.fss.5-607.
9. Yu. N. Shebeko, A. Yu. Shebeko. Conditions of fire and explosion safety at a determination of operation parameters of industrial facilities. *Science and Technology of Energetic Material*, 2011, vol. 72, no. 2, pp. 57–61.
10. J. F. Cadorin, C. Jimenez Perez, J. M. Franssen. Influence of the section and of the insulation type on the equivalent time. In: *Proceedings of the 4th International Seminar on Fire and Explosion Hazards*. Ulster, University of Ulster, 2004, pp. 547–557.
11. You-Fu Yang, Feng Fu. Fire resistance of steel beam to square CFST column composite joints using RC slabs: Experiments and numerical studies. *Fire Safety Journal*, 2019, vol. 104, pp. 90–108. DOI: 10.1016/j.firesaf.2019.01.009.
12. A. Yu. Shebeko., Yu. N. Shebeko, D. M. Gordienko. A settlement assessment of equivalent fire duration for steel structures of pipe rack of a refinery. *Pozharnaya bezopasnost / Fire Safety*, 2017, no. 1, pp. 25–29 (in Russian).
13. A. M. Correia, T. A. C. Pires, J. P. C. Rodrigues. Behaviour of steel columns subjected to fire. In: D. Bradley, G. Makhviladze, V. Molkov (eds.). *Proceedings of the Sixth International Seminar on Fire and Explosion Hazards (April 11–16, 2010, Leeds, UK)*. Leeds, Research Publishing, 2011, pp. 879–890. DOI: 10.3850/978-981-08-7724-8_13-01.
14. Qing Xu, Guo-Qiang Li, Jian Jiang, Yong C. Wang. Experimental study of the influence of topcoat on insulation performance of intumescent coating for steel structures. *Fire Safety Journal*, 2018, vol. 101, pp. 25–38. DOI: 10.1016/j.firesaf.2018.08.006.
15. Meijing Liu, Shenggang Fan, Wenjun Sun, Runmin Ding, Ting Zhu. Fire-resistant design of eccentrically compressed stainless steel columns with constraints. *Fire Safety Journal*, 2018, vol. 100, pp. 1–19. DOI: 10.1016/j.firesaf.2018.06.006.
16. R. Maciulaitis, M. Grigonis, J. Malaiskiene. The impact of the aging of intumescent fire protective coatings on fire resistance. *Fire Safety Journal*, 2018, vol. 98, pp. 15–23. DOI: 10.1016/j.firesaf.2018.03.007.
17. A. Lucherini, L. Giuliani, G. Jomaas. Experimental study of the performance of intumescent coatings exposed to standard and non-standard fire conditions. *Fire Safety Journal*, 2018, vol. 95, pp. 42–50. DOI: 10.1016/j.firesaf.2017.10.004.

18. S. E. Quiel, T. Yokoyama, L. S. Bregman, K. A. Mueller, S. M. Marjanishvili. A streamlined frame work for calculating the response of steel-supported bridges to open-car tanker truck fires. *Fire Safety Journal*, 2015, vol. 73, pp. 63–75. DOI: 10.1016/j.firesaf.2015.03.004.
19. A. Yu. Shebeko, Yu. N. Shebeko. Relationship of temperatures of building structures at the standard and hydrocarbon regimes of fires. *Pozharnaya bezopasnost / Fire Safety*, 2017, no. 2, pp. 46–49 (in Russian).
20. K. B. McGrattan, R. J. McDermott, C. G. Weinschenk, G. P. Forney. Fire Dynamics Simulator. Technical Reference Guide (version 6.1). *NIST Special Publication-1018*. Gaithersburg, Maryland, National Institute of Standards and Technology, 2013.

Поступила 14.10.2019, после доработки 18.11.2019;
принята к публикации 28.11.2019

Received 14 October 2019; Received in revised form 18 November 2019;
Accepted 28 November 2019

Информация об авторах

ШЕБЕКО Юрий Николаевич, д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России, г. Балашиха Московской обл., Российская Федерация; Author ID: 7006511704; ORCID: 0000-0003-1916-2547; e-mail: yn_shebeko@mail.ru

ЗУБАНЬ Андрей Владимирович, канд. техн. наук, заместитель начальника отдела ФГБУ Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России, г. Балашиха Московской обл., Российская Федерация; Researcher ID: AAB-9575-2019; Author ID: 55847911600; ORCID: 0000-0002-7799-2058; e-mail: avzuban@mail.ru

ШЕБЕКО Алексей Юрьевич, канд. техн. наук, начальник отдела ФГБУ Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России, г. Балашиха Московской обл., Российская Федерация; ORCID: 0000-0002-5771-2127; Researcher ID: G-1975-2016; Author ID: 14627996600; e-mail: ay_shebeko@mail.ru

Information about the authors

Yury N. SHEBEKO, Doctor Sci. (Eng.), Professor, Chief Researcher, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia, Balashikha, Moscow Region, Russian Federation; Author ID: 7006511704; ORCID: 0000-0003-1916-2547; e-mail: yn_shebeko@mail.ru

Andrey V. ZUBAN, Cand. Sci. (Eng.), Deputy Head of Department, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia, Balashikha, Moscow Region, Russian Federation; Researcher ID: AAB-9575-2019; Author ID: 55847911600; ORCID: 0000-0002-7799-2058; e-mail: vzuban@mail.ru

Aleksey Yu. SHEBEKO, Cand. Sci. (Eng.), Head of Department, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia, Balashikha, Moscow Region, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-5771-2127; Researcher ID: G-1975-2016; Author ID: 14627996600; e-mail: ay_shebeko@mail.ru

Определение критериев оценки воздействия неорганических кислот на синтетические веревки для повышения безопасности работ на высоте

© В. В. Василенко^{1✉}, Г. Д. Леликов¹, Т. А. Овчинникова², Д. А. Корольченко¹

¹ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26)

² ООО "БАСК" (Россия, 129085, г. Москва, ул. Годовикова, 9, стр. 1)

РЕЗЮМЕ

Введение. Необходимость проведения данного исследования обусловлена часто возникающим в промышленном высотном секторе и спорте воздействием на веревки химических реагентов и отсутствием в широком доступе информации об изменении прочности веревок после такого воздействия.

Цели и задачи. Задача настоящей работы состоит в получении экспериментальных данных по снижению прочности веревок на разрыв после воздействия растворов различных кислот, а также в определении критериев оценки воздействия кислот на веревки в целях повышения безопасности людей, работающих с веревками на высоте в промышленности и спорте.

Методы. Для этой цели исследовалось влияние растворов серной, соляной и фосфорной кислот (как наиболее часто встречающихся на практике в спортивной и производственной сферах) на статические полиамидные веревки (как наиболее широко используемые средства индивидуальной защиты). Методы исследования включали в себя обработку испытуемых образцов кислотой в течение 30 с и 1 ч, последующую выдержку в нормальных климатических условиях и испытания статической нагрузкой.

Результаты. В ходе исследования выделены следующие критерии тактильного обнаружения поврежденного участка: увеличение жесткости веревки; повышение твердости на участках воздействия; липкая поверхность оплетки. Наиболее сложными с точки зрения визуального обнаружения воздействия кислот оказались веревки, состоящие из разных материалов в оплетке и сердечнике: если оплетка более инертна к воздействию кислоты, чем сердечник, она маскирует повреждения сердечника. Так, образец с полиэфирной оплеткой практически не имел визуальных и тактильных отличий от нового после воздействия H_2SO_4 в концентрации 45 % в течение 30 с, при этом остаточная прочность составила 46,8 %. Кроме того, определены характерные особенности разрыва веревок, поврежденных кислотой: частичное вытягивание прядей сердечника; отделение оплетки от сердечника; вытягивание отдельных прядей сердечника.

Выводы. В целом, хотя все рассмотренные растворы кислот оказывали негативное влияние на прочность образцов, не всякое воздействие можно легко обнаружить. Таким образом, результаты позволяют сделать вывод о необходимости не только тщательного инспекционного контроля, но и знания полной истории эксплуатации. Представленные результаты помогут сформировать образовательный материал для аварийно-спасательных служб и экспертных комиссий, а также повысить компетенции профильных специалистов, отвечающих за безопасность и охрану труда в различных организациях.

Ключевые слова: полиамидная веревка; химическое повреждение; спелеология; альпинизм; веревочный доступ.

Для цитирования: Василенко В. В., Леликов Г. Д., Овчинникова Т. А., Корольченко Д. А. Определение критериев оценки воздействия неорганических кислот на синтетические веревки для повышения безопасности работ на высоте // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2019. — Т. 28, № 6. — С. 35–51. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.06.35-51.

✉ Василий Владимирович Василенко, e-mail: ppe_mgsu@mail.ru

Determination of criteria for assessing the effect of inorganic acids on synthetic ropes in order to improve the safety of high-altitude works

© Vasilii V. Vasilenko^{1✉}, Georgiy D. Lelikov¹,
Tatyana A. Ovchinnikova², Dmitriy A. Korolchenko¹

¹ National Research Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation)

² BASK LLC (Godovikova St., 9, bld. 1, Moscow, 129085, Russian Federation)

ABSTRACT

Introduction. The relevance of this work is due to the frequent occurrences of various chemical substances affecting ropes in sport and in the industry of high-altitude works, as well as due to the lack of open-access information on changes in the rope tensile strength under effect of chemicals.

Aims and purposes. The aim of this work is to improve the safety practices in the usage of ropes both in sport and in industry by assessing the effect of acid solutions on the rope tensile strength, and by providing recommendations for pre-usage visual inspection procedures so that to detect ropes exposed to acids.

Methods. We study the influence of sulfuric acid, hydrochloric acid, and phosphoric acid, as substances widespread in sport and industry, on static polyamide rope, the type of rope used commonly as personal protective equipment. The methods used involve measuring the breaking strength of the ropes after either 30 sec and 1 hr of exposure to different concentrations of these acids. In addition, photographs of ruptures are provided, so that safety specialists be able to detect future causes of rope failures.

Results. The results of the tests conducted show the main markers of the effects of acids on the samples to be the following: increase in the stiffness of the rope in relation to parts not exposed to the acid; increase in the hardness in the areas of exposure, as a result of sintering of individual fibers; sticky surface of the sheath, in the cases when partial dissolution of the sheath takes place.

Conclusion. Though all acid solutions tested have negative impact on rope strength, not all are easy to detect. Particularly deceiving can be ropes with polyether sheath, in which the latter, being less sensitive to acids, may camouflage the damage to inner fibers, while after 30 sec of exposure to 45 % H_2SO_4 such damage leads to decrease in the tensile strength down to 46,8 % of its original strength. Thus, we conclude that the only reliable way to protect oneself from a rope failure is to know the history of the rope in an entire manner.

Keywords: polyamide rope; chemical damage; speleology; mountaineering; rope access.

For citation: V. V. Vasilenko, G. D. Lelikov, T. A. Ovchinnikova, D. A. Korolchenko. Determination of criteria for assessing the effect of inorganic acids on synthetic ropes in order to improve the safety of high-altitude works. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2019, vol. 28, no. 6, pp. 35–51 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2019.28.06.35-51.

✉ Vasily Vasilyevich Vasilenko, e-mail: ppe_mgsu@mail.ru

Введение

Применение веревки (каната) в качестве компонента, обеспечивающего безопасность человека, известно еще с первых восхождений в Альпах в XVIII в. На протяжении более двух веков ее конструкция менялась, синтетическое сырье замещало органическое, способы и сферы применения расширялись. В итоге веревка прочно вошла в спортивные и промышленные сферы как основной компонент, обеспечивающий безопасность пользователя.

По типу веревки подразделяются на крученые и плетеные. Крученые веревки (рис. 1) состоят из нескольких (чаще всего трех) скрученных прядей.

Такие веревки имеют низкую стоимость, на них тяжело вязать промежуточные узлы, но зато удобно делать концевые петли (огоны) или сращивать концы веревок (сплесни). Кроме того, этот тип веревок склонен к раскручиванию, поэтому концы должны быть фиксированы.

Плетеные веревки состоят из прядей, переплетенных между собой (рис. 2). Эту категорию можно разделить на две большие подкатегории — с сердечником и без него. Такие веревки характеризуются кратностью переплетаемых прядей. Чем больше в веревке переплетаемых прядей, тем она мягче, но ее износостойкость при этом падает. Внутри веревок без сердечника образуются полости, и чем больше в ней прядей, тем более заметны полости. Веревки, имеющие сердечник и оплетку, получили наибольшее распространение в спорте и промышленном до-ступе, так как оплетка выполняет защитную функ-

цию по отношению к сердечнику, который, в свою очередь, несет на себе основную нагрузку. Бывают веревки двойного плетения, в которых и оплетка, и сердечник плетеные, а также веревки с параллельными кручеными прядями в сердечнике. Последние получили наиболее широкое распространение в спорте и промышленности. Оплетка в таких веревках, как правило, 24-, 32- и 48-прядная и прочность нитей используется наиболее эффективно.



Рис. 1. Крученая веревка / Fig. 1. Twisted rope

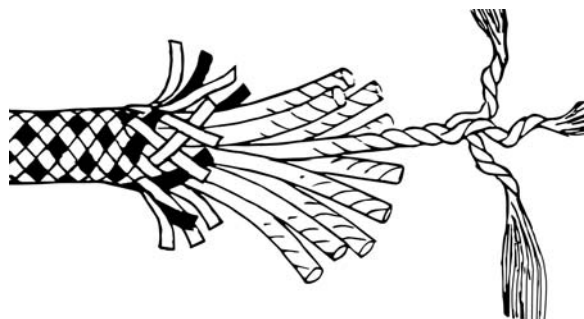


Рис. 2. Плетеная веревка с сердечником
Fig. 2. A kernmantle rope

Веревки с сердечником делятся на два основных типа — статические и динамические. Основная особенность статических веревок заключается в малом растяжении под действием нагрузок, поэтому их применяют преимущественно в зафиксированном состоянии в качестве опоры при перемещении. Важным свойством динамических веревок является способность к амортизации и гашению энергии падения [1], что делает их основным компонентом, обеспечивающим безопасность в спортивной деятельности в ситуациях, когда возможно падение человека. В промышленности данную функцию веревок заменили специально разработанные амортизаторы рывка [2, 3], поэтому там применение динамических веревок является очень большой редкостью.

В настоящее время веревки изготавливают из синтетических материалов [4–6], в основном из полиамида, реже из полиэфира. Этот материал в большей степени износоустойчив, меньше реагирует на кислоты, превосходит полиамид по тугоплавкости, но более грубый. В связи с этим часто прибегают к комбинации этих материалов: оплетку выполняют из полиэфира, а сердечник — из полиамида, что позволяет повысить износоустойчивость веревки с сохранением эластичных свойств. Встречаются веревки, изготовленные из полипропилена; зачастую они имеют хозяйственно-бытовое назначение. Преимущество таких изделий состоит в слабом растяжении, высокой статичности и легкости. При этом у веревок из полипропилена имеется и ряд недостатков, например низкая тугоплавкость и устойчивость к истиранию. Наиболее прочное сырье, применяемое для плетения веревок, — высокомолекулярный полиэтилен и арамид. Высокомолекулярный полиэтилен обладает высокой статической прочностью и легкостью, а арамид — еще и очень высокой тугоплавкостью (~500 °C).

Назовем некоторые отличительные особенности веревок:

- *полиамидные* веревки имеют наибольшее распространение как в России, так и в мире. Обладают высокими прочностными характеристиками и относительно небольшим весом, хорошо тянутся; благодаря своим качествам наиболее часто применяются для обеспечения безопасности. Из недостатков можно выделить слабую устойчивость к кислотам, поглощение влаги и изменение свойств при намокании;
- *полиэфирные* веревки в России представлены слабо. Сам материал имеет более низкую способность к растяжению, чем полиамид, но более высокую устойчивость к температуре и износоустойчивость. Получил распространение в промышленном секторе для обеспечения безопасности пользователей. Полиэфирные веревки

имеют больший вес по сравнению с полиамидными;

- веревки из *полипропилена* нашли свое применение в хозяйственно-бытовых, вспомогательных целях; в силу высокой статичности и относительно малого веса успешно применяются в спорте, где важна легкость и отсутствие растяжения при наведении переправ через препятствия. Они имеют невысокую стоимость, больше подвержены термическим повреждениям, а также менее износостойкие, чем полиамидные веревки;
- веревки из *высокомолекулярного полиэтилена* обладают очень высокими показателями прочности и низким растяжением, малым весом, сравнимым с полипропиленом. Не впитывают влагу, имеют высокую устойчивость к ультрафиолетовому излучению и износу. Применяются в системах, требующих точных относительных перемещений, а также высокой прочности, небольшого веса (ригтинг, водный спорт, альпинизм). Из недостатков можно выделить очень высокую стоимость и низкую стойкость к повышенным температурам;
- изделия из *aramида*, как и высокомолекулярного полиэтилена, имеют очень высокую прочность и малое растяжение, но в отличие от него способны выдерживать очень высокие температуры. Такие веревки используют спасатели и другие специальные службы. К минусам можно отнести очень высокую стоимость, низкую устойчивость к ультрафиолетовому излучению и износоустойчивость.

Некоторые характеристики веревок представлены в работах [7–10] и дополнены в табл. 1.

Можно выделить два направления использования рассмотренных выше веревок. Первое направление — это спорт (рис. 3) [11]. Как было сказано ранее, начиная со времен первых восхождений людей в Альпах и до сегодняшнего дня веревка является одним из основных компонентов обеспечения безопасности в горах. В ряде случаев она должна не только надежно удерживать человека при срыве, но и гасить часть энергии рывка, возникающего в результате падения [1], что очень важно для сохранения здоровья спортсмена. Сила рывка, приходящаяся на его тело, не должна превышать условно допустимую величину 12 кН. Все эти требования должны обеспечивать динамические веревки, регулируемые стандартом EN 892 [12]. Они применяются преимущественно в скалолазании, альпинизме, ледолазании и горном туризме, т. е. там, где есть возможность падения человека. Статические веревки, соответствующие требованиям ГОСТ EN 1891 “Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты от падения с высоты. Ка-

Таблица 1. Сводная таблица сравнительных характеристик материалов для веревок**Table 1.** A comparative summary of characteristics of different rope materials

Материал Material	Плотность, г/см ³ Density, g/cm ³	Разрывная проч- ность, cN/dtex Tensile strength, cN/dtex	Температура плавления, °C Melting point, °C	Удлинение при разрыве, % Stretch to rupture, %	Устойчивость к ультрафиолету Ultraviolet resistance	Сопротивление истиранию (износостойкость) Abrasion resistance
Полиамид Polyamide	1,14	6,2–8,2	215	22–24	Средняя Medium	Средняя Medium
Полиэфир Polyether	1,38	6,2–8,4	260	10–17	Высокая High	Средняя Medium
Полипропилен Polypropylene	0,91	6,1–6,6	170	20	Низкая Low	Низкая Low
Высокомолекуляр- ный полиэтилен High-molecular- weight polyethylene	0,95	23–40	150	3,5–4	Высокая High	Высокая High
Арамид Aramid	1,4	20–35	500	2–5	Низкая Low	Низкая – средняя Low to medium

**Рис. 3.** Применение веревок в спорте**Fig. 3.** Application of ropes in sport

наты с сердечником низкого растяжения. Общие технические требования. Методы испытаний”, применяются в основном в спелеологии и спортивном туризме, а также в тех случаях, когда веревка служит опорой для человека и неподвижно закреплена.

Второе направление — это промышленная безопасность [13–16] и веревочный доступ [17]. Некогда

перекочевавшие из спорта методы проведения работ получили определенные преобразования и прочно вошли в промышленность. В частности, в электроэнергетику, где веревки применяются для доступа и эвакуации с антенно-мачтовых сооружений, вышек и т. д. На ветрогенераторах также не обойтись без грамотного использования статических веревок, по которым работники производят спуск вдоль лопастей в целях инспекции. В городской среде промышленные альпинисты выполняют работы на кровлях и фасадах зданий с использованием специального оборудования, помогающего перемещаться вдоль провешенных веревок. Заводы укомплектованы гибкими анкерными линиями [18, 19], большая часть из которых состоит из веревок с заделанными коушами, соединенными с анкерами (рис. 4).

Использование веревок для обеспечения безопасности во время производства работ регулируется рядом нормативных документов. Вербки в обязательном порядке должны проходить сертификацию на соответствие Техническому регламенту Таможенного союза, а также ГОСТ EN 1891. Статическая прочность веревок типа А не должна быть ниже 22 кН или 15 кН при завязанном узле “восьмерка”. Вербка должна выдерживать не менее пяти последовательных рывков при сбрасывании груза массой 100 кг с высоты 2 м, а также соответствовать ряду других требований (рис. 5). Контроль за их исполнением осуществляет государство.

Несмотря на то что веревка применяется как в спорте, так и в различных отраслях промышленности, она восприимчива ко многим факторам, способным нанести ей урон: порезам, термическим воздействиям, перетиранию, воздействию химических веществ. Последний стал причиной гибели в мае 2017 г. молодого спелеолога Алексея Карасева.



Рис. 4. Использование веревок как средства индивидуальной защиты от падения с высоты в промышленном доступе
Fig. 4. The usage of ropes as personal protective equipment

Место обрыва веревки было слегка окрашено в красноватый цвет без иных отчетливых признаков повреждения. Рентгенофлуоресцентный анализ показал в местах обрыва наличие серы, что свидетельствует о химическом повреждении. В связи с этим было принято решение собрать как можно больше сведений о таких повреждениях для упрощения их обнаружения при инспекции снаряжения [20, 21].

Цель настоящей работы — повышение безопасности людей, работающих с веревками на высоте в промышленности и в спорте, в частности получение экспериментальных данных по падению прочности веревок после воздействия растворов различных кислот; определение критериев оценки воздействия кислот на веревки для инспекционных материалов, которые смогли бы пополнить существующие материалы по этому вопросу, а также для повышения компетенций профильных специалистов, отвечающих за безопасность и охрану труда в различных организациях.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- разработка и апробация методик обработки испытуемых образцов исследуемыми растворами кислот;
- оценка остаточной прочности образцов после воздействия реагентов;
- сбор и анализ полученных материалов;
- составление типовых примеров повреждения участков веревок после воздействия кислот до

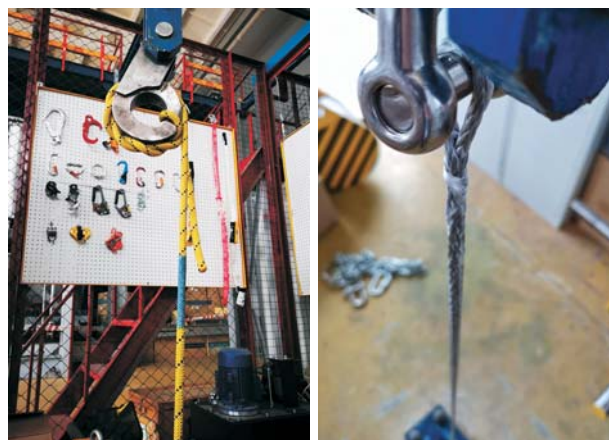


Рис. 5. Лабораторные испытания на статическую прочность веревки из полиамида (слева) и высокомолекулярного полиэтилена (справа)

Fig. 5. Tension strength laboratory tests of a polyamide rope (on the left) and of a high-molecular-weight polyethylene one (on the right)

испытания на остаточную прочность и после разрыва;

- выводы и заключения с представлением необходимых рекомендаций по итогам исследования.

Методы испытаний

Испытания проводились на образцах статических веревок трех марок диаметром 10 мм, соответствующих ГОСТ EN 1891, типа А. У всех трех марок веревок сердечник, основной конструктивный элемент, несущий нагрузку, состоял из полиамида. Взаимодействие с кислотой является наиболее разрушительной реакцией для данного типа материала. Для сравнения полученных результатов во всех испытаниях использовалась только новая веревка, из одной партии, полученная непосредственно с завода-изготовителя. Для объективного проведения испытаний и последующего анализа полученных результатов все образцы были обезличены и зашифрованы с порядковыми номерами 1, 2 и 3. В каждом испытании участвовало по три образца каждого шифра. Общее количество испытанных образцов составило 108 ед.

Для исследований использовались кислоты в концентрациях, наиболее часто встречающихся на практике как в спортивной сфере, так и в производственной:

- серная кислота H_2SO_4 — 45 и 20 % (в автомобильных аккумуляторах, в моющем средстве АТС-350);
- соляная кислота HCl — 15, 10 и 5 % (в составе всех смывок высолов со стен, в моющем средстве АТС-350);
- фосфорная кислота H_3PO_4 — 30 % (в преобразователях ржавчины).

Метод исследования можно разделить на два основных этапа: первый — обработка исследуемых образцов химическими реагентами с последующей выдержкой в нормальных климатических условиях; второй — испытания образцов статической нагрузкой после первого этапа.

Этап 1. Контрольную зону испытуемого образца длиной 25 см помещали в кювету с кислотой заданной концентрации на заданное в исследовании время. Концентрации кислот описаны выше. Время воздействия всех кислот в эксперименте составляло 30 с и 1 ч. Время выдержки 30 с было принято в качестве имитации случайного попадания химии на веревку, а 1 ч — как условное время, в течение которого веревка может находиться под воздействием реагентов во время выполнения работ. Выдержка образцов осуществлялась в помещении при температуре $(22 \pm 3)^\circ\text{C}$ и влажности 44–53 % в течение 5 сут.

Этап 2. Испытаниям подвергались все три образца каждого шифра для каждой концентрации и времени воздействия. Дополнительно была испытана контрольная группа из 9 образцов без воздействия химии. Краткая модель проведения испытаний:

- испытание на разрыв контрольных образцов каждого шифра;
- образцы каждого шифра после воздействия фосфорной кислоты концентрацией 30 %, время воздействия 30 с и 1 ч;
- образцы каждого шифра после воздействия серной кислоты концентрацией 20 и 45 %, время воздействия 30 с и 1 ч;
- образцы каждого шифра после воздействия соляной кислоты концентрацией 5, 10 и 15 %, время воздействия 30 с и 1 ч.

Испытания на статическую прочность после воздействия кислоты на образцы проводились на стенде для испытаний средств индивидуальной защиты от падения с высоты (далее — СИЗ) [22].

Блок для статических испытаний СИЗ от падения с высоты отвечает требованиям п. 4.1 ГОСТ Р 12.4.206–99 “Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства индивидуальной защиты от падения с высоты. Методы испытаний” (аналог EN 364) и располагается между двумя двутавровыми колоннами, которые поддерживают две двутавровые балки — верхнюю и нижнюю. На нижней балке закреплен гидроцилиндр, способный развивать тянущее усилие до 60 кН. Гидроцилиндр соединен с датчиком для измерения силы, к которому через вилку-переходник закрепляется испытательный образец. Для создания статического нагружения образец соединяют с неподвижной анкерной точкой, а гидростанция по рукавам высокого давления (РВД) в штоковую полость цилиндра подает рабочую жидкость для втягивания штока и натяжения испытательного образца.

Датчик измерения силы соединен с регистрирующим прибором, который фиксирует усилие на образце. Вилка-переходник ($d = 25$ мм) имеет съемные пальцы для соединений между элементами и для контакта между испытуемыми образцами ($d = (10 \pm 0,1)$ мм; $d = (12 \pm 0,1)$ мм). Вокруг стенда для испытаний устроено защитное ограждение для предотвращения проникновения людей в испытательную зону во время испытаний.

При проведении испытаний могут применяться различные типы насадок для захвата веревочных испытуемых образцов в соответствии с ГОСТ Р ИСО 2307–2014 “Изделия канатные. Методы определения некоторых физических и механических свойств”:

- захват типа блок;
- закрепление испытуемого образца посредством петли с обеих сторон;
- клиновидный зажим и т. п.

В рамках данного исследования испытуемый образец веревки длиной 3,0 м закреплялся на захватах типа блок. После этого блоки с закрепленным на них образцом вставлялись в статическую испытательную машину для нагружения, как описано выше. Установленный образец дополнительно закрывался прозрачным защитным чехлом из полиэтилена для предотвращения разбрызгивания реагентов. Минимальная эффективная длина испытуемого образца между блоками составляла $L_e = 1,2$ м. После установки испытуемого образца проводилось его нагружение со скоростью (250 ± 50) мм/мин. В момент разрушения образца фиксировалась разрывная нагрузка и место разрушения веревки. Фотофиксация образцов проводилась до и после испытания.

Результаты и их обсуждение

Полученные данные по разрывным нагрузкам по каждому испытанию были приведены к среднему значению в соответствии с формулой

$$F_{\text{ср}} = (F_1 + F_2 + F_3) / 3, \quad (1)$$

где $F_{\text{ср}}$ — средняя разрывная нагрузка образца каждого шифра для данной концентрации и времени воздействия, кН;

F_1, F_2, F_3 — разрывная нагрузка соответственно 1, 2 и 3-го образцов в данном испытании, кН.

Расчет остаточной прочности от полученной при испытании контрольных образцов проводился по формуле

$$A_{\text{ост}} = \frac{F_{\text{ср}}}{F_{\text{ср.к}}} \cdot 100, \quad (2)$$

где $A_{\text{ост}}$ — остаточная прочность от полученной при испытании контрольных образцов, %;

$F_{\text{ср.к}}$ — средняя разрывная нагрузка контрольных образцов, кН.

Таблица 2. Сводные данные по испытаниям после воздействия кислот (по каждой позиции было испытано по три одинаковых образца каждого шифра)

Table 2. Summary of rope tests after exposure to acids (for each of the three rope types — No. 1 and 2: 100 % polyamide rope, No. 3: polyamide core with polyether sheath — three identical samples were tested)

Наименование кислоты (концентрация, %) Acid (concentration, %)	Время воздействия Exposure time	Разрывная нагрузка образца (среднее значение), кН Breaking load of sample (mean over samples), kN				Остаточная прочность образца (среднее значение) от полученной при контрольных испытаниях, % Residual tensile strength of sample, relative to the original strength at control tests (mean over samples), %			
		№ 1 No. 1	№ 2 No. 2	№ 3 No. 3	Среднее значение Mean over types	№ 1 No. 1	№ 2 No. 2	№ 3 No. 3	Среднее значение Mean over types
H ₃ PO ₄ (30)	30 с / 30 sec	27,19	27,15	25,03	26,46	95,73	90,5	83,3	89,8
	1 ч / 1 hr	24,75	25,78	24,24	24,92	87,13	85,9	80,6	84,6
H ₂ SO ₄ (20)	30 с / 30 sec	19,36	21,21	19,10	19,89	68,17	70,7	63,6	67,5
	1 ч / 1 hr	19,44	20,11	17,02	18,86	68,44	67,0	56,6	64,0
H ₂ SO ₄ (45)	30 с / 30 sec	15,50	16,63	14,08	15,41	54,58	55,4	46,8	52,3
	1 ч / 1 hr	5,88	7,12	11,28	8,09	20,69	23,7	37,5	27,3
HCl (5)	1 ч / 1 hr	26,06	26,18	27,27	26,50	91,76	87,3	90,7	89,9
HCl (10)	30 с / 30 sec	25,38	25,11	25,24	25,24	89,35	83,7	84,0	85,7
	1 ч / 1 hr	20,94	22,64	16,06	19,88	73,72	75,5	53,4	67,5
HCl (15)	30 с / 30 sec	19,04	22,04	14,08	18,39	67,04	73,5	46,9	62,5
	1 ч / 1 hr	14,02	17,32	11,64	14,33	49,36	57,7	38,7	48,6

В табл. 2 приведены сводные данные по испытаниям на основании средних значений, полученных по формуле (1). В них отражена потеря прочности для каждого шифра, а также среднее значение по трем шифрам. Образцы № 1 и 2 показали наиболее близкие значения потери прочности, чем образцы № 3. Это объясняется тем, что образцы № 1 и 2 имели одинаковый химический состав — полиамид 100 % в отличие от образцов № 3, которые имели оплетку из полиэфира, а сердечник — из полиамида. Как известно, кислотостойкость полиэфира выше, чем полиамида [5, 6]. В силу своей повышенной инертности по отношению к растворам кислот полиэфирная оболочка создала условия, при которых исследуемые кислоты оказали более сильное влияние на сердечник, чем на образцах с полиамидной оплеткой. На рис. 6 представлены гистограммы результатов исследований по остаточной прочности в зависимости от вида кислоты, ее концентрации и времени воздействия.

По результатам испытаний можно выделить наиболее негативные воздействия кислот:

- любое воздействие серной кислоты H₂SO₄, средняя остаточная прочность находится в диапазоне от 67,5 до 27,3 %;
- воздействие соляной кислоты HCl в концентрациях 10–15 % при времени воздействия 1 ч было достаточным, чтобы средняя остаточная прочность находилась в диапазоне от 67,5 до 48,6 %.

В результате взаимодействия растворов кислот с полиамидом волокна веревки частично растворяются, нарушается их структура. Волокна веревки превращаются в отдельные аморфные, слипшиеся между собой частицы полиамида. В такой поврежденной структуре нарушается распределение нагрузки по волокнам и вследствие этого падает прочность в целом.

В рамках проведенных исследований были собраны данные о визуальном и тактильном состоянии исследуемых образцов через 5 сут после воздействия кислот (табл. 3). Основные маркеры воздействия кислот на образцы следующие:

- увеличение жесткости веревки по отношению к участкам, на которые кислота не воздействовала;
- повышение твердости на участках воздействия вследствие спекания отдельных волокон;
- липкая поверхность оплетки вследствие ее частичного растворения.

Особо хочется обратить внимание на тот факт, что после воздействия H₂SO₄ в концентрации 45 % в течение 30 с образец с полиэфирной оплеткой практически не имел визуальных и тактильных отличий от нового, при этом остаточная прочность составила 46,8 %. То же самое наблюдалось и после воздействия на образец с полиэфирной оплеткой H₂SO₄ в концентрации 45 % в течение 1 ч в отличие от полиамидной оплетки, в результате растворения которой произошло оголение сердечника (рис. 7).

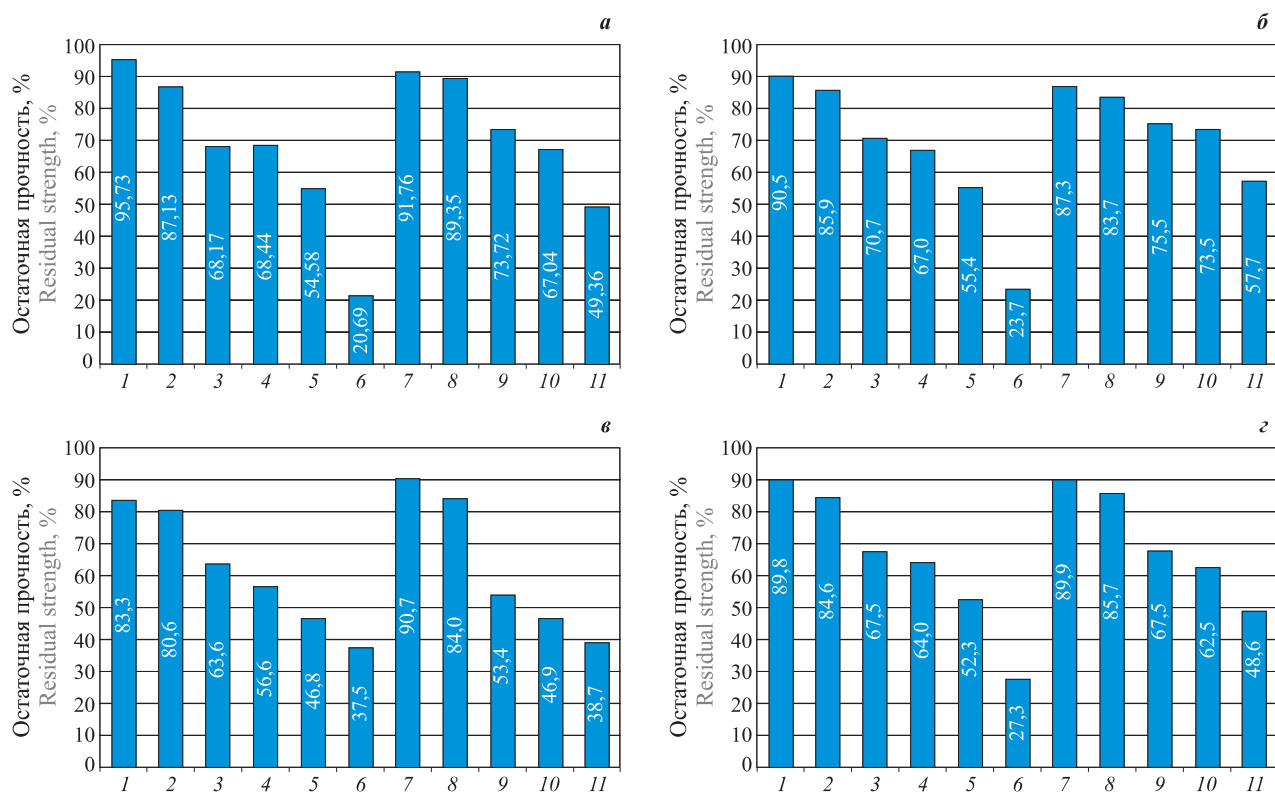


Рис. 6. Гистограммы сводных данных по испытаниям на остаточную прочность образцов № 1–3 (соответственно а–в) и ее средние значения (г) после воздействия кислот: 1 — H₃PO₄, 30 %, 30 с; 2 — то же, 1 ч; 3 — H₂SO₄, 20 %, 30 с; 4 — то же, 1 ч; 5 — H₂SO₄, 45 %, 30 с; 6 — то же, 1 ч; 7 — HCl, 5 %, 1 ч; 8 — HCl, 10 %, 30 с; 9 — HCl, 10 %, 1 ч; 10 — HCl, 15 %, 30 с; 11 — HCl, 15 %, 1 ч

Fig. 6. Histograms of summary data on tests for residual strength of samples No. 1–3 (respectively, а–в) and its average values (г) after exposure to acids: 1 — H₃PO₄, 30 %, 30 sec; 2 — the same, 1 hr; 3 — H₂SO₄, 20 %, 30 sec; 4 — the same, 1 hr; 5 — H₂SO₄, 45 %, 30 sec; 6 — the same, 1 hr; 7 — HCl, 5 %, 1 hr; 8 — HCl, 10 %, 30 sec; 9 — HCl, 10 %, 1 hr; 10 — HCl, 15 %, 30 sec; 11 — HCl, 15 %, 1 hr

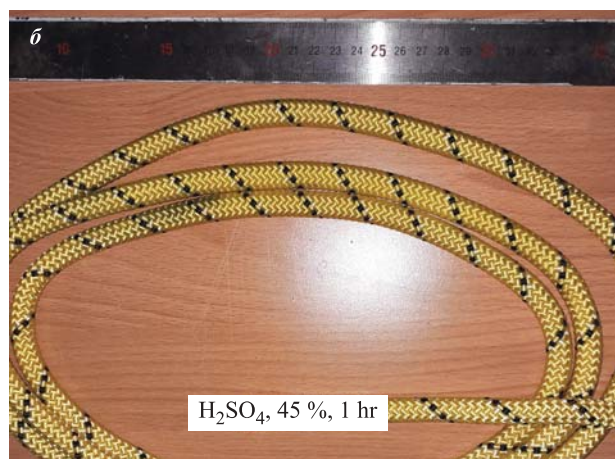


Рис. 7. Состояние оплетки образцов из полиамида с остаточной прочностью 20,69 % (а) и из полиэфира с остаточной прочностью 37,5 % (б) после воздействия H₂SO₄ с концентрацией 45 % в течение 1 ч и последующего кондиционирования в течение 5 сут в нормальных климатических условиях

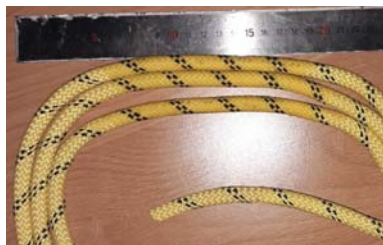
Fig. 7. Sheath condition of the samples from polyamide with a residual strength of 20.69 % (а) and from polyester with a residual strength of 37.5 % (б) after 1 hour of exposure to 45 % H₂SO₄ and 5 days of subsequent conditioning under standard climatic conditions

В табл. 4 представлен внешний вид образцов после разрыва. В ряде случаев в месте разрыва образцов из полиамида наблюдались отдельные сплишившиеся волокна. В процессе испытаний у одних образцов волокна рвались сразу, без отделения оплетки

от сердечника и без вытягивания волокон последнего, а у других — происходило отделение оплетки от сердечника и вытягивание его отдельных прядей. У некоторых образцов структура сердечника после разрыва стала похожа на вату. Характерной

Таблица 3. Визуальное и тактильное состояние образцов после воздействия кислот**Table 3.** Visual and tactile condition of samples after rope exposure

№ п/п No.	Вид образца Sample type	Состояние образца / Condition of the sample	
		Визуальное / Visual	Тактильное / Tactile
Воздействие фосфорной кислоты H ₃ PO ₄ в концентрации 30 % в течение 30 с 30 sec of exposure to phosphoric acid H ₃ PO ₄ in 30 % concentration			
1		Увеличение насыщенности цвета Increase in color saturation	Небольшое увеличение жесткости Slight increase in stiffness
Воздействие серной кислоты H ₂ SO ₄ 20 % в течение 30 с 30 sec of exposure to sulphuric acid H ₂ SO ₄ in 20 % concentration			
2		Незначительное увеличение насыщенности цвета Slight increase in color saturation	Небольшое увеличение жесткости Slight increase in stiffness
3		Незначительное увеличение насыщенности цвета Slight increase in color saturation	Небольшое увеличение жесткости Slight increase in stiffness
Воздействие серной кислоты H ₂ SO ₄ 20 % в течение 1 ч 1 hr of exposure to sulphuric acid H ₂ SO ₄ in 20 % concentration			
4		Незначительное увеличение насыщенности цвета Slight increase in color saturation	Небольшое увеличение жесткости Slight increase in stiffness
5		Незначительное увеличение насыщенности цвета Slight increase in color saturation	Небольшое увеличение жесткости Slight increase in stiffness

№ п/п No.	Вид образца Sample type	Состояние образца / Condition of the sample	
		Визуальное / Visual	Тактильное / Tactile
Воздействие серной кислоты H ₂ SO ₄ 45 % в течение 30 с 30 sec of exposure to sulphuric acid H ₂ SO ₄ in 45 % concentration			
6		Увеличение насыщенности цвета Increase in color saturation	Увеличение жесткости, образование твёрдого верхнего слоя Increase in stiffness, emergence of a rigid outer layer
7		Незначительное увеличение насы- щенности цвета Slight increase in color saturation	Небольшое увеличение жесткости Slight increase in stiffness
8		Увеличение насыщенности цвета Increase in color saturation	Значительное увеличение жесткости, образование твёрдого верхнего слоя Significant increase in stiffness, emer- gence of a rigid outer layer
Воздействие серной кислоты H ₂ SO ₄ 45 % в течение 1 ч 1 hr of exposure to sulphuric acid H ₂ SO ₄ in 45 % concentration			
9		Увеличение насыщенности цвета, потеря текстуры плетения Increase in color saturation, loss of the braiding pattern	Значительное увеличение жесткости, появление липкой основы Significant increase in stiffness, sheath becomes sticky
10		Увеличение насыщенности цвета, потеря текстуры плетения, оголе- ние сердечника Increase in color saturation, loss of the braiding pattern, exposure of the core	Значительное увеличение жесткости, появление липкой основы Significant increase in stiffness, sheath becomes sticky
11		Незначительное увеличение насы- щенности цвета Slight increase in color saturation	Увеличение жесткости Increase in stiffness

№ п/п No.	Вид образца Sample type	Состояние образца / Condition of the sample	
		Визуальное / Visual	Тактильное / Tactile
Воздействие соляной кислоты HCl 15 % в течение 30 с 30 sec of exposure to hydrochloric acid HCl in 15 % concentration			
12		Потускнение окраски оплетки, появление белых образований Fading of the sheath color, emergence of white formations	Значительное увеличение жесткости Significant increase in stiffness
13		Увеличение насыщенности цвета, появление белых образований Increase in color saturation, emergence of white formations	Значительное увеличение жесткости Significant increase in stiffness

особенностью разрыва образцов с полиэфирной оплеткой является отсутствие вытянутых из сердечника жгутов волокон, картина разрушения при этом напоминает разрыв перебитой чем-то веревки. В ряде случаев такой же характер разрыва наблюдался и у образцов с полиамидной оплеткой. При повреждениях веревки кислотой высоких концентраций (HCl 15 %, H₂SO₄ 45 %) разрыв веревки происходил с вытягиванием жгутов сердечника, т. е. при испытаниях вначале рвалась оплетка образца, потом происходило вытягивание и разрыв жгутов сердечника. При этом на поверхности веревок наблюдались максимальные разрушения оплетки. Меньшее повреждение внутренних жгутов веревки в подобных случаях мы объяснили большей плотностью кислоты, ее меньшей текучестью и, как следствие, более медленным проникновением во внутренние слои веревки.

Данные табл. 4 будут полезны при разборе аварийных ситуаций, чтобы при первой оценке в чрезвычайных ситуациях можно было отличить механическое повреждение веревки от химического.

Выводы

1. Для обеспечения безопасности при выполнении работ на высоте в производственном секторе [13–17] с использованием средств индивидуальной защиты, а также при проведении спортивных мероприятий с использованием инвентаря, защищающего спортсмена от падения с высоты [11], необходимо своевременно проводить инспекционные проверки применяемого снаряжения. Одним из ключевых ас-

пектов инспекционной проверки является непосредственный осмотр снаряжения на наличие дефектов [20, 21].

2. Веревка может быть подвергнута механическим, температурным и химическим воздействиям. Одним из самых скрытых и трудно определяемых является именно химическое повреждение веревки. Данный тип повреждения может прогрессировать во времени, ухудшая эксплуатационные характеристики веревки, что, вероятно, приведет к отказу снаряжения и возможному несчастному случаю. При этом время между попаданием химического вещества на веревку и ее отказом может быть очень значительным, вплоть до года и более. В мае 2017 г. в пещере Монастырь-Чокрак в результате обрыва веревки трагически погиб спелеолог. Первые выводы указывали на следы механического повреждения веревки, но в дальнейшем экспертизой были выявлены следы химического воздействия. Данные материалы необходимо принимать во внимание специалистам, отвечающим за безопасность проведения мероприятий на высоте как в промышленном секторе [13–17], так и в спортивном [11].

3. Основными критериями визуального контроля являются: изменение контрастности цвета поврежденного участка оплетки по сравнению с другими, неповрежденными, как в сторону увеличения, так и уменьшения; наличие белесых участков. Как показали исследования, наиболее сложным с точки зрения визуального обнаружения оказался образец с полиэфирной оплеткой, на котором воздействие кислоты практически не проявлялось.

Таблица 4. Состояние оплетки и прядей сердечника после разрыва

Table 4. The condition of sheath and core strands after rupture

№ п/п No.	Вид образца Sample type	Описание характера разрыва Description of the rupture
Фосфорная кислота H_3PO_4 , концентрация 30 %, время воздействия 30 с 30 sec of exposure to phosphoric acid H_3PO_4 in 30 % concentration		
1		Разрыв образца с полиамидной оплеткой без характерных отличий Polyamide sheath sample ruptured without any characteristic distinctions
2		Разрыв образца с полиэфирной оплеткой, отличий по сравнению с контрольными образцами не наблюдается Polyether sheath sample ruptured with no visible difference from control samples
Фосфорная кислота H_3PO_4 , концентрация 30 %, время воздействия 1 ч 1 hr of exposure to phosphoric acid H_3PO_4 in 30 % concentration		
3		Разрыв образца с полиамидной оплеткой, частичное вытягивание прядей сердечника Polyamide sheath sample ruptured; core strands got partially pulled
4		Разрыв образца с полиэфирной оплеткой, отличий по сравнению с контрольными образцами не наблюдается Polyether sheath sample ruptured with no visible difference from control samples
Серная кислота H_2SO_4 , концентрация 20 %, время воздействия 30 с 30 sec of exposure to sulphuric acid H_2SO_4 in 20 % concentration		
5		Разрыв образца с полиамидной оплеткой, отделение оплетки от сердечника Polyamide sheath sample ruptured; sheath got separated from the core

Продолжение табл. 4 / Table 4 continuation

№ п/п No.	Вид образца Sample type	Описание характера разрыва Description of the rupture
6		Разрыв образца с полиэфирной оплеткой, отличий по сравнению с контрольными образцами не наблюдается Polyether sheath sample ruptured with no visible difference from control samples
Серная кислота H_2SO_4 , концентрация 20 %, время воздействия 1 ч 1 hr of exposure to sulphuric acid H_2SO_4 in 20 % concentration		
7		Разрыв образца с полиамидной оплеткой, отделение оплетки от сердечника Polyamide sheath sample ruptured; sheath got separated from the core
8		Разрыв образца с полиэфирной оплеткой, отличий по сравнению с контрольными образцами не наблюдается Polyether sheath sample ruptured with no visible difference from control samples
Серная кислота H_2SO_4 , концентрация 45 %, время воздействия 30 с 30 sec of exposure to sulphuric acid H_2SO_4 in 45 % concentration		
9		Разрыв образца с полиамидной оплеткой, отделение оплетки от сердечника, вытягивание отдельных прядей сердечника Polyamide sheath sample ruptured; sheath got separated from the core and some of the core strands got pulled out
10		Разрыв образца с полиэфирной оплеткой, отличий по сравнению с контрольными образцами не наблюдается Polyether sheath sample ruptured with no visible difference from control samples

Продолжение табл. 4 / Table 4 continuation

№ п/п No.	Вид образца Sample type	Описание характера разрыва Description of the rupture
Серная кислота H_2SO_4 , концентрация 45 %, время воздействия 1 ч 1 hr of exposure to sulphuric acid H_2SO_4 in 45 % concentration		
11		Разрыв образца с полиамидной оплеткой, отделение оплетки от сердечника, вытягивание отдельных прядей сердечника, частичное слипание прядей Polyamide sheath sample ruptured; sheath got separated from the core, some of the core strands got pulled out, and strands got partially stuck together
12		Разрыв образца с полиэфирной оплеткой, отличий по сравнению с контрольными образцами не наблюдается Polyether sheath sample ruptured with no visible difference from control samples
Соляная кислота HCl, концентрация 15 %, время воздействия 1 ч 1 hr of exposure to hydrochloric acid HCl in 15 % concentration		
13		Разрыв образца с полиамидной оплеткой, частичное вытягивание прядей сердечника, структура сердечника похожа на вату Polyamide sheath sample ruptured; sheath got separated from the core, core strands got partially pulled, and the core structure started resembling wadding
14		Разрыв образца с полиэфирной оплеткой, отличий по сравнению с контрольными образцами не наблюдается Polyether sheath sample ruptured with no visible difference from control samples

Окончание табл. 4 / End of Table 4

№ п/п No.	Вид образца Sample type	Описание характера разрыва Description of the rupture
Соляная кислота HCl, концентрация 15 %, время воздействия 30 с 30 sec of exposure to hydrochloric acid HCl in 15 % concentration		
15		Разрыв образца с полиамидной оплеткой, частичное вытягивание прядей сердечника Polyamide sheath sample ruptured; core strands got partially pulled
16		Разрыв образца с полиэфирной оплеткой, отличий по сравнению с контрольными образцами не наблюдается Polyether sheath sample ruptured with no visible difference from control samples

На рис. 7 наглядно показано сравнение двух образцов с оплетками из разных материалов при воздействии на них H_2SO_4 в концентрации 45 % в течение 1 ч с указанием остаточной прочности. В итоге можно заключить, что веревки, состоящие из разных материалов в оплетке и сердечнике, особенно если оплетка более инертна к воздействию химического вещества, чем сердечник, представляют собой скрытую опасность и требуют тщательного инспекционного контроля [20, 21] с полной историей эксплуатации и соответствующей оценкой рисков [23].

4. Основными критериями тактильного контроля поврежденного участка являются:

- увеличение жесткости веревки по сравнению с участками, на которые не было воздействия кислоты;
- повышение твердости на участках воздействия;
- липкая поверхность оплетки.

5. Приведенные в табл. 4 данные помогут специалистам профильных направлений при аварийно-спасательных работах предварительно оценить причины отказа веревки. Если состояния волокон сердечника после разрыва объединить по основным группам, то можно выделить следующие:

- частичное вытягивание прядей сердечника;
- отделение оплетки от сердечника;
- вытягивание отдельных прядей сердечника.

В некоторых случаях к каждой из вышеуказанных групп можно добавить изменение цвета прядей сердечника.

Резюмируя вышеизложенное, можно отметить несколько основных наблюдений.

Во всех вариантах воздействия на образцы кислоты оказывали на них негативное влияние, однако не всякое влияние можно легко обнаружить. Особо негативное влияние на образцы веревки оказала H_2SO_4 и наиболее высокие концентрации HCl .

Полиэфирная оплетка в образце № 3 оказалась своеобразной маскировкой для обнаружения химического повреждения из-за своей повышенной стойкости к растворам кислот. Кислота практически беспрепятственно проникала к сердечнику, воздействуя непосредственно на него, что в большей мере отразилось на величине остаточной прочности по срав-

нению с другими образцами. В силу вышеуказанных причин визуальное состояние оплетки, даже при воздействии 45 %-ной концентрации H_2SO_4 , было намного лучше, чем у других образцов, оплетка которых при такой концентрации разрушалась еще до испытаний на прочность. В связи с этим необходимо, во-первых, более внимательно проводить инспекционную проверку подобных технологических решений, а во-вторых, исследовать веревки именно из нескольких материалов в конструкции в различных сочетаниях.

В рамках следующих испытаний по подобным направлениям необходимо сформировать типовые состояния разрушенных образцов и их волокон, что поможет создать образовательный материал для аварийно-спасательных служб и экспертных комиссий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Manin L., Mahfoudh J., Richard M., Jauffres D. Modeling the climber fall arrest dynamics // Proceedings of the ASME 2005 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. Vol. 6: 5th International Conference on Multibody Systems, Nonlinear Dynamics, and Control, Parts A, B, and C (Long Beach, California, USA. September 24–28, 2005). — New York : ASME, 2005. — P. 1077–1084. DOI: 10.1115/DETC2005-84131.
2. Goh Y. M. Empirical investigation of the average deployment force of personal fall-arrest energy absorbers // Journal of Construction Engineering and Management. — 2015. — Vol. 141, Issue 1. — Article Number 04014059. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000910.
3. Goh Y. M., Love P. E. D. Adequacy of personal fall arrest energy absorbers in relation to heavy workers // Safety Science. — 2010. — Vol. 48, Issue 6. — P. 747–754. DOI: 10.1016/j.ssci.2010.02.020.
4. Гаврилова О. Е., Никитина Л. Л., Канаева Н. С., Геркина О. Ю. Обзор современных полимерных материалов, применяемых в производствах легкой промышленности // Вестник Технологического университета. — 2015. — Т. 18, № 1. — С. 276–278.
5. McLaren A. J. Design and performance of ropes for climbing and sailing // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part L: Journal of Materials: Design and Applications. — 2006. — Vol. 220, No. 1. — P. 1–12. DOI: 10.1243/14644207JMDA75.
6. Бодин А. М. Сравнение свойств материалов для производства веревок, применяемых в аварийно-спасательных работах // Инновации природообустройства и защиты окружающей среды : материалы I Национальной научно-практической конференции с международным участием (г. Саратов, 23–24 января 2019 г.). — Саратов : Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова, 2019. — С. 350–353.
7. Baszczyński K. Dynamic strength tests for low elongation lanyards // International Journal of Occupational Safety and Ergonomics. — 2007. — Vol. 13, No. 1. — P. 39–48. DOI: 10.1080/10803548.2007.11076707.
8. Baszczyński K., Jachowicz M. Effect of mechanical factors on the protective parameters of textile elements in personal equipment protecting against falls from a height // Fibres and Textiles in Eastern Europe. — 2011. — Vol. 88, No. 5. — P. 117–124.
9. Nikonov A., Saprunov I., Zupančič B., Emri I. Influence of moisture on functional properties of climbing ropes // International Journal of Impact Engineering. — 2011. — Vol. 38, No. 11. — P. 900–909. DOI: 10.1016/j.ijimpeng.2011.06.003.
10. Baszczyński K. Effect of repeated loading on textile rope and webbing characteristics in personal equipment protecting against falls from a height // Fibres and Textiles in Eastern Europe. — 2015. — Vol. 23, No. 4(112). — P. 110–118. DOI: 10.5604/12303666.1152741.
11. Schad R. Analysis of climbing accidents // Accident Analysis & Prevention. — 2000. — Vol. 32, Issue 3. — P. 391–396. DOI: 10.1016/S0001-4575(99)00026-3.
12. EN 892:2012+A1:2016. Mountaineering equipment — Dynamic mountaineering ropes — Safety requirements and test methods. — Brussels, Belgium : BSI, 2012. — 32 p.

13. Manu P., Ankrah N., Proverbs D., Suresh S. An approach for determining the extent of contribution of construction project features to accident causation // *Safety Science*. — 2010. — Vol. 48, Issue 6. — P. 687–692. DOI: 10.1016/j.ssci.2010.03.001.
14. Nadhim E. A., Hon C., Xia B., Stewart I., Fang D. Falls from height in the construction industry: A critical review of the scientific literature // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. — 2016. — Vol. 13, Issue 7. — P. 638. DOI: 10.3390/ijerph13070638.
15. Proto A. R., Mazzocchi F., Cossio F., Bortolini L., Pascuzzi S., Caruso L., Diano M., Zimbalatti G. A survey on occupational injuries in works on trees in Italy // *Procedia — Social and Behavioral Sciences*. — 2016. — Vol. 223. — P. 435–441. DOI: 10.1016/j.sbspro.2016.05.266.
16. Lestari R. I., Guo B. H. W., Goh Y. M. Causes, solutions, and adoption barriers of falls from roofs in the Singapore construction industry // *Journal of Construction Engineering and Management*. — 2019. — Vol. 145, Issue 5. — Article Number 04019027. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001649.
17. Lim W. C., Tashrif S. M., Goh Y. M., Koh S. J. A. Validation of the energy balance approach for design of vertical lifeline systems // *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*. — 2019. — 13 p. DOI: 10.1080/10803548.2019.1616948.
18. Galy B., Lan A. Horizontal lifelines — review of regulations and simple design method considering anchorage rigidity // *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*. — 2018. — Vol. 24, Issue 1. — P. 135–148. DOI: 10.1080/10803548.2017.1300444.
19. Goh Y. M., Wang Q. Investigating the adequacy of horizontal lifeline system design through case studies from Singapore // *Journal of Construction Engineering and Management*. — 2015. — Vol. 141, Issue 7. — Article Number 04015017. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000989.
20. Vasilenko V., Korolchenko D., Pham Nam Thanh. Definition of the inspection criteria for personal protective equipment (for work at heights) on example of full body harnesses // *MATEC Web of Conferences*. — 2018. — Vol. 251. — Article Number 02042. — 9 p. DOI: 10.1051/mateconf/201825102042.
21. Карасёв В. К., Суханов А. С. Обслуживание и периодический осмотр СИЗ от падения с высоты // *Безопасность и охрана труда*. — 2016. — № 4(69). — С. 24–26.
22. Ступаков А. А., Капырин П. Д., Леликов Г. Д., Семенов П. А., Василенко В. В. Стенды для исследований средств индивидуальной защиты от падения человека с высоты // *Вестник МГСУ*. — 2015. — № 8. — С. 130–139.
23. Goh Y. M., Goh W. M. Investigating the effectiveness of fall prevention plan and success factors for program-based safety interventions // *Safety Science*. — 2016. — Vol. 87. — P. 186–194. DOI: 10.1016/j.ssci.2016.04.007.

REFERENCES

1. L. Manin, J. Mahfoudh, M. Richard, D. Jauffres. Modeling the climber fall arrest dynamics. In: *Proceedings of the ASME 2005 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference*. Vol. 6: 5th International Conference on Multibody Systems, Nonlinear Dynamics, and Control, Parts A, B, and C (Long Beach, California, USA, September 24–28, 2005). New York, ASME, 2005, pp. 1077–1084. DOI: 10.1115/DETC2005-84131.
2. Y. M. Goh. Empirical investigation of the average deployment force of personal fall-arrest energy absorbers. *Journal of Construction Engineering and Management*, 2015, vol. 141, issue 1, article number 04014059. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000910.
3. Y. M. Goh, P. E. D. Love. Adequacy of personal fall arrest energy absorbers in relation to heavy workers. *Safety Science*, 2010, vol. 48, issue 6, pp. 747–754. DOI: 10.1016/j.ssci.2010.02.020.
4. O. E. Gavrilova, L. L. Nikitina, N. S. Kanaeva, O. Yu. Gerkina. A review on to-date polymer materials utilized in light industry. *Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta / Herald of Technological University*, 2015, vol. 18, no. 1, pp. 276–278 (in Russian).
5. A. J. McLaren. Design and performance of ropes for climbing and sailing. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part L: Journal of Materials: Design and Applications*, 2006, vol. 220, no. 1, pp. 1–12. DOI: 10.1243/14644207JMDA75.
6. A. M. Bodin. Comparison of material properties of ropes utilized in emergency and rescue works. In: *Innovatsii prirodoobustroystva i zashchity okruzhayushchey sredy [Environmental innovation and environmental protection]*. Proceedings of the 1st National Scientific and Practical Conference with International Participation (Saratov, January 23–24, 2019). Saratov, Saratov State Vavilov Agrarian University Publ., 2019, pp. 350–353 (in Russian).

7. K. Baszczyński. Dynamic strength tests for low elongation lanyards. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 2007, vol. 13, no. 1, pp. 39–48. DOI: 10.1080/10803548.2007.11076707.
8. K. Baszczyński, M. Jachowicz. Effect of mechanical factors on the protective parameters of textile elements in personal equipment protecting against falls from a height. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 2011, vol. 88, no. 5, pp. 117–124.
9. A. Nikonov, I. Saprunov, B. Zupančič, I. Emri. Influence of moisture on functional properties of climbing ropes. *International Journal of Impact Engineering*, 2011, vol. 38, no. 11, pp. 900–909. DOI: 10.1016/j.ijimpeng.2011.06.003.
10. K. Baszczyński. Effect of repeated loading on textile rope and webbing characteristics in personal equipment protecting against falls from a height. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 2015, vol. 23, no. 4(112), pp. 110–118. DOI: 10.5604/12303666.1152741.
11. R. Schad. Analysis of climbing accidents. *Accident Analysis & Prevention*, 2000, vol. 32, issue 3, pp. 391–396. DOI: 10.1016/S0001-4575(99)00026-3.
12. EN 892:2012+A1:2016. *Mountaineering equipment — Dynamic mountaineering ropes — Safety requirements and test methods*. Brussels, Belgium, BSI, 2012. 32 p.
13. P. Manu, N. Ankrah, D. Proverbs, S. Suresh. An approach for determining the extent of contribution of construction project features to accident causation. *Safety Science*, 2010, vol. 48, issue 6, pp. 687–692. DOI: 10.1016/j.ssci.2010.03.001.
14. E. A. Nadhim, C. Hon, B. Xia, I. Stewart, D. Fang. Falls from height in the construction industry: A critical review of the scientific literature. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2016, vol. 13, issue 7, p. 638. DOI: 10.3390/ijerph13070638.
15. A. R. Proto, F. Mazzocchi, F. Cossio, L. Bortolini, S. Pascuzzi, L. Caruso, M. Diano, G. Zimbalatti. A survey on occupational injuries in works on trees in Italy. *Procedia — Social and Behavioral Sciences*, 2016, vol. 223, pp. 435–441. DOI: 10.1016/j.sbspro.2016.05.266.
16. R. I. Lestari, B. H. W. Guo, Y. M. Goh. Causes, solutions, and adoption barriers of falls from roofs in the Singapore construction industry. *Journal of Construction Engineering and Management*, 2019, vol. 145, issue 5, article number 04019027. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001649.
17. W. C. Lim, S. M. Tashrif, Y. M. Goh, S. J. A. Koh. Validation of the energy balance approach for design of vertical lifeline systems. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 2019. 13 p. DOI: 10.1080/10803548.2019.1616948.
18. B. Galy, A. Lan. Horizontal lifelines — review of regulations and simple design method considering anchorage rigidity. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 2018, vol. 24, issue 1, pp. 135–148. DOI: 10.1080/10803548.2017.1300444.
19. Y. M. Goh, Q. Wang. Investigating the adequacy of horizontal lifeline system design through case studies from Singapore. *Journal of Construction Engineering and Management*, 2015, vol. 141, issue 7, article number 04015017. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000989.
20. V. Vasilenko, D. Korolchenko, Nam Thanh Pham. Definition of the inspection criteria for personal protective equipment (for work at heights) on example of full body harnesses. *MATEC Web of Conferences*, 2018, vol. 251, article number 02042. 9 p. DOI: 10.1051/mateconf/201825102042.
21. V. K. Karasev, A. S. Sukhanov. Maintenance and periodic inspection of PPE against falls from height. *Bezopasnost i okhrana truda / Safety and Labor Protection*, 2016, no. 4(69), pp. 24–26 (in Russian).
22. A. A. Stupakov, P. D. Kapyrin, G. D. Lelikov, P. A. Semenov, V. V. Vasilenko. Stands for studies of personal protective equipment for people against falling from a height. *Vestnik MGSU / Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering*, 2015, no. 8, pp. 130–139 (in Russian).
23. Y. M. Goh, W. M. Goh. Investigating the effectiveness of fall prevention plan and success factors for program-based safety interventions. *Safety Science*, 2016, vol. 87, pp. 186–194. DOI: 10.1016/j.ssci.2016.04.007.

Поступила 07.10.2019, после доработки 13.11.2019;
принята к публикации 28.11.2019

Received 7 October 2019; Received in revised form 13 November 2019;
Accepted 28 November 2019

Информация об авторах

ВАСИЛЕНКО Василий Владимирович, заведующий лабораторией Института комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Российская Федерация; ORCID: 0000-0003-4616-0969; e-mail: ppe_mgsu@mail.ru

ЛЕЛИКОВ Георгий Дмитриевич, инженер лаборатории Института комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Российская Федерация; ORCID: 0000-0003-3727-2109; e-mail: ppe_mgsu@mail.ru

ОВЧИННИКОВА Татьяна Алексеевна, инженер-химик-технолог, ООО «БАСК», г. Москва, Российская Федерация; ORCID: 0000-0002-0616-2508; e-mail: taniur77@yandex.ru

КОРОЛЬЧЕНКО Дмитрий Александрович, канд. техн. наук, заведующий кафедрой комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Российская Федерация; Author ID: 55946060600; Researcher ID: E-1862-2017; ORCID: 0000-0002-2361-6428; e-mail: ICA_kbs@mgsu.ru

Information about the authors

Vasiliy V. VASILENKO, Head of Laboratory at Institute of Integrated Safety in Construction, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-4616-0969; e-mail: ppe_mgsu@mail.ru

Georgiy D. LELIKOV, Engineer of Laboratory at Institute of Integrated Safety in Construction, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-3727-2109; e-mail: ppe_mgsu@mail.ru

Tatyana A. OVCHINNIKOVA, Chemical Engineer, BASK LLC, Moscow, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-0616-2508; e-mail: taniur77@yandex.ru

Dmitriy A. KOROLCHENKO, Cand. Sci. (Eng.), Head of Department of Integrated Safety in Civil Engineering, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation; Author ID: 55946060600; Researcher ID: E-1862-2017; ORCID: 0000-0002-2361-6428; e-mail: ICA_kbs@mgsu.ru



Издательство «ПОЖНАУКА»



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

ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ во взрывопожароопасных зонах

Справочное пособие

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

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

121352, г. Москва, а/я 26; тел./факс: (495) 228-09-03; e-mail: info@fire-smi.ru

Расчетные данные для проектирования зон безопасности в зданиях лечебных учреждений

© А. А. Семин^{1, 2}

¹ ПАО Банк «ФК Открытие» (Россия, 127299, г. Москва, Котельническая наб., 33, стр. 1)

² Академия Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4)

РЕЗЮМЕ

Введение. Проводя анализ нормативно-правовых актов по пожарной безопасности, в том числе зарубежных, можно прийти к выводу, что защита людей во время эвакуации обеспечивается в основном делением здания на пожарные отсеки, нормированием геометрических показателей путей эвакуации и выходов, оснащением зданий системами противопожарной автоматики. Однако для того, чтобы понять реальную возможность эвакуации людей, нужно знать их число, физическое состояние и степень мобильности, а также количество пациентов, которых будет необходимо транспортировать на носилках или в креслах-колясках.

Основная (аналитическая) часть. В статье приведены графики наполняемости медицинских отделений в различных блоках медицинского учреждения, а именно в терапевтическом и стационарно-хирургическом. Полученные эмпирические значения, представленные в настоящей публикации, являются частью ежедневного производственного процесса и носят рабочий характер: ежедневно старшие медицинские сестры собирают данные по наполняемости медицинских отделений пациентами. Общее количество обработанных эмпирических данных составило 297 000 значений.

Выводы. В результате проведенных исследований становится понятно, какими геометрическими показателями должны обладать зоны безопасности и что наиболее востребованным местом для проектирования являются здания стационарно-хирургического типа. Из операционного и реанимационного отделений необходимо создавать зоны безопасности, где люди смогут ожидать своего спасения. Необходимость этого обусловлена тем, что некоторые категории больных в реанимационных блоках, а также в операционном отделении не подлежат эвакуации, поскольку операции на определенных стадиях прерывать не представляется возможным.

Ключевые слова: коммуникационные пути; людские потоки; эвакуация; спасение; лифтовые установки; люди с ограниченными возможностями передвижения; реанимационные пациенты; классификация контингента; объемно-планировочные решения; многопрофильные медицинские учреждения; доступная среда.

Для цитирования: Семин А. А. Расчетные данные для проектирования зон безопасности в зданиях лечебных учреждений // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2019. — Т. 28, № 6. — С. 52–70. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.06.52-70.

✉ Семин Алексей Алексеевич, e-mail: symin89@mail.ru

Estimated data for refuge area design in buildings of health care facilities

© Aleksey A. Semin^{1, 2}

¹ Public Joint-Stock Company Bank «Otkrytiye, Financial Corporation» (Kotelnicheskaya Quay, 33, Bld. 1, Moscow, 127299, Russian Federation)

² State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation)

ABSTRACT

Introduction. When studying fire safety laws and regulations, including foreign ones, one can draw a conclusion that protecting people during evacuation is mainly ensured by dividing the building into fire compartments, specifying geometric properties of escape routes and exits, and by equipping buildings with automated fire prevention systems. However, in order to assess the actual possibility of evacuating people, their number, physical condition, and degree of mobility must be known, as well as the number of patients who will need to be moved on stretchers or in wheel-chairs.

Main (analytical) part. This paper provides schedules for occupancy rates of medical departments in different units of a health care facility, namely, in the internal medicine and inpatient surgical units. Obtained empirical values presented in this publication are part of daily operating process and are included in the workflow: each day head nurses collect data on rates of patient occupancy in medical departments. The total number of processed empirical data was 297,000 values.

Conclusions. The studies that have been carried out demonstrate which geometrical properties must be ensured for refuge areas and that buildings of the inpatient surgical type are the most relevant location where they can be designed. Areas of refuge must be provided for surgery and intensive care departments where people can wait for rescue. Some categories of patients in intensive care units, as well as in the surgical department, are not subject to evacuation, because it is not possible to interrupt surgeries after reaching a certain stage.

Keywords: communication paths; human flows; evacuation; rescue; elevator units; people with restricted mobility; intensive care patients; population classification; space planning decisions; multi-field health care facilities; accessible environment.

For citation: A. A. Semin. Estimated data for refuge area design in buildings of health care facilities. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2019, vol. 28, no. 6, pp. 52–70 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2019.28.06.52-70.

✉ Aleksey Alekseevich Semin, e-mail: symin89@mail.ru

Введение

Продолжение анализа, начатого в [1], соотношений расчетных величин индивидуального пожарного риска ($Q_{вi} = Q_{пi}(1 - K_{апi})P_{прi}(1 - P_{эi})(1 - K_{п.зi})$) показывает, что при постоянных значениях коэффициентов $K_{апi}$ и $K_{п.зi}$, принятых последней редакцией Методики [2], расчетная величина индивидуального пожарного риска $Q_{вi}$ зависит исключительно от конкретных значений $P_{прi}$ и $P_{эi}$ (где $Q_{пi}$ — частота возникновения пожара в здании в течение года; $K_{апi}$ — коэффициент, учитывающий соответствие установок автоматического пожаротушения требованиям нормативных документов по пожарной безопасности; $K_{п.зi}$ — коэффициент, учитывающий соответствие системы противопожарной защиты, направленной на обеспечение безопасной эвакуации людей при пожаре, требованиям нормативных документов по пожарной безопасности; $P_{прi}$ — вероятность присутствия людей в здании; $P_{эi}$ — вероятность эвакуации людей).

Вероятность присутствия людей в здании $P_{прi}$ определяется режимом функционирования расположенного в нем учреждения. Для зданий учреждений здравоохранения значение $P_{прi}$ может определяться в соответствии с классификацией, приведенной в публикации [3], авторы которой выделяют четыре типа блоков: поликлинический, стационарно-хирургический, стационарно-терапевтический и лабораторный. В этой публикации приведена и классификация состава пациентов, учитывающая изменяющуюся демографию промышленно развитых стран мира [4–6], в том числе нашей страны. Эти изменения касаются прежде всего мобильности всех возрастных групп населения [7–9]: государственной программой “Доступная среда” [10] определено, что до 40 % населения страны составляют люди “с ограниченными возможностями передвижения”. Очевидно, что для таких людей должна быть обеспечена не только доступность помещений различного назначения при повседневных условиях эксплуатации зданий, но и доступность безопасной среды в случае пожара, т. е. возможность эвакуироваться из этих зданий. Естественно, что людей с ограни-

ченными возможностями передвижения гораздо больше в зданиях медицинского назначения, чем в зданиях других классов функциональной пожарной опасности.

Изменения демографии населения заставляют зарубежных специалистов задумываться о корректности существующих у них моделей движения людей [11], использующих данные более чем полувековой давности [12, 13]. В связи с этим они уделяют пристальное внимание результатам исследований закономерностей движения людских потоков, в состав которых входят так называемые “крайние” возрастные группы — дошкольники [14, 15] и люди преклонного возраста [16, 17]. Исследования российских ученых, охватывающие и другие группы людей с ограниченными возможностями передвижения [18–21], показывают, что существует инвариантная модель людского потока [22, 23], не зависящая от ограничения знаний во времени.

Результаты исследований параметров движения людей с ограниченными возможностями передвижения показывают снижение скорости их движения по сравнению с нормативной величиной, следовательно, необходимо искать новые возможности выполнения требований обеспечения своевременности их эвакуации при пожаре: $t_{эв} \leq t_{нб}$. Своевременным решением возникшей проблемы становится организация зон безопасности [24]. Определение параметров движения людей с ограниченными возможностями передвижения позволяет установить допустимые расстояния между местами нахождения этих людей и проектируемыми зонами безопасности. Однако необходимая вместимость этих зон зависит прежде всего от количества людей, для которых они проектируются. Обоснованные данные о требуемой вместимости зон безопасности в зданиях учреждений здравоохранения отсутствуют в нормативных документах по архитектурно-строительному проектированию и противопожарной защите, что создает проблемы в проектной практике [25].

Целью написания настоящей статьи является создание теоретической основы для определения расчетных данных при проектировании зон безопасно-

сти в зданиях лечебных учреждений. В целях выполнения запланированной задачи были обработаны данные за три года по наполняемости пациентами отделений крупного многопрофильного медицинского института. Предметом систематизации стали статистические данные за 2014–2016 гг., аккумулированные в отделе пожарной безопасности ГБУЗ МО МОНИКИ им. М. Ф. Владимирского. После обработки они были переведены в электронный формат. Общая совокупность полученных значений составила 297 000. Между тем практическая статистика может быть источником для решения этих проблем, поскольку ежедневно старшие медицинские сестры собирают данные по наполняемости отделений медицинских учреждений пациентами с дифференциацией их по градам:

- амбулаторные пациенты, т. е. ходячие;
- транспортабельные пациенты в положении сидя;
- транспортабельные пациенты в положении лежа;
- в отделении реанимации пациенты на аппаратах искусственной вентиляции легких (далее — ИВЛ), относящиеся к «нетранспортабельным»;
- дети и матери (идут отдельными колонками).

Все собранные данные сосредотачиваются в отделе медицинской статистики учреждения, где формируется отчет о пребывании пациентов в отделениях за сутки. В соответствии с требованиями [26] данные отчета передаются в пожарную часть, в районе выезда которой находится медицинское учреждение.

Основная (аналитическая) часть. Анализ динамики пребывания пациентов с ограниченными возможностями передвижения в отделениях медицинских учреждений

Объектом исследований является Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М. Ф. Владимирского (МОНИКИ) — старейшее медицинское учреждение г. Москвы (рис. 1), оказывающее многопрофильные медицинские услуги населению Московской обл.

Для выявления возможных статистических зависимостей по полученным данным были составлены графики динамики заполнения основных функциональных блоков пациентами различных групп мобильности (рис. 2–11).

Терапевтический блок

В зданиях терапевтического назначения находятся пациенты, лечение которых протекает без хирургического вмешательства, поэтому основными помещениями, в которых происходит функционально-технологический процесс, являются: терапевтическая палата, процедурные, диагностические кабинеты. В большинстве случаев специфика лечения пациен-



Рис. 1. Старо-Екатерининская больница (фото 1890 г.), ныне Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М. Ф. Владимирского (г. Москва, ул. Щепкина, д. 61/2)

Fig. 1. Staro-Yekaterininskaya hospital (photo dated 1890), now the Moscow Regional Scientific Research Clinical Institute named after M. F. Vladimirovsky (Shchepkina St., 61/2, Moscow)

тов такова, что, несмотря на множество ограничений передвижения, большая часть пациентов способна передвигаться самостоятельно.

На графике рис. 2 представлена динамика наполняемости дерматовенерологического отделения (в простонародье «кожного отделения»). Данные графика свидетельствуют о том, что 100 % людей в этом отделении могут передвигаться самостоятельно (по заключению медицинского персонала). Правда, бывают пациенты, у которых кожные покровы настолько сильно повреждены, что самостоятельно эвакуироваться они не могут, но такие случаи являются исключением из правил.

Дерматовенерологическое отделение находится в отдельно стоящем здании (корпус № 2), что обусловлено требованиями санитарных норм. Достаточно четко прослеживается, что каждый год в первых числах января графики наполняемости отделения имеют минимальные значения (см. рис. 2). Это связано с праздничным периодом, когда не проводится плановая госпитализация больных, а также их выписки. В связи с этим сразу после праздников происходит амплитудное падение значений, так как оставшихся пациентов начинают выписывать. В конце года, в предпраздничный период, также проводится плановая выписка пациентов из отделений, поэтому процент заполнения отделения пациентами достигает минимальных значений.

Следующее из рассматриваемых зданий — терапевтический корпус № 9. Корпус представляет собой четырехэтажное здание с чердачным и подвальным этажами. На всех четырех этажах располагаются медицинские отделения терапевтического назначения — гастроэнтерология, эндокринология, неврология, терапевтическое и т. д. Определенный процент пациентов этих отделений имеют третью степень подвижности (люди, которых необходимо транспор-

тировать на носилках или в креслах-колясках). В графиках наполняемости (см. рис. 3 и 4) четко прослеживается из года в год небольшой процент пациентов, которых необходимо транспортировать. От общего количества всего контингента такие пациенты будут составлять 5–15 % (см. рис. 3 и 4).

Исключением из общей динамики наполняемости терапевтических отделений является отделение неврологического профиля. Неврология — это раздел медицины, который занимается заболеваниями центральной и периферической нервной системы, поэтому в данном отделении достаточно высокий (по сравнению с другими отделениями данного блока) процент людей, подлежащих транспортировке при эвакуации, в том числе с повреждением опорно-двигательного аппарата (см. рис. 5). Доля людей, требующих эвакуации при помощи носилок или кресел-колясок, в некоторые дни может превышать 20 %.

Исследования наполняемости отделений пациентами проводились не только методом сбора и обработки данных, получаемых от медицинского персонала. Сотрудниками отдела пожарной безопасности проводился также опрос пациентов и старших медицинских сестер. По результатам опроса была составлена таблица с более детальной дифференциацией пациентов по степени возможности передвижения. Несмотря на то что при анализе графика наполняемости неврологического отделения выявляются незначительные расхождения с остальными терапевтическими отделениями, при более тщательном изучении результатов опроса установлено, что процент людей с ограничениями передвижения несколько выше. Возможно, что эти данные были получены в пиковые дни нагрузки отделения.

В связи с полученными дополнительно данными вызывает интерес динамика наполнения пациентами радиологического отделения (см. рис. 6). Радиологическое отделение является терапевтическим подразделением ГБУЗ МО МОНИКИ и направлено на борьбу с онкологическими заболеваниями: там проводится лечение больных с использованием источников ионизирующего излучения. Кривая на графике, соответствующая транспортируемым пациентам, проходит вплотную к оси абсцисс. Это говорит о том, что практически все пациенты могут самостоятельно покинуть радиологическое отделение. Однако необходимо обратить внимание на преклонный возраст пациентов: данные, полученные при опросе (см. таблицу), показывают, что из 105 пациентов отделения 76 старше 60 лет и относятся [3] ко 2-й группе по степени ограничения передвижения. Как показывают исследования [16] эвакуации пациентов этой возрастной группы, все они имеют крайне низкие физические возможности для безопасной эвакуации по лестнице.

Для более полного понимания проблем эвакуации пациентов отделений терапевтического блока необходимо обратить внимание на педиатрическое отделение, в котором поток эвакуирующихся пациентов будет состоять не только из детей и персонала, но и из матерей, сопровождающих своих детей (рис. 7). Их количество в некоторых случаях достигает 20–30 % от общего числа пациентов. Присутствие матерей при больных детях является положительным фактором, поскольку облегчает медицинскому персоналу задачу по сбору детей при эвакуации.

Следует иметь в виду, что офтальмологическое отделение, отделения ЛОР и кардиохирургии (см. таблицу), для которых педиатрия не является прямым профильным направлением, также имеют в своем коечном фонде места для детей.

В педиатрическом отделении обращают на себя внимание значительные амплитудные падения его наполняемости. Эта характерная особенность динамики заполнения педиатрических отделений связана со спецификой детских отделений: детям свойственно болеть, и в связи с этим отделения могут периодически закрывать на карантин. Однако в некоторые дни количество пациентов превышает 100 % (т. е. превышает их вместимость), что связано с повышенной востребованностью услуг этого отделения. В такие дни возможно размещение части пациентов на больничных койках в коридоре.

Хирургический блок

Специфика оказания медицинской помощи в подразделениях этого блока иная, нежели в отделениях терапевтического назначения. Соответственно, меняется и состав основного функционального контингента [3]. Почти на всех диаграммах заполнения их подразделений (см. рис. 8–10) можно проследить незначительное снижение заполнения в майские праздники.

Кардиохирургия, называемая иногда сердечно-сосудистой хирургией, — это область хирургии, устраняющая патологии сердечно-сосудистой системы операционным путем. После операции человек попадает в реанимацию и находится там до момента восстановления и стабилизации физического состояния. Как быстро пациент придет в себя после операции, зависит от ряда факторов: длительности операции, дозировки препаратов, возраста и т. д. В связи с перечисленными факторами медицинской сестре сложно точно оценить мобильность пациента на той или иной стадии выведения из наркоза.

На графике наполняемости кардиохирургического отделения (см. рис. 8) явно прослеживается увеличение числа пациентов, которых необходимо транспортировать. В некоторые дни количество

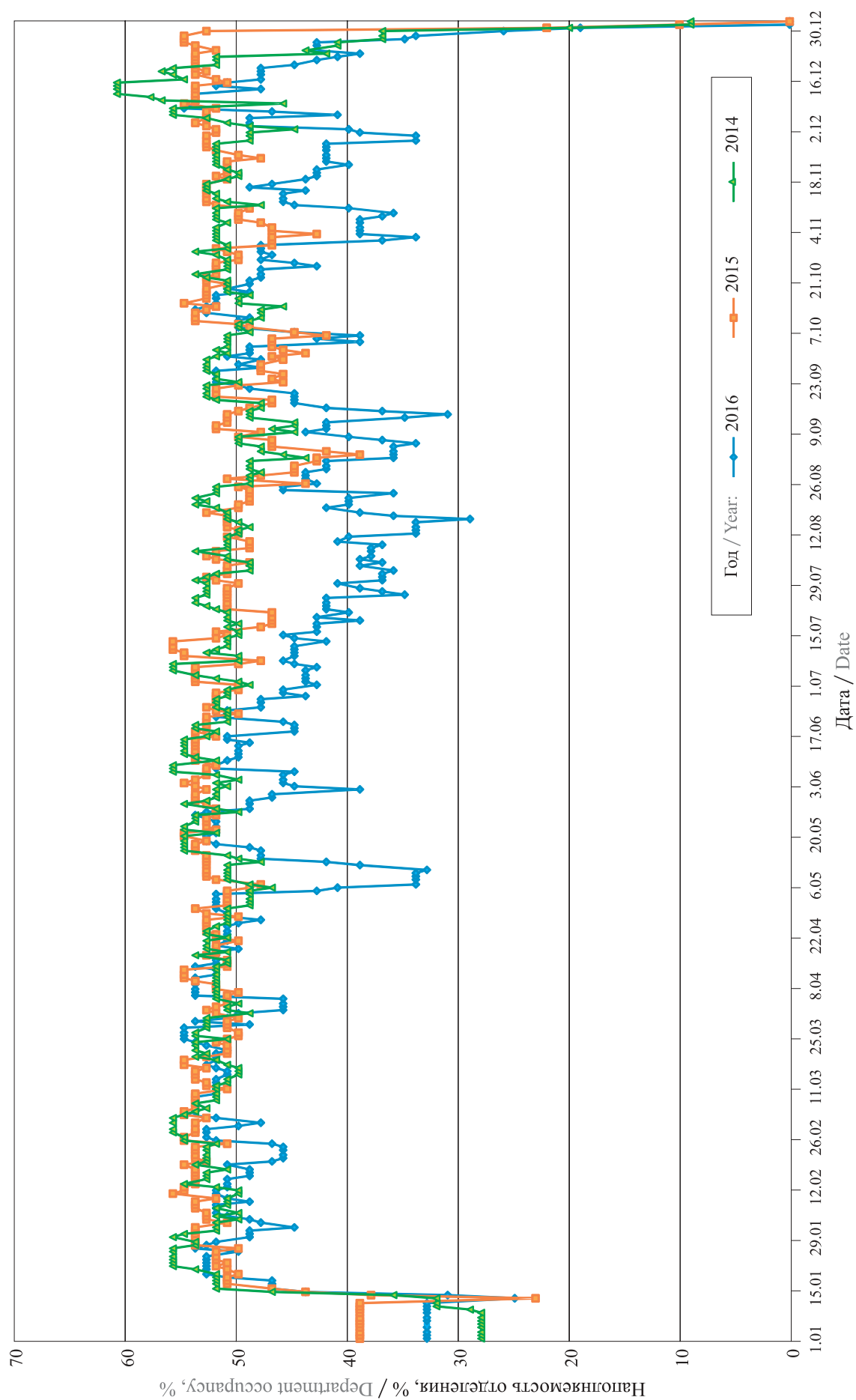


Рис. 2. Наполняемость кожного отделения в период 2014–2016 гг. / Fig. 2. Dermatological department occupancy between 2014 and 2016

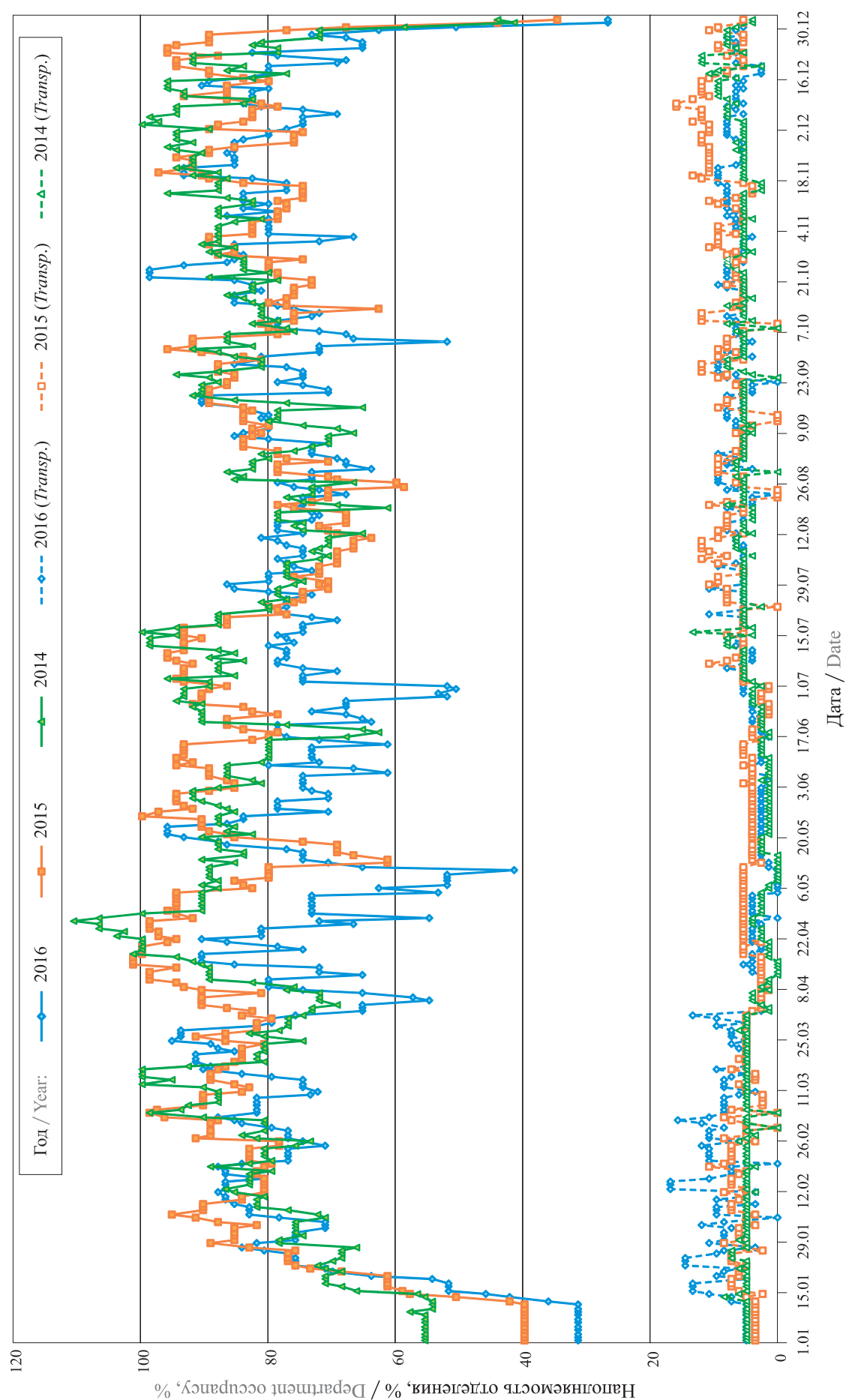


Рис. 3. Наполняемость терапевтического отделения в период 2014–2016 гг.: *Transp.* — пациенты, требующие транспортировки
Fig. 3. Internal medicine department occupancy between 2014 and 2016: *Transp.* means patients who require transport

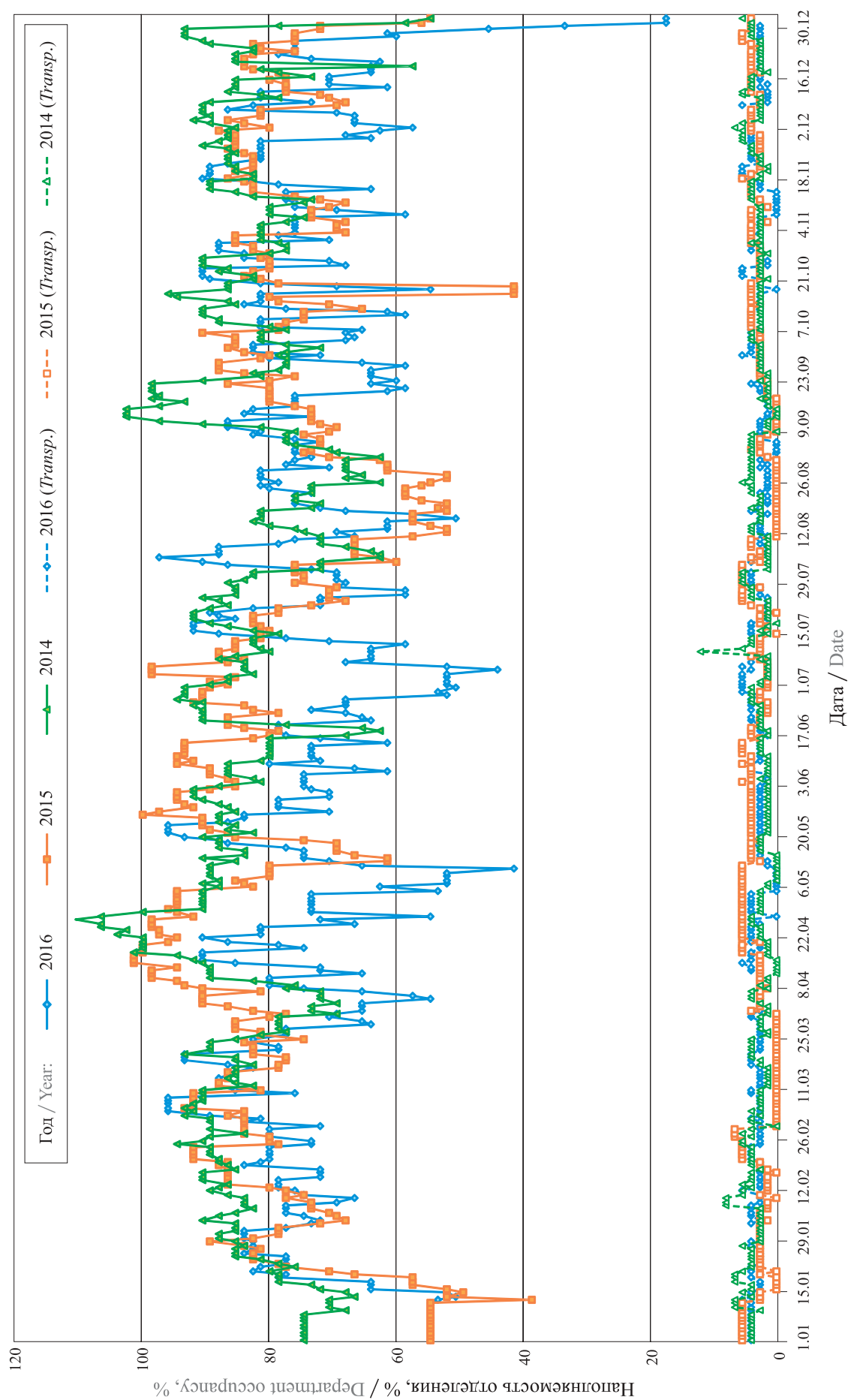


Рис. 4. Наполняемость гастроэнтерологического отделения в период 2014–2016 гг.: *Transp.* — пациенты, требующие транспортировки
Fig. 4. Gastroenterological department occupancy between 2014 and 2016: *Transp.* means patients who require transport

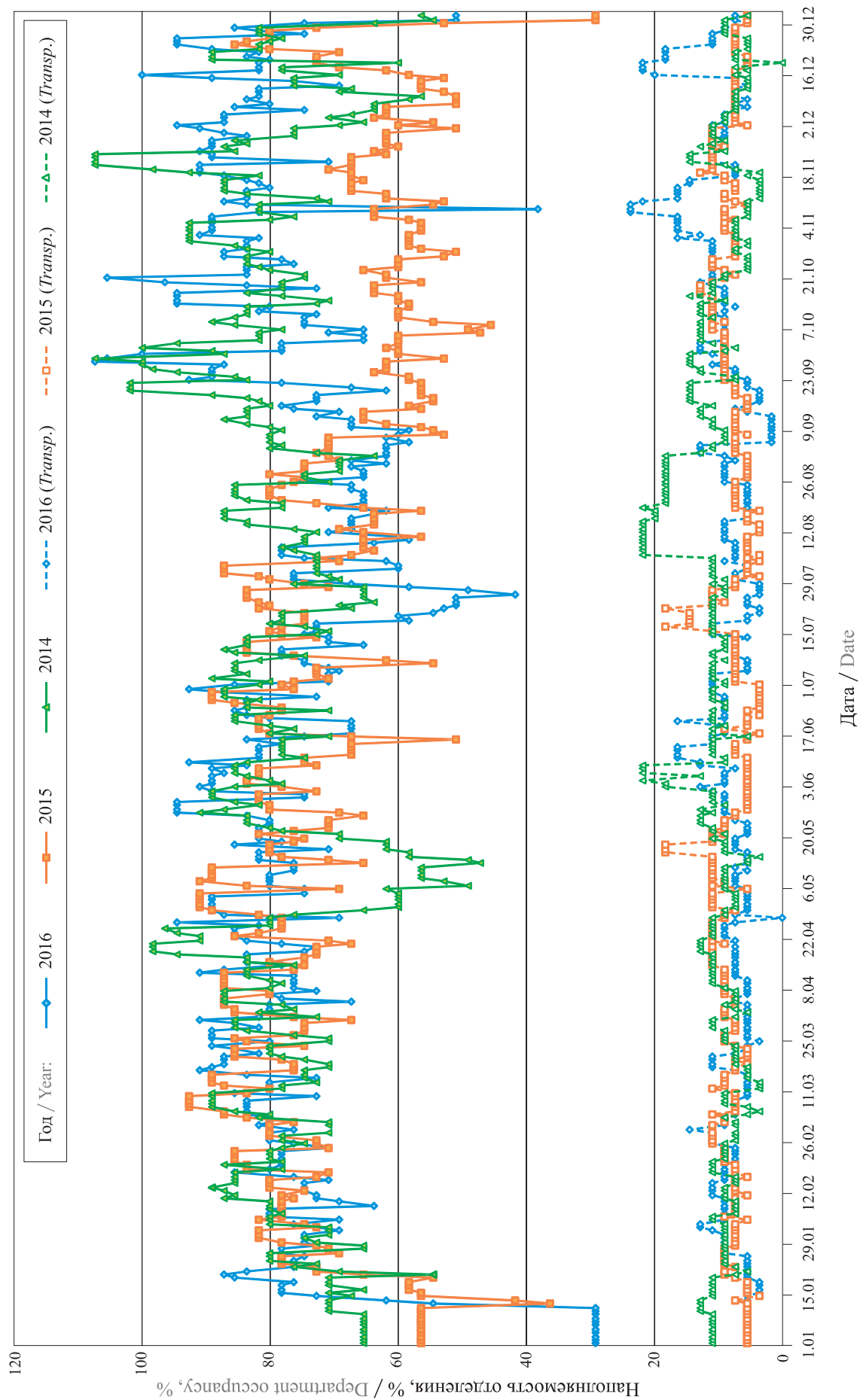


Рис. 5. Наполняемость неврологического отделения в период 2014–2016 гг.: *Transp.* — пациенты, требующие транспортировки
Fig. 5. Neurological department occupancy between 2014 and 2016: *Transp.* means patients who require transport

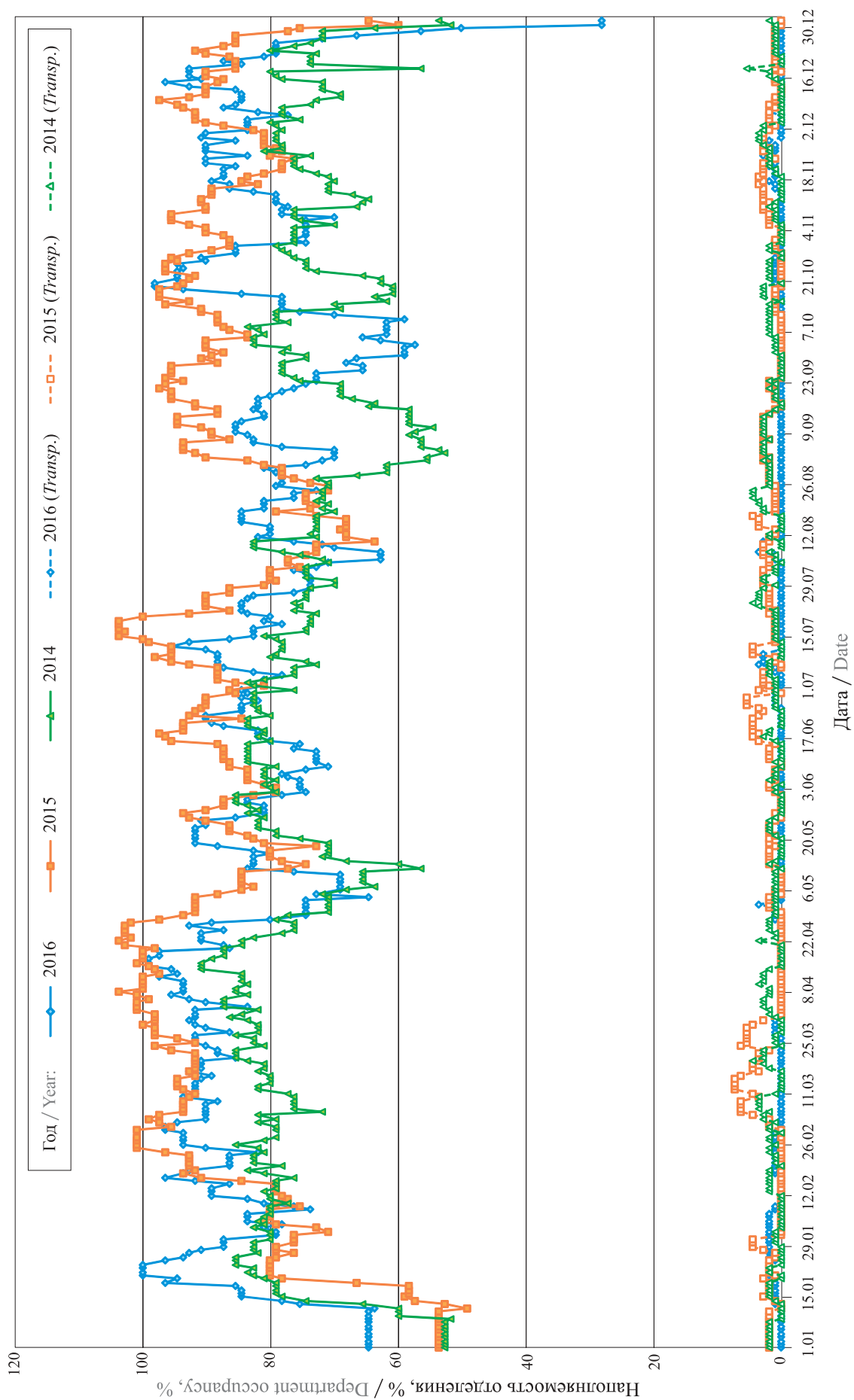


Рис. 6. Наполняемость радиологического отделения в период 2014–2016 гг.: *Transp.* — пациенты, требующие транспортировки
Fig. 6. Radiation therapy department occupancy between 2014 and 2016: *Transp.* means patients who require transport

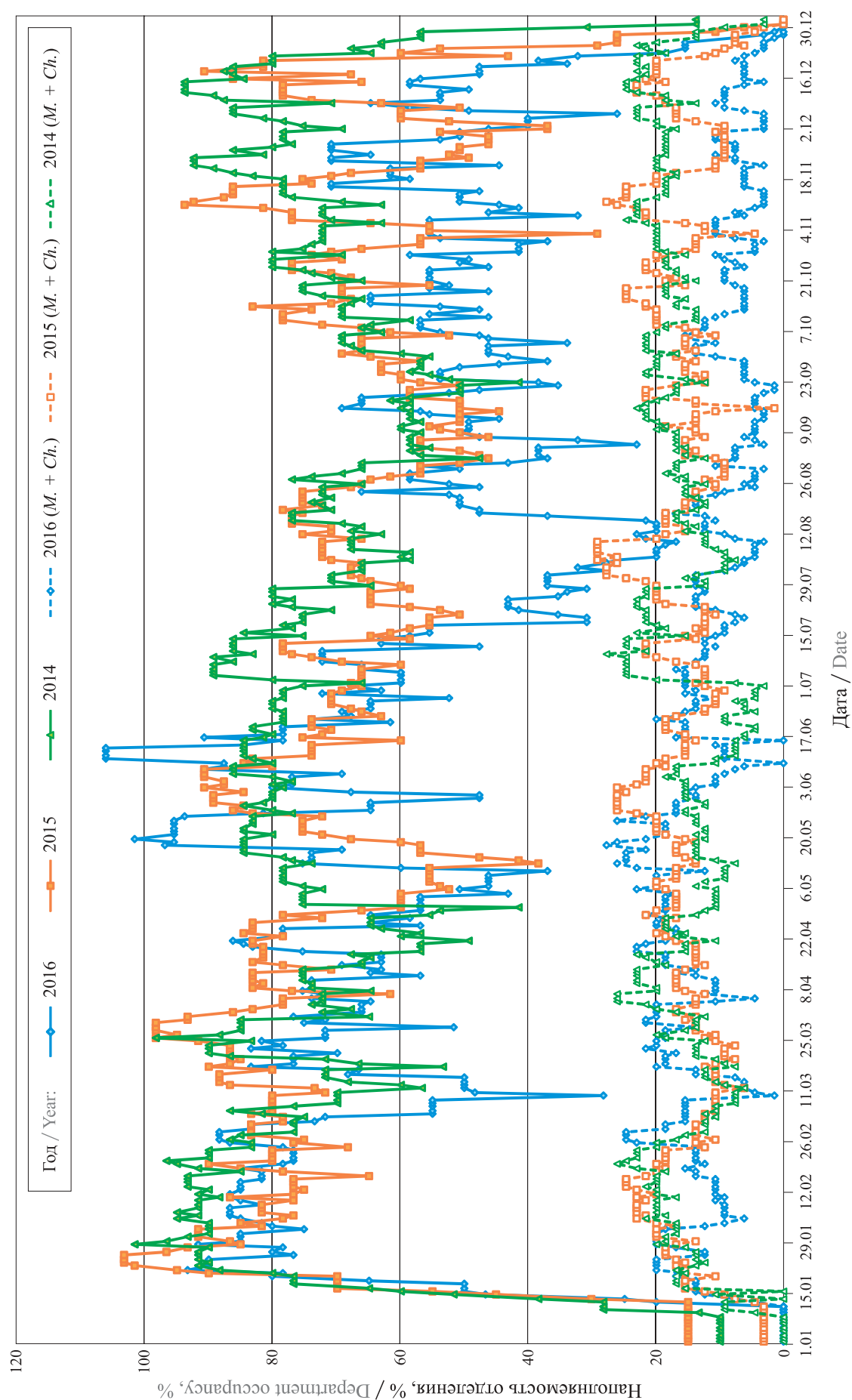


Рис. 7. Наполняемость педиатрического отделения в период 2014–2016 гг.: *M. + Ch.* — матери при детях
Fig. 7. Pediatric department occupancy between 2014 and 2016: *M. + Ch.* means mothers with children

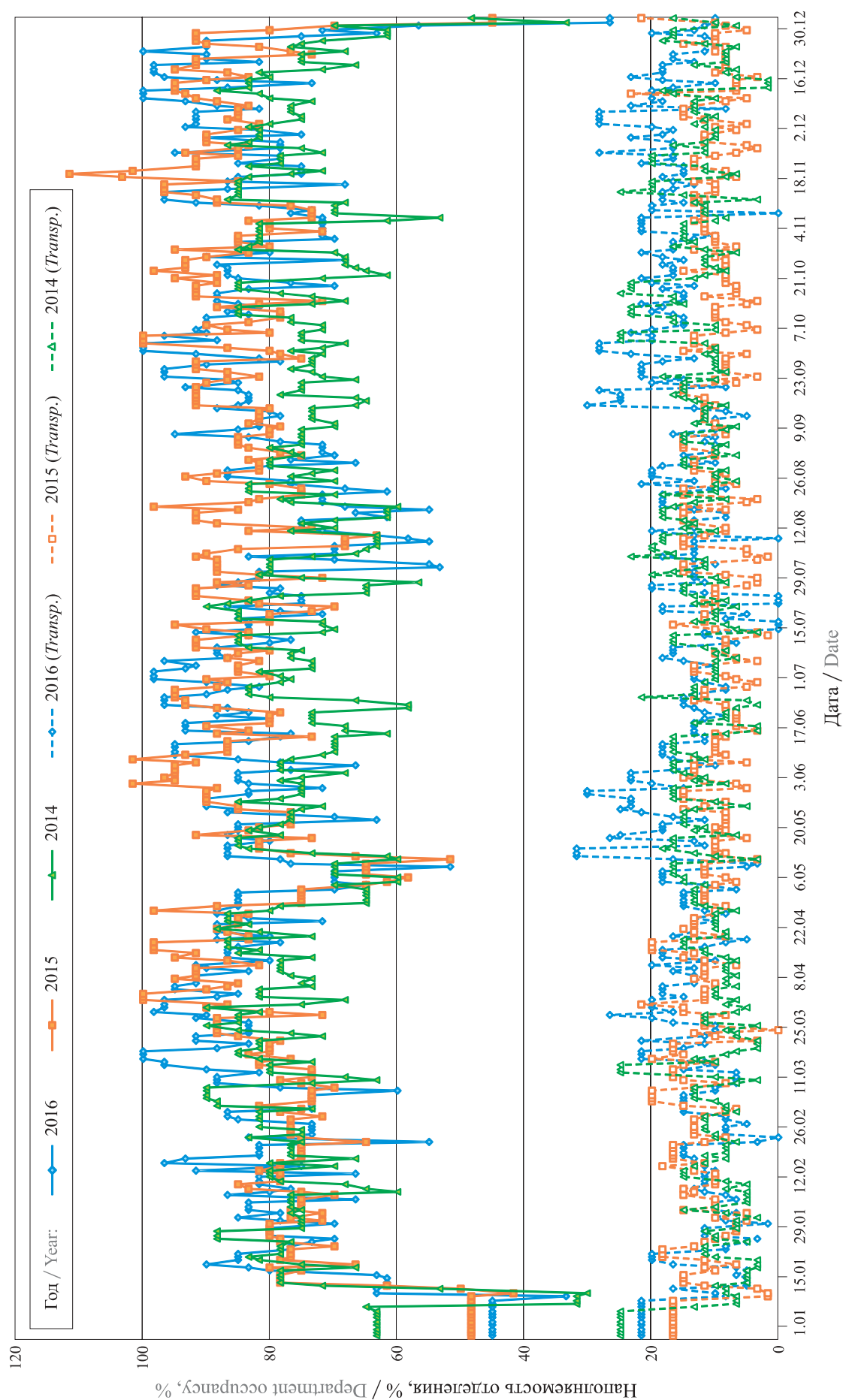


Рис. 8. Наполняемость отделения кардиохирургии в период 2014–2016 гг.: *Transp.* — пациенты, требующие транспортировки
Fig. 8. Cardiac surgery department occupancy between 2014 and 2016: *Transp.* means patients who require transport

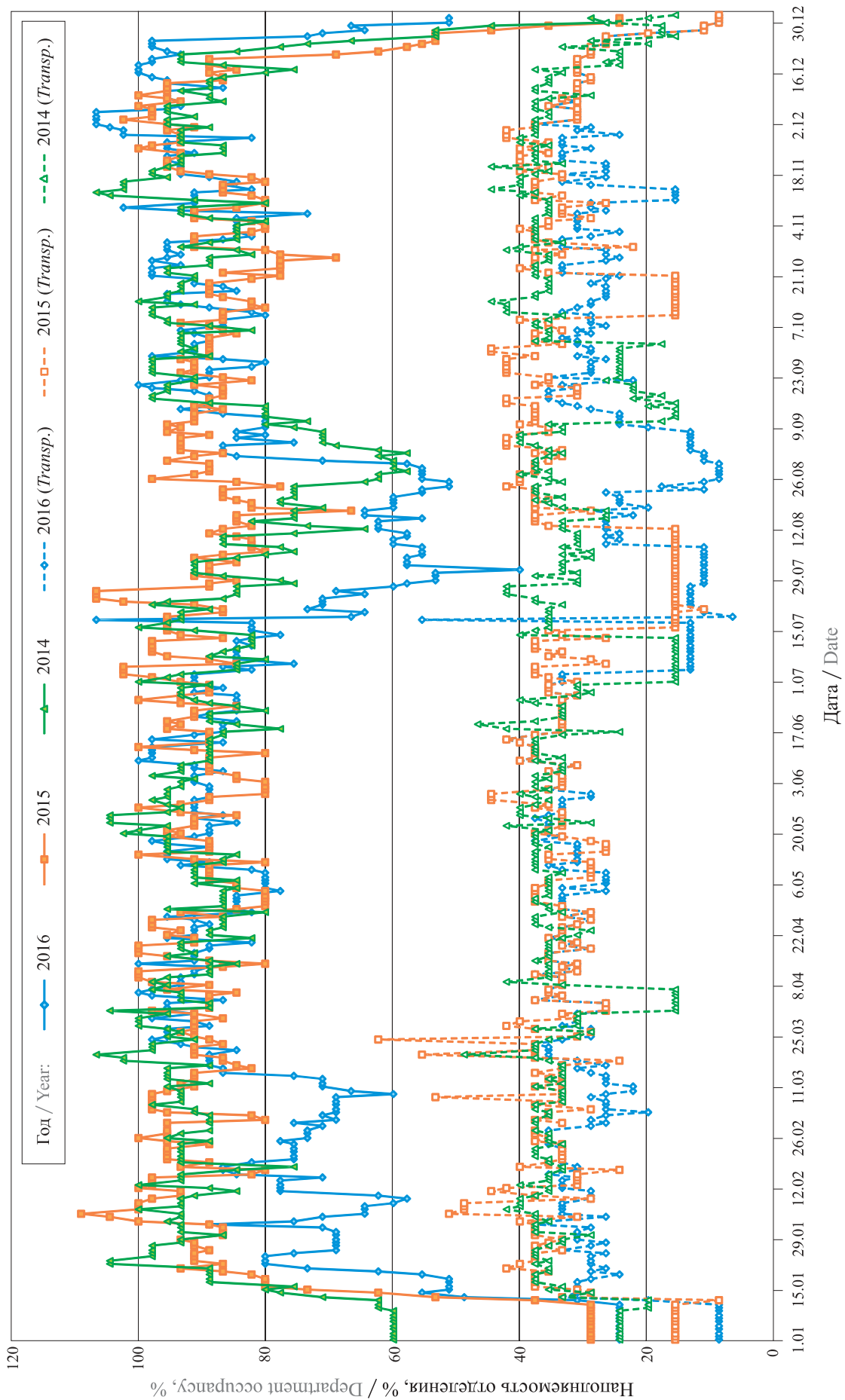


Рис. 9. Наполняемость отделения нейрохирургии в период 2014–2016 гг.: *Transp.* — пациенты, требующие транспортировки
Fig. 9. Neurosurgery department occupancy between 2014 and 2016: *Transp.* means patients who require transport

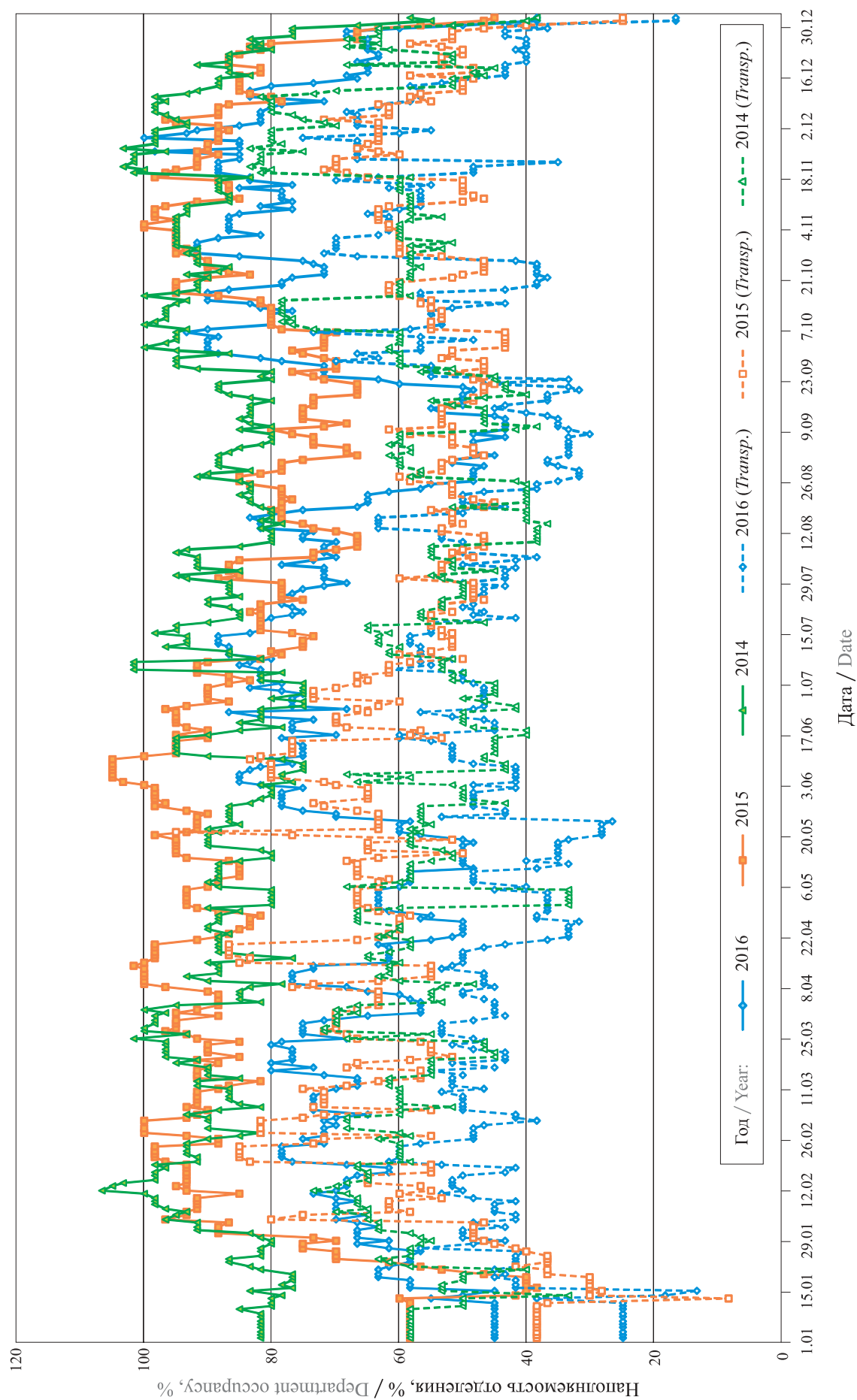


Рис. 10. Наполняемость отделения травматологии в период 2014–2016 гг.: *Transp.* — пациенты, требующие транспортировки
Fig. 10. Traumatology department occupancy between 2014 and 2016: *Transp.* means patients who require transport

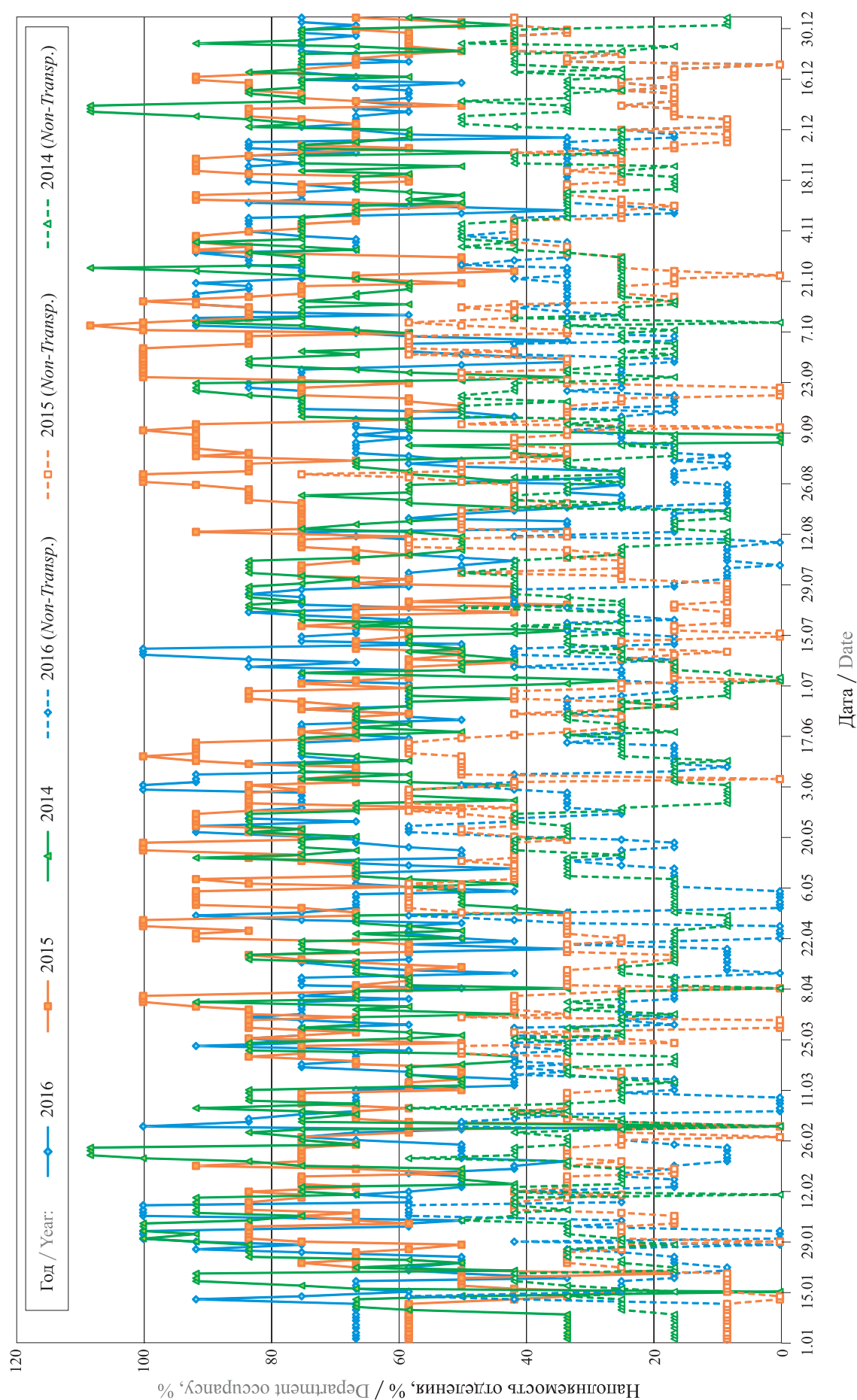


Рис. 11. Наполняемость отделения реанимации и интенсивной терапии в период 2014–2016 гг.: *Non-Transp.* — нетранспортируемые пациенты
Fig. 11. Resuscitation and intensive care department occupancy between 2014 and 2016: *Non-Transp.* means non-transportable patients

Количество пациентов различных групп мобильности в отделениях ГБУЗ МО МОНИКИ им. М. Ф. Владимирского на 13.11.2017 / Patient numbers of different mobility groups in departments of the State Budgetary Health Care Institution Moscow Regional Scientific Research Clinical Institute named after M. F. Vladimirovsky as of November 13, 2017

№ п/п No.	Наименование отделения Department name	Количество пациентов различных групп мобильности, % Patient numbers of different mobility groups, %								Дети с родственниками Children with relatives	Дети без родственников Children without relatives	Общее число пациентов Total patient number
		С нормальной мобильностью With normal mobility	С пониженной мобильностью (по возрасту) With reduced mobility (due to age)	В креслах колясках In wheel- chairs	С дополнительной опорой With additional support		Неспособные к самостоятельной эвакуации Unable to evacuate by themselves					
					одной one	двумя two	Вынос на носилках Carried on stretchers	Вынос со специальными медицинскими средствами Carried with special medical equipment				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	ЛОП / ENT	18	22	1	2	—	—	—	8	4	55	
2	Урологическое / Urology	18	21	—	3	—	3	—	—	—	49	
3	Детская хирургия / Pediatric surgery	—	—	—	—	—	—	—	27	12	39	
4	Детская реанимация / Pediatric intensive care	—	—	—	—	—	—	8	—	—	8/9	
5	Сосудистая хирургия / Vascular surgery	3	21	2	1	—	—	—	—	—	27	
6	Абдоминальная хирургия / Abdominal surgery	13	11	4	1	—	4	—	—	—	33	
7	Эндокринная хирургия / Endocrine surgery	8	10	1	1	—	2	—	—	—	22	
8	Торакальная хирургия / Thoracic surgery	8	2	1	1	1	3	2	—	—	17	
9	Челюстно-лицевая хирургия / Maxillo-facial surgery	19	10	1	1	—	1	—	3	3	38	
10	Кардиохирургия / Cardiac surgery	15	28	2	1	—	—	—	7	—	53	
11	Взрослая реанимация № 1 / Adult intensive care unit No. 1	—	—	—	—	—	1	3	—	—	4/12	
12	Офтальмология / Ophthalmology	18	38	—	2	—	—	—	2	3	63	
13	Травматология / Traumatology	12	—	1	—	38*	1	—	—	—	52	
14	Терапевтическое № 2 / Internal medicine No. 2	2	26	4	—	—	—	—	—	—	32	
15	Нейрохирургия / Neurosurgery	8	11	4	—	—	15	—	—	—	38	
16	Взрослая реанимация № 2 / Adult intensive care unit No. 2	—	—	—	—	—	2	2	—	—	4/12	
17	Неврология / Neurology	16	22	5	1	1	2	—	—	—	47	
18	Радиология / Radiation therapy	29	76	1	—	—	—	—	—	—	105	
19	Трансплантации и диализа / Transplantation and dialysis	19	11	2	—	—	1	—	—	—	30	
20	Педиатрическое / Pediatric	—	—	—	—	—	—	—	6	24	30	
21	Эндокринологическое / Endocrinology	23	16	—	1	—	—	—	—	—	40	
22	Гастроэнтерологическое / Gastroenterology	50	26	1	—	—	—	—	—	—	77	
23	Терапевтическое № 1 / Internal medicine No. 1	31	12	2	1	2	—	2	—	—	50	
24	Гематологическое / Hematology	16	18	5	—	—	1	—	—	—	40	

Данное значение включает 34 пациента с пониженной мобильностью по возрасту (см. графы 4). / This value includes 34 patients with reduced mobility (due to age) (see column 4).

* Данное значение включает 34 пациента с пониженной мобильностью по возрасту (см. графу 4). / This value includes 34 patients with reduced mobility (due to age) (see column 4).

больных, требующих транспортировки, достигает 30 %.

В нейрохирургическом отделении доля людей, которых необходимо транспортировать, будет составлять порядка 20–30 %. Это обуславливается особенностью лечебного процесса: ведь нейрохирургия — это раздел хирургии, занимающийся вопросами оперативного лечения заболеваний нервной системы, включая головной мозг, спинной мозг и периферическую нервную систему.

При сопоставительном анализе ежедневной статистики и данных, полученных при опросе, можно прийти к выводу о качественном различии категории пациентов, находящихся на лечении в травматологическом и нейрохирургическом отделениях. В отделении нейрохирургии это пациенты, которых необходимо транспортировать на носилках в дооперационный период или после него. Что касается травматологических больных, то это люди, способные к передвижению при помощи одной или двух дополнительных опор, но 90 % из них имеют пониженную мобильность по возрасту. В связи с этим становится понятно, почему медицинский персонал определил [16] данную категорию больных как транспортируемых на носилках или в креслах-колясках. В отделении травматологии доля пациентов, которых необходимо будет транспортировать, в некоторые дни достигает 95 %. В целом кривые, характеризующие количество людей, требующих транспортировки, стабильно держатся в пределах 50–60 %. При таком количественном соотношении они начинают сближаться с другими кривыми (см. рис. 10), поэтому, для того чтобы отделить “мух от котлет”, кривые, которые описывают количество транспортируемых пациентов, выполнены пунктиром.

В зданиях учреждений стационарно-хирургического типа помещения операционных сопутствуют помещениям реанимации.

В реанимации оказание медицинской помощи имеет свои особенности, которые оказывают влияние на возможность передвижения пациентов. В помещениях реанимации проводится комплекс мероприятий по поддержанию функций жизненно важных органов и систем пациентов, поэтому пациенты зачастую находятся в состоянии медикаментозной седации (сна) на аппарате ИВЛ. С точки зрения специалистов по пожарной безопасности пациенты, находящиеся на искусственной вентиляции легких, не подлежат эвакуации [27]. Однако при консультации с медицинским персоналом выяснилось, что таких пациентов все же перемещают для проведения исследований. Вопрос заключается только в том, будет ли возможность выполнить такого рода манипуляции в экстренной ситуации, поэтому в разрабатываемой классификации [3] пациенты данной ка-

тегории были определены как экстренно нетранспортабельные.

Отделение реанимации является самым маленьким по коечному фонду — порядка 12 коек (рис. 11). Все пациенты, находящиеся в данном отделении, в случае чрезвычайной ситуации должны быть размещены в зоне безопасности, а пациенты, которые экстренно нетранспортабельны, требуют еще дополнительно сопровождения их медицинским персоналом.

Выводы

Руководство страны пытается добиться от проектировщиков, строителей и эксплуатирующих организаций обеспечения доступности комфортной и безопасной среды обитания для населения с ограничениями мобильности наравне с физически здоровыми людьми не только при повседневной эксплуатации зданий и сооружений, но и при пожаре [28].

Здания учреждений здравоохранения могут быть повышенной этажности и даже высотными. Для обеспечения безопасности людей в таких зданиях предусматриваются зоны безопасности, которые должны быть защищены от воздействия пожара. Оптимальным проектным решением по устройству зон безопасности является их размещение в лифтовых холлах транспортно-коммуникационных узлов. Примером необходимости устройства зон безопасности может служить опыт эксплуатации зданий медицинского центра МОНИКИ. Так, 20 марта 2015 г. по неустановленной причине возник пожар на лестничной площадке 9-го этажа в корпусе № 15. Во время этого чрезвычайного происшествия было эвакуировано 290 чел., что составляет 70 % общего числа находящегося в здании контингента. Всех людей из здания эвакуировать не удалось. На первом этаже в вестибюле разместили временный пункт сбора эвакуирующихся. Разнообразие состава контингента людей, прошедших через него, и степень ограничения их мобильности заставили ужаснуться даже самого искушенного “зрителя”: пациенты на носилках, младенцы на руках медсестер и дети с дыхательными устройствами — мешками типа АМБУ.

Одной из наиболее трудных задач, возникающих при проектировании зон безопасности, является определение количества людей с ограниченными возможностями передвижения, методология которого отсутствует в нормативных документах. Результаты проведенных исследований дают систематизированные объективные сведения и данные, необходимые для проектной практики, которые могут быть использованы и при нормировании площади зон безопасности в зданиях медицинских учреждений различной специализации.

При этом следует отметить, что существуют стадии операции, на которых остановить ее не представляется возможным. В помещениях же реанимации находится значительное число экстренно не-

транспортабельных пациентов, поэтому эти помещения нужно проектировать как зоны безопасности, в которых люди смогут находиться в безопасности, ожидая своего спасения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Холицевников 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.
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 (в ред. от 02.12.2015). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902167776> (дата обращения: 04.10.2019).
3. Сёмин А. А., Фомин А. М., Холицевников В. В. Проблема организации безопасной эвакуации пациентов лечебных учреждений при пожаре // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 7-8. — С. 74–88. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.07-08.74-88.
4. Obesity Update 2017 / Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). — 2017. — 16 p. URL: <https://www.oecd.org/els/health-systems/Obesity-Update-2017.pdf> (дата обращения: 04.10.2019).
5. World Population Prospects. The 2017 revision. Key findings and advance tables. — New York : United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2017. — 46 p. URL: https://esa.un.org/unpd/wpp/Publications/Files/WPP2017_KeyFindings.pdf (дата обращения: 01.10.2019).
6. *World Population Ageing 2015*. — New York : United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2015. — 149 p. DOI: 10.18356/e59eddca-en.
7. Reeves N. D., Spanjaard M., Mohagheghi A. A., Baltzopoulos V., Maganaris C. N. The demands of stair descent relative to maximum capacities in elderly and young adults // Journal of Electromyography and Kinesiology. — 2008. — Vol. 18, Issue 2. — P. 218–227. DOI: 10.1016/j.jelekin.2007.06.003.
8. Kang H. G., Dingwell J. B. Effects of walking speed, strength and range of motion on gait stability in healthy older adults // Journal of Biomechanics. — 2008. — Vol. 41, Issue 14. — P. 2899–2905. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2008.08.002.
9. Boyce K. E., Shields T. J., Silcock G. W. H. Towards the characterization of building occupancies for fire safety engineering: Capabilities of disabled people moving horizontally and on an incline // Fire Technology. — 1999. — Vol. 35, Issue 1. — P. 51–67. DOI: 10.1023/A:1015339216366.
10. Об утверждении государственной программы Российской Федерации “Доступная Среда” : Постановление Правительства РФ от 29.03.2019 № 363. URL: <http://base.garant.ru/72216666/> (дата обращения: 05.10.2019).
11. Thompson P., Nilsson D., Boyce K., McGrath D. Evacuation models are running out time // Fire Safety Journal. — 2015. — Vol. 78. — P. 251–261. DOI: 10.1016/j.firesaf.2015.09.004.
12. ISO/TR 16738:2009. Fire-safety engineering — Technical information on methods for evaluating behaviour and movement of people. — Geneva, Switzerland : ISO, 2009. — 61 p.
13. Fruin J. J. Pedestrian planning and design. — New York : Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners, 1971. — 206 p.
14. Парфененко А. П. Нормирование требований пожарной безопасности к эвакуационным путям и выходам в зданиях детских дошкольных образовательных учреждений : дис. ... канд. техн. наук. — М., 2012. — 153 с.
15. Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A., Parfyonenko A. P., Belosokhov I. P. Study of children evacuation from pre-school education institutions // Fire and Materials. — 2012. — Vol. 36, No. 5-6. — P. 349–366. DOI: 10.1002/fam.2152.
16. 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., 2014. — 160 с.
17. Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A., Istratov R. N. 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. — Cambridge, UK, 2012. — P. 587–593.
18. Слюсарев С. В. Нормирование требований пожарной безопасности к эвакуационным путям и выходам для детей с ограниченными возможностями здоровья в зданиях с их массовым пребыванием : дис. ... канд. техн. наук. — М., 2016. — 182 с.
19. Холицевников В. В., Самошин Д. А., Шахуов Т. Ж. Зависимости между параметрами людских потоков при эвакуации из мечетей // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2017. — Т. 26, № 5. — С. 54–65. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.05.54-65.

20. Kholshchevnikov V., Korolchenko D., Zosimova O. Efficiency evaluation criteria of communication paths structure in a complex of buildings of maternity and child-care institutions // MATEC Web of Conferences. — 2017. — Vol. 106, Article Number 01037. — 11 p. DOI: 10.1051/mateconf/201710601037.
21. 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.
22. Холицевников В. В. Закономерности связи между параметрами людских потоков : диплом № 24-S на открытие в области социальной психологии. — М. : Российская академия естественных наук, Международная академия авторов научных открытий и изобретений, Международная ассоциация авторов научных открытий, 2005.
23. Холицевников В. В. Гносеология людских потоков. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2019. — 592 с.
24. Рекомендации по проектированию в общественных зданиях безопасных зон для маломобильных групп населения : метод. пособие. — М. : СРО МОАБ, 2016. — 80 с.
25. Холицевников В. В., Семин А. А. Концепции и инновации архитектурно-строительного образования // Функция, конструкция, среда в архитектуре зданий : сборник тезисов докладов Всероссийской научно-практической конференции (г. Москва, 25–26 апреля 2019 г.) : в 2 т. — М. : МГСУ, 2019. — Т. 1. — С. 11–12.
26. О противопожарном режиме : постановление Правительства РФ от 25.04.2012 № 390 (ред. от 20.09.2019). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902344800> (дата обращения: 04.10.2019).
27. Холицевников В. В., Самошин Д. А., Истратов Р. Н. Исследования проблем обеспечения пожарной безопасности людей с нарушением зрения, слуха и опорно-двигательного аппарата // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2013. — Т. 22, № 3. — С. 48–56.
28. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений : Федер. закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ (ред. от 02.07.2013). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902192610> (дата обращения: 05.10.2019).

REFERENCES

1. V. V. Kholshchevnikov, B. B. Serkov. Importance of automatic fire protection systems to ensure the safety of people in high-rise buildings. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 9, pp. 44–53 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.09.44-53.
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 June 2009 No. 382 (ed. on 2 December 2015) (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902167776> (Accessed 4 October 2019).
3. A. A. Semin, A. M. Fomin, V. V. Kholshchevnikov. Problem of organization of safe evacuation of health-care institution patients in case of fire. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 7-8, pp. 74–88 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.07-08.74-88.
4. *Obesity Update 2017*. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), 2017. 16 p. Available at: <https://www.oecd.org/els/health-systems/Obesity-Update-2017.pdf> (Accessed 4 October 2019).
5. *World Population Prospects. The 2017 revision. Key findings and advance tables*. New York, United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2017. 46 p. Available at: https://esa.un.org/unpd/wpp/Publications/Files/WPP2017_KeyFindings.pdf (Accessed 1 October 2019).
6. *World Population Ageing 2015*. New York, United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2015. 149 p. DOI: 10.18356/e59eddca-en.
7. N. D. Reeves, M. Spanjaard, A. A. Mohagheghi, V. Baltzopoulos, C. N. Maganaris. The demands of stair descent relative to maximum capacities in elderly and young adults. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 2008, vol. 18, issue 2, pp. 218–227. DOI: 10.1016/j.jelekin.2007.06.003.
8. H. G. Kang, J. B. Dingwell. Effects of walking speed, strength and range of motion on gait stability in healthy older adults. *Journal of Biomechanics*, 2008, vol. 41, issue 14, pp. 2899–2905. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2008.08.002.
9. K. E. Boyce, T. J. Shields, G. W. H. Silcock. Toward the characterization of building occupancies for fire safety engineering: Capabilities of disabled people moving horizontally and on an incline. *Fire Technology*, 1999, vol. 35, issue 1, pp. 51–67. DOI: 10.1023/A:1015339216366.
10. *State Program of the Russian Federation “Affordable Environment”*. Decree of the Government of the Russian Federation on 19 March 2019 No. 363 (in Russian). Available at: <http://base.garant.ru/72216666/> (Accessed 5 October 2019).
11. P. Thompson, D. Nilsson, K. Boyce, D. McGrath. Evacuation models are running out time. *Fire Safety Journal*, 2015, vol. 78, pp. 251–261. DOI: 10.1016/j.firesaf.2015.09.004.
12. ISO/TR 16738:2009. *Fire-safety engineering — Technical information on methods for evaluating behaviour and movement of people*. Geneva, Switzerland, ISO, 2009. 61 p.

13. J. J. Fruin. *Pedestrian planning and design*. New York, Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners, 1971. 206 p.
14. A. P. Parfenenko. *Rationing of fire safety requirements for evacuation routes and exits in buildings of preschool educational institutions*. Cand. Sci. (Eng.) Diss. Moscow, 2012. 153 p. (in Russian).
15. V. V. Kholshchevnikov, D. A. Samoshin, A. P. Parfyonenko, I. P. Belosokhov. Study of children evacuation from pre-school education institutions. *Fire and Materials*, 2012, vol. 36, no. 5-6, pp. 349–366. DOI: 10.1002/fam.2152.
16. R. N. Istratov. *Rationing of requirements of fire safety to evacuation ways and exits in hospitals of social establishments on service of citizens of advanced age*. Cand. Sci. (Eng.) Diss. Moscow, 2014. 160 p. (in Russian).
17. V. V. Kholshchevnikov, D. A. Samoshin, R. N. Istratov. 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*. Cambridge, UK, 2012, pp. 587–593.
18. S. V. Slyusarev. *Standardization of fire safety requirements for evacuation routes and exits for children with disabilities in buildings with their massive stay*. Cand. Sci. (Eng.) Diss. Moscow, 2016. 182 p. (in Russian).
19. V. V. Kholshchevnikov, D. A. Samoshin, T. Zh. Shakhuvov. Dependences between the parameters of human flows during evacuation from mosques. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 5, pp. 54–65 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.05.54-65.
20. V. Kholshchevnikov, D. Korolchenko, O. Zosimova. Efficiency evaluation criteria of communication paths structure in a complex of buildings of maternity and child-care institutions. *MATEC Web of Conferences*, 2017, vol. 106, article number 01037. 11 p. DOI 10.1051/mateconf/201710601037.
21. O. S. Zosimova, A. A. Semin, D. A. Korolchenko. 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.
22. V. V. Kholshchevnikov. *Relationship between parameters of human flow*. Diploma No. 24-S on the 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 Publ., 2005 (in Russian).
23. V. V. Kholshchevnikov. *Gnoseologiya lyudskikh potokov* [Gnoseology of human flows]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2019. 592 p. (in Russian).
24. *Rekomendatsii po proyektirovaniyu v obshchestvennykh zdaniyakh bezopasnykh zon dlya malomobilnykh grupp naseleniya* [Design guidelines for public buildings in safe areas for limited mobility people]. Moscow, SRO MOAB Publ., 2016. 80 p. (in Russian).
25. V. V. Kholshchevnikov, A. A. Semin. Concepts and innovations of architectural education. In: *Funktsiya, konstruktsiya, sreda v arkhitekture zdaniy* [Function, design, environment in building architecture]. Proceedings of All-Russian Scientific and Practical Conference (Moscow, 25–26 April 2019). Moscow, MGSU Publ., 2019, vol. 1, pp. 11–12 (in Russian).
26. About fire prevention regime. Decree of the Government of the Russian Federation on 24 April 2012 No. 390 (ed. on 20 September 2019) (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902344800> (Accessed 4 October 2019).
27. V. V. Kholshchevnikov, D. A. Samoshin, R. N. Istratov. The study of fire safety provision for people with seeing, hearing and moving disabilities. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 3, pp. 48–56 (in Russian).
28. *Technical regulation of buildings and structures safety*. Federal Law on 30 December 2009 No. 384-FZ (ed. on 2 July 2013) (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902192610> (Accessed 5 October 2019).

Поступила 07.10.2019, после доработки 08.11.2019;
принята к публикации 29.11.2019

Received 7 October 2019; Received in revised form 8 November 2019;
Accepted 20 November 2019

Информация об авторах

СЕМИН Алексей Алексеевич, эксперт по ПБ, ГО и ЧС, ПАО Банк “ФК Открытие”, г. Москва, Российская Федерация; соискатель ученой степени канд. техн. наук, Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, г. Москва, Российская Федерация; ORCID: 0000-0001-5908-7997; e-mail: symin89@mail.ru

Information about the authors

Aleksey A. SEMIN, Expert on Fire Safety, Civil Defense and Emergency Situations, Public Joint-Stock Company Bank “Otkrytiye, Financial Corporation”, Moscow, Russian Federation; Cand. Sci. (Eng.) Seeker, State Fire Academy of Emercom of Russia, Moscow, Russian Federation; ORCID: 0000-0001-5908-7997; e-mail: symin89@mail.ru

Об особенностях применения автоматических установок сдерживания пожара

© А. И. Бондар¹, Е. А. Мешалкин², Л. Т. Танклевский³,
А. А. Таранцев^{4, 5}, С. Г. Цариченко⁶

¹ Управление оперативного реагирования и координации деятельности главных управлений МЧС России по Северо-Западному федеральному округу, Главное Управление МЧС России по Санкт-Петербургу (Россия, 190000, г. Санкт-Петербург, наб. реки Мойки, 85)

² ООО «Гефест групп» (Россия, 107113, г. Москва, ул. Маленковская, 32, стр. 3)

³ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (Россия, 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29)

⁴ Санкт-Петербургский университет государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149)

⁵ Институт проблем транспорта им. Н. С. Соломенко РАН (Россия, 199178, г. Санкт-Петербург, 12-я Линия В. О., 13)

⁶ ООО «АТЛАС» (Россия, 115191, г. Москва, ул. Новая Заря, 6)

РЕЗЮМЕ

Введение. Обеспечение необходимого уровня пожарной безопасности объектов различных классов достигается применением автоматических установок тушения пожара — дренчерных, спринклерных и др. Такие установки, подавая огнетушащие вещества (например, воду) с требуемой интенсивностью, способны локализовать и ликвидировать пожар. Однако существует значительный класс объектов, для которых требуется не потушить пожар, а сдержать его распространение до прибытия пожарных подразделений. Это обусловлено как особенностями конструктивно-функционального назначения защищаемых объектов, так и ограничениями на применение огнетушащих веществ (воды). Такие объекты оборудуются автоматическими установками сдерживания пожара.

Проблема. Если для известных автоматических установок пожаротушения установлены требования по интенсивности подачи огнетушащих веществ, по площади, защищаемой одним оросителем, и по другим параметрам, то для автоматических установок сдерживания пожара такие требования сформулированы в самом общем виде. Это затрудняет проектирование и эксплуатацию таких установок.

Пути решения данной проблемы следующие: а) установление перечня помещений и зданий, которые целесообразно оснастить автоматическими установками сдерживания пожара; б) определение рабочей интенсивности подачи огнетушащих веществ для сдерживания пожара; в) оценка необходимого времени работы автоматической установки сдерживания пожара; г) оценка запаса огнетушащих веществ. В связи с этим в статье представлены расчетные выражения и примеры количественной оценки времени активации системы, интенсивности подачи огнетушащих веществ для сдерживания пожара, запаса огнетушащих веществ. Кроме того, приведена информация по классификации автоматических установок пожаротушения и примерный перечень объектов, подлежащих защите автоматическими установками сдерживания пожара.

Выводы. На основе изложенного материала могут быть сформулированы основные требования к проектированию автоматических установок сдерживания пожара, для чего целесообразно разработать специальный нормативный документ.

Ключевые слова: скорость распространения пожара; автоматическое пожаротушение; время сдерживания пожара; огнетушащие вещества; интенсивность подачи.

Для цитирования: Бондар А. И., Мешалкин Е. А., Танклевский Л. Т., Таранцев А. А., Цариченко С. Г. Об особенностях применения автоматических установок сдерживания пожара // Пожаровзрывобезопасность/ Fire and Explosion Safety. — 2019. — Т. 28, № 6. — С. 71–79. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.06.71-79.

✉ Таранцев Александр Алексеевич, e-mail: t_54@mail.ru

About features of application of automatic fire containment installations

© Alexander I. Bondar¹, Evgeniy A. Meshalkin², Leonid T. Tanklevskiy³,
Alexander A. Tarantsev^{4, 5}, Sergey G. Tsarichenko⁶

¹ Department of Rapid Response and Coordination of Main Departments of Emercom of Russia in North-Western Federal District, Main Department of Emercom of Russia in Saint Petersburg (Reki Moyki Emb., 85, Saint Petersburg, 190000, Russian Federation)

- ² LLC "Gefest group" (Malenkovskaya St., 32, bld. 3, Moscow, 107113, Russian Federation)
- ³ Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University (Polytechnicheskaya St., 29, St. Petersburg, 195251, Russian Federation)
- ⁴ Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation)
- ⁵ Solomenko's Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Sciences (12-ya Line Vasilyevskogo Ostrova, 13, Saint Petersburg, 199178, Russian Federation)
- ⁶ LLC "ATLAS" (Novaya Zarya St., 6, Moscow, 115191, Russian Federation)

ABSTRACT

Introduction. Ensuring the necessary level of fire safety of objects of different classes is achieved by the use of automatic fire extinguishing installations — drencher, sprinkler, etc. Such installations, feeding extinguishing agents (eg, water) with the required intensity, are designed to localize and eliminate the fire. But there is a significant class of objects for which it is required not to extinguish the fire, but to contain its spread until the arrival of fire departments. This is due to both the features of the structural and functional purpose of the protected objects, and restrictions on the use of extinguishing agents (water). Such facilities are equipped with automatic fire containment installations.

Problem. If the known automatic fire extinguishing systems set out the requirements according to intensity of extinguishing substances in a protected area with one sprinkler and other parameters for silent automatic fire containment installations such requirements are formulated in General terms. This complicates the design and subsequent operation of automatic fire containment systems.

Ways to solve this problem are: a) establishment of a list of premises and buildings that are appropriate to equip automatic fire containment installations; b) determination of the working intensity of the supply of extinguishing agents to contain the fire; c) assessment of the required operating time of the automatic fire containment installation; d) assessment of the pass of extinguishing agents. In this regard, the article provides relevant theoretical expressions and examples of quantitative estimation of activation time system, a flow rate of extinguishing agents to suppress fire, stock fire-extinguishing agents. Also information on classification of automatic fire extinguishing installations and the approximate list of the objects which are subject to protection by automatic fire containment installations is given.

Conclusions. Thus, on the basis of the above material can be formulated the basic requirements for the design of automatic fire containment systems, for which it is advisable to develop a special regulatory document.

Keywords: fire propagation speed; automatic fire extinguishing; fire containment time; extinguishing agents; sprinkling intensity.

For citation: A. I. Bondar, E. A. Meshalkin, L. T. Tanklevskiy, A. A. Tarantsev, S. G. Tsarichenko. About features of application of automatic fire containment installations. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2019, vol. 28, no. 6, pp. 71–79 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2019.28.06.71-79.

✉ Alexander Alekseevich Tarantsev, e-mail: t_54@mail.ru

Общие положения

Важным элементом системы пожарной безопасности ряда объектов являются автоматические установки пожаротушения (АУП) ([1, 2], ГОСТ 12.3.046–91, ГОСТ 12.4.009–83), предназначенные для локализации или тушения и ликвидации пожара согласно ГОСТ 12.4.009–83 и срабатывающие при превышении опасными факторами пожара (ОФП) [2] пороговых значений.

Современные АУП, как отечественные, так и зарубежные [3], достаточно разнообразны и классифицируются по конструктивному исполнению (спринклерные, дренчерные, спринклерно-дренчерные); по виду огнетушащего вещества (ОТВ) (водяные, пенные, газовые, порошковые, аэрозольные и др.); по способу тушения (поверхностные, объемные, локально-объемные и локально-поверхностные); по степени инерционности; по продолжительности подачи ОТВ; по способу пуска (ручной, автоматический и др.); по исполнению (модульные, стационарные, роботизированные и др.).

Автоматические установки сдерживания пожара

Тем не менее, помимо известных АУП, в Техническом регламенте о требованиях пожарной безопасности (далее — ФЗ № 123) оговорена необходимость создания нового вида — автоматических установок сдерживания пожара (АУСП). Согласно ст. 117 ФЗ № 123 АУСП должны:

- обеспечивать снижение скорости увеличения площади пожара и образования ОФП;
- применяться в тех случаях, когда применение других АУП нецелесообразно или технически невозможно.

Как и в известных АУП, вид ОТВ, используемых в АУСП, определяется особенностями объекта защиты, видом и размещением пожарной нагрузки. Будучи новым, понятие АУСП на протяжении более 10 лет действия ФЗ № 123 практически не упоминалось в нормативных документах по пожарной безопасности.

В связи с этим цель настоящей статьи — обоснование необходимости и целесообразности примене-

ния АУСП. Задачей статьи является конкретизация требований к АУСП по перечню защищаемых объектов, по виду ОТВ и интенсивности его подачи, по времени сдерживания пожара и т. п. с учетом обеспечения надежности срабатывания и минимизации тем самым уровня риска [4–6].

Основные требования к АУСП

Исходные предпосылки, обуславливающие целесообразность оборудования АУСП в помещениях (зданиях), могут быть следующими:

а) ущерб от вторичного ОФП (т. е. излишне примененного ОТВ — пролитой воды) может превышать ущерб от первичных ОФП (пламени, теплового излучения и др.) [7];

б) запас ОТВ (воды) ограничен, например в засушливых районах или в районах с экстремально низкими температурами [8];

в) на объекте имеется пожарная часть (ПЧ) [9] или добровольная пожарная дружина (ДПД) [10], что обеспечивает начало тушения за минимальное время и до прибытия дополнительных пожарных подразделений;

г) на защищаемом объекте находятся вещества, материалы, оборудование и т. п., контакт которых с применяемым ОТВ нежелателен или опасен [11];

д) спринклерная АУП, ранее установленная на объекте на такой высоте, с которой она не способна эффективно ликвидировать пожар [12], по факту переходит в разряд АУСП;

е) АУСП должна сработать таким образом, чтобы согласно Боевому уставу*:

- площадь пожара на момент прибытия первого пожарного подразделения (при отсутствии объектовой ПЧ и ДПД) была не больше той, которую может потушить звено газодымозащитной службы (ГДЗС) [13];
- ОФП на путях эвакуации должны сдерживаться до момента окончания эвакуации (это характерно для исторических зданий с ненормативными путями эвакуации) [14–18];
- не наступил предел огнестойкости какой-либо из строительных конструкций до локализации пожара [19];

ж) АУСП на объектах класса функциональной пожарной опасности Ф 5 (ФЗ № 123) должны при необходимости образовывать завесы, предотвращающие или ограничивающие развитие и распространение ОФП из зоны горения (пламя, искры, токсичные продукты горения) в остальные части помещения, здания, сооружения.

Исходя из этих предпосылок, в соответствующий перечень могут войти:

- объекты исторического и культурного наследия, театры, музеи [7], выставочные комплексы и т. п.;
- энергетические и другие предприятия, где нужно тушить пожар класса Е без обесточивания оборудования [11];
- некоторые помещения лечебных и научных учреждений;
- помещения больших площадей при отсутствии противопожарных преград (в том числе склады с высокостеллажным хранением продукции [20–25], подземные автостоянки, цеха, животноводческие комплексы);
- объекты в районах с холодным климатом [8];
- эвакуационные пути в специализированных и типовых зданиях, сооружениях и т. п.

Кроме того, в п. А.5 Приложения А СП 5.13130 [1] указано, что “если площадь помещений, подлежащих оборудованию системами автоматического пожаротушения, составляет 40 % и более от общей площади здания, сооружения, следует предусматривать оборудование здания, сооружения в целом системами автоматического пожаротушения” (за исключением помещений с мокрыми процессами, венткамер, насосных водоснабжения, бойлерных и других помещений, в которых отсутствуют горючие материалы, а также помещений категорий В4 и Д по пожарной опасности и лестничных клеток). Остальные 60 % площадей могут быть защищены АУСП.

Оценка параметров АУСП

Что касается требования СП 5.13130 [1] о “снижении скорости увеличения площади пожара” при применении АУСП, то согласно положениям пожарной тактики [26–30] при тушении по площади пожара класса А (горение твердых горючих материалов по ФЗ № 123) снижение скорости распространения пожара V (м/с) достигается подачей ОТВ (воды) с расходом q_v (кВт/м²) и интенсивностью I (л/(м²·с)), которая может быть ниже нормативной I_n (например, для помещений группы 1 культурно-зрелищных учреждений $I_n = 0,08$ л/(м²·с) [1]). Для определения V можно воспользоваться выражением [27]:

$$V \approx V_n (1 - I/I_n), \quad (1)$$

где V_n — нормативная (табличная) скорость распространения пламени по пожарной нагрузке, м/с; согласно [26] для зданий $V_n = 0,5 \div 1,5$ м/мин $\approx 0,008 \div 0,025$ м/с.

Из выражения (1) следует, что при $I = 0$ пожар развивается свободно, т. е. $V = V_n$, а при $I \geq I_n$ пожар может быть локализован и потушен, т. е. $V \leq 0$.

Полагая, что пожар имеет круговую форму, его площадь $S_{\text{пож}}$ (м²) можно оценить из выражения

$$S_{\text{пож}} \geq \pi \{ (V_n t_a)^2 + [V(t - t_a)]^2 \}, \quad (2)$$

* Боевой устав подразделений пожарной охраны, определяющий порядок организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ (приказ МЧС России от 16.10.2017 № 444).

где t , t_a — текущее время и время активации оросителя АУСП (в течение времени t_a пожар развивается свободно), отсчитываемые от начала возгорания, с.

Порядок определения величины t_a , приведенный в работе [12], сводится к решению трансцендентного уравнения относительно X :

$$T_n = T_0 + k_T [X + \exp(-X) - 1], \quad (3)$$

где T_n — пороговая температура активации АУСП, К; T_0 — начальная температура в защищаемом помещении, К;

$X(t_a)$ — параметр, зависящий от искомой величины t_a ; $X(t_a) = 0,75k_f t_a^{4/3}$;

k_f , k_T — коэффициенты, зависящие от тепловой инерционности колбы K (с·м)^{0,5}, высоты помещения H (м), удельной тепловой мощности очага пожара q (кВт/м²), скорости V_n и расстояния между осью оросителя и осью конвективной колонки r (м):

$$k_T = KV_n \sqrt{q} \begin{cases} 28,77H^{-1,25}r^{-0,25} & \text{при } H < 5,577r; \\ 90,42H^{-23/12}r^{5/12} & \text{при } 5,577r < H \leq 6,775r; \\ 40,77H^{-1,5} & \text{при } H > 6,775r; \end{cases} \quad (4)$$

$$k_f = \frac{(qV_n^2)^{1/6}}{K} \begin{cases} 1,186H^{-1/6} & \text{при } H > 6,675r; \\ 0,534H^{0,25}r^{-5/12} & \text{при } H \leq 6,675r. \end{cases} \quad (5)$$

Решение трансцендентного уравнения (3) может быть осуществлено графически с использованием номограммы на рис. 1 или при $(T_n - T_0)/k_T > 4$ приближенно:

$$X \approx 1 + (T_n - T_0)/k_T. \quad (6)$$

Например, АУСП защищает выставочный зал высотой $H = 5$ м, $q = 213$ кВт/м² и $V_n = 0,016$ м/с, $K = 50$ (с·м)^{0,5}, оросители расположены с шагом 4 м. Тогда при $r = 2,8$ м (очаг пожара между оросителями — худший случай) коэффициенты k_T и k_f находим из выражений (4) и (5):

$$k_T = 50 \cdot 0,016 \sqrt{213} \frac{28,77}{5^{1,25} 2,8^{0,25}} \approx 9,09;$$

$$k_f = \frac{(213 \cdot 0,016^2)^{1/6}}{50} 0,534 \frac{5^{0,25}}{2,8^{5/12}} \approx 0,0064.$$

Полагая, что $T_n = 60$ °С, $T_0 = 20$ °С, $(T_n - T_0)/k_T = (60 - 20)/9,09 \approx 4,4 > 4$, из (6) находим: $X \approx 1 + 4,4 = 5,4$. Тогда

$$t_a = \left(\frac{X}{0,75k_f} \right)^{0,75} = \left(\frac{5,4}{0,75 \cdot 0,0064} \right)^{0,75} \approx 194,25 \text{ с} \approx 3,24 \text{ мин.}$$

Учитывая, что звено ГДЗС, подав пожарный ствол Б с расходом $q_B \approx 3,7$ л/с через время t_1 после начала возгорания, может потушить пожар площадью

$$S_B = q_B/I_n, \quad (7)$$

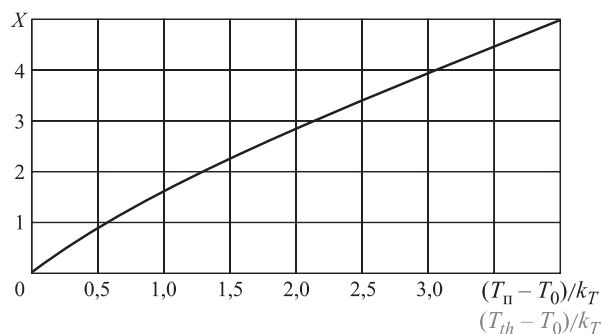


Рис. 1. Номограмма, используемая для решения уравнения (3)

Fig. 1. Nomogram for the solution of the equation (3)

из выражений (1) и (2) можно получить интенсивность подачи ОТВ I , необходимую для сдерживания пожара:

$$I = I_n \left[1 - \frac{1}{t_1 - t_a} \sqrt{\frac{S_B}{\pi V_n^2} - t_a^2} \right]. \quad (8)$$

Очевидно, время сдерживания пожара t_c (с) должно быть не менее времени подачи ствола t_1 (с) пожарным подразделением: $t_c \geq t_1$.

Требуемый запас ОТВ (воды) Q (л) для АУСП в зависимости от заданного времени t_c и расхода $q_{\text{АУСП}}$ может быть найден как произведение:

$$Q = t_c q_{\text{АУСП}}. \quad (9)$$

Выражение (9) применимо также для решения обратной задачи — определения критического времени t_c при ограниченном объеме Q и заданном расходе $q_{\text{АУСП}}$.

Время подачи первого ствола звеном ГДЗС можно определить в соответствии с требованиями ст. 76 ФЗ № 123: “Дислокация подразделений пожарной охраны на территориях поселений и городских округов определяется исходя из условия, что время прибытия первого подразделения к месту вызова в городских поселениях и городских округах не должно превышать 10 минут, а в сельских поселениях — 20 минут”. В то же время согласно базе данных ВНИИПО МЧС России средние показатели составляют соответственно менее 8 и 16 мин. Время боевого развертывания звена ГДЗС можно определить исходя из требований Боевого устава с учетом этажности здания, его степени огнестойкости и других факторов.

Таким образом, АУСП должна сдерживать пожар не менее времени t_c , после чего ответственность за локализацию и ликвидацию пожара согласно Боевому уставу ложится на прибывших должностных лиц пожарной охраны — руководителя тушения пожара, начальников боевых участков и пр.

Полагая, что звено ГДЗС прибывшего дежурного караула сможет подать первый ствол Б через время $t_1 = 12$ мин = 720 с от начала пожара в выста-

вочном зале и потушить пожар площадью $S_B = 3,7/0,08 = 46,25 \text{ м}^2$, из (8) с учетом данных предыдущего примера находим интенсивность подачи воды АУСП:

$$I = 0,08 \left[1 - \frac{1}{720 - 194,25} \sqrt{\frac{46,25}{\pi \cdot 0,016^2} - 194,25^2} \right] \approx 0,0586 \text{ л/(с·м}^2\text{)}.$$

Учитывая, что АУСП выставочного зала должна сдерживать пожар на площади $46,25 \text{ м}^2$ в течение 720 с , необходимо иметь запас воды $Q = 720 \cdot 0,0586 \cdot 46,25 = 1951,38 \text{ л}$, или не менее 2 м^3 .

Для иллюстрации на рис. 2 приведен сопоставительный график динамики изменения площади пожара и расхода ОТВ при применении АУП и АУСП. Корректность вышеприведенных оценок может быть подтверждена при имитационном моделировании [31, 32].

Кроме того, АУСП могут применяться для осаждения дыма, снижения температуры в помещениях и повышения пределов огнестойкости строительных конструкций и противопожарных преград за счет их орошения. При этом могут эффективно применяться специальные оросители [33].

Сдерживание образования (распространения) ОФП, например, применением водяных завес от АУСП может относиться к установленному ст. 37 ФЗ № 123 виду противопожарной преграды с условным пределом огнестойкости. По аналогии с признаками согласно ч. 2 ст. 35 ФЗ № 123 и временами (в минутах) достижения предельных состояний могут быть предложены следующие обозначения: С 15, С 30, С 45... Это означает, что АУСП будет сдерживать пожар 15, 30, 45... мин в зависимости от интенсивности и продолжительности подачи воды.

В соответствии с СП 5.13130 [1] для блокирования распространения ОФП (ФЗ № 123) водяными завесами требуется интенсивность подачи воды АУП, равная $1 \text{ л/(с·м}^2\text{)}$. Если же необходимо сдерживать воздействие теплового (лучистого) потока, то требуемый расход воды q_3 (л/с) может быть оценен из выражения согласно [6]:

$$q_3 = k \varepsilon_{\text{п}} \varepsilon_{\text{в}} \frac{\sigma (T_{\text{п}}^4 - T_{\text{в}}^4)}{r_{\text{п}} + C_{\text{в}} \Delta T}, \quad (10)$$

где k — коэффициент, учитывающий соотношение площадей пламени и воды, коэффициент облученности [34] и развитость поверхностей, а также случайные факторы; $k > 1$;

$\varepsilon_{\text{п}}, \varepsilon_{\text{в}}$ — степени черноты пламени и воды соответственно;

σ — постоянная Стефана–Больцмана, $\text{кВт/(м}^2 \cdot \text{К}^4\text{)}$;

$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-11} \text{ кВт/(м}^2 \cdot \text{К}^4\text{)}$;

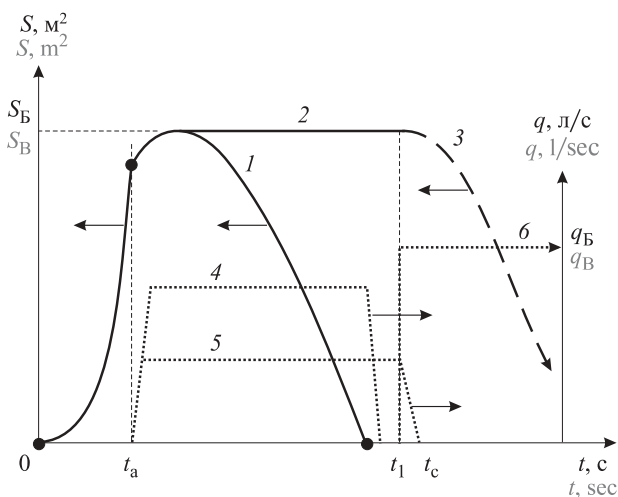


Рис. 2. Сопоставительный график изменения площади пожара (1–3) и расхода ОТВ (4–6) на тушение пожара с применением АУП (1, 4) и АУСП (2, 5), при подаче ствола (3, 6)

Fig. 2. Comparative graph of changes in the area of fire (1–3) and consumption of fire extinguishing agent (4–6) to extinguish the fire with the use of automatic fire extinguishing (1, 4) and automatic fire containment (2, 5), when feeding the fire barrel (3, 6)

$T_{\text{п}}, T_{\text{в}}$ — температуры соответственно пламени и воды, К;

$r_{\text{п}}$ — удельная теплота парообразования воды, кДж/кг ; $r_{\text{п}} \approx 2200 \text{ кДж/кг}$;

$C_{\text{в}}$ — удельная теплоемкость воды, кДж/(кг·К) ; $C_{\text{в}} \approx 4,2 \text{ кДж/(кг·К)}$;

ΔT — разность между температурой кипения воды и ее начальной температурой, К.

Предварительная оценка с учетом выражения (10) для различных вариантов завес показала, что интенсивность подачи воды для сдерживания теплового излучения при пожарах классов А и В (ФЗ № 123) может быть ниже вышеуказанной величины, время сдерживания будет обуславливаться временем подачи воды, а ее общий запас Q — определяться по выражению (9).

Выводы

Таким образом, обоснование необходимости и целесообразности применения АУСП для некоторого класса защищаемых объектов является достаточно новым направлением в области пожарной автоматики. Дальнейшее развитие этого направления целесообразно проводить в рамках НИОКР МЧС России с последующим созданием соответствующего нормативного документа — стандарта, свода правил.

Настоящая статья носит в какой-то степени дискуссионный характер и предполагает высказывание мнений и внесение предложений со стороны специалистов в области пожарной безопасности, направленных на решение проблемы формулировки требований к проектированию и эксплуатации АУСП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 5.13130.2013. Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200071148> (дата обращения: 12.10.2019).
2. СТО 420541.004 (ВНПБ 40–16). Автоматические установки пожаротушения АУП-ГЕФЕСТ. Проектирование. — М. : МЧС России, 2016. — 52 с.
3. NFPA 13. Standard for the installation of sprinkler systems. — Quincy, Massachusetts : NFPA, 2019. — 496 p.
4. Крымский В. В., Панков А. Е. Система риск-контроллинга промышленного предприятия // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. — 2014. — № 2(192). — С. 114–122.
5. Мешман Л. М., Губин Р. Ю., Дидяев А. Г., Танклевский Л. Т., Танклевский А. Л. Методы испытаний на работоспособность водяных и пенных АУП // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2016. — Т. 25, № 2. — С. 28–50. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.02.28-50.
6. Senkiv S. V., Savoshinsky O. P., Arakcheev A. V., Tanklevsky L. T. Development of methods for instrumental diagnostics of control devices for fire alarm systems // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — 2019. — No. 272, Article Number 032013. — 6 p. DOI: 10.1088/1755-1315/272/3/032013.
7. Присадков В. И., Еремина Т. Ю., Богданов А. В., Сушкова О. В., Тихонова Н. В. Требуемый уровень пожарной безопасности музеев — объектов культурного наследия // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 4. — С. 42–49. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.04.42-49.
8. Алешков М. В., Безбородько М. Д., Ольховский И. А., Двоенко О. В. История развития технических средств борьбы с пожарами, приспособленных для работы в условиях низких температур // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2016. — Т. 25, № 11. — С. 77–83. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.11.77-83.
9. СП 11.13130.2009. Места дислокации подразделений пожарной охраны. Порядок и методика определения (с изм. № 1). URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200071155> (дата обращения: 12.10.2019).
10. О добровольной пожарной охране : Федер. закон от 06.05.2011 № 100-ФЗ. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_113763/ (дата обращения: 10.10.2019).
11. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). — Изд. 7-е. — М. : Изд-во НИЦ ЭНАС, 2002.
12. Таранцев А. А., Танклевский Л. Т., Снегирев А. Ю., Цой А. С., Копылов С. Н., Мешман Л. М. Оценка эффективности спринклерной установки пожаротушения // Пожарная безопасность. — 2015. — № 1. — С. 72–79.
13. Об утверждении Правил проведения личным составом федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы аварийно-спасательных работ при тушении пожаров с использованием средств индивидуальной защиты органов дыхания и зрения в непригодной для дыхания среде : приказ МЧС РФ от 09.01.2013 № 3. URL: <http://base.garant.ru/70340860/> (дата обращения: 10.10.2019).
14. Семин А. А., Фомин А. М., Холицевников В. В. Проблема организации безопасной эвакуации пациентов лечебных учреждений при пожаре // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 7-8. — С. 74–88. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.07-08.74-88.
15. Слюсарев С. В., Самошин Д. А. Параметры движения маломобильных детей для определения расчетного времени эвакуации из зданий с их массовым пребыванием // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2016. — Т. 25, № 4. — С. 43–55. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.04.43-55.
16. 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.
17. Холицевников 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.
18. Еремина Т. Ю., Юг А. Некоторые аспекты основ подготовки методических рекомендаций по организации учебной эвакуации детей различного возраста // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 4. — С. 6–12. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.04.6-12.
19. Ройтман В. М. Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий. — М. : Пожнаука, 2001. — 382 с.
20. Markus E., Snegirev A., Kuznetsov E., Tanklevskiy L. Application of a simplified pyrolysis model to predict fire development in rack storage facilities // Journal of Physics: Conference Series. — 2018. — Vol. 1107. — Article Number 042012. DOI: 10.1088/1742-6596/1107/4/042012.

21. Markus E., Snegirev A., Kuznetsov E., Tanklevskiy L. Fire growth in a high-rack storage // Proceedings of the Ninth International Seminar on Fire and Explosion Hazards (Saint Petersburg, Russia, 21–26 April, 2019). — Saint Petersburg : SPbPU Publ., 2019. — Vol. 2. — P. 796–807. DOI: 10.18720/SPbPU/2/k19-70.
22. Meredith K. V., Chatterjee P., Wang Y., Xin Y. Simulating sprinkler based rack storage fire suppression under uniform water application // Proceedings of the Seventh International Seminar Fire and Explosion Hazards (Providence, RI, USA, 5–10 May 2013). Research Publ., 2013, pp. 511–520. DOI: 10.3850/978-981-07-5936-0_07-08.
23. Wang Y., Meredith K. V., Zhou X., Chatterjee P., Xin Y., Chaos M., Ren N., Dorofeev S. B. Numerical simulation of sprinkler suppression of rack storage fires // Fire Safety Science. — 2014. — Vol. 11. — P. 1170–1183. DOI: 10.3801/iafss.fss.11-1170.
24. Ren N., de Vries J., Zhou X., Chaos M., Meredith K. V., Wang Y. Large-scale fire suppression modeling of corrugated cardboard boxes on wood pallets in rack-storage configurations // Fire Safety Journal. — 2017. — Vol. 91. — P. 695–704. DOI: 10.1016/j.firesaf.2017.04.008.
25. Guedri K., Borjini M. N., Jeguirim M., Brilhac J.-F., Saïd R. Numerical study of radiative heat transfer effects on a complex configuration of rack storage fire // Energy. — 2011. — Vol. 36, Issue 5. — P. 2984–2996. DOI: 10.1016/j.energy.2011.02.042.
26. Теребнев В. В. Справочник руководителя тушения пожара. — М. : ПожКнига, 2004. — 248 с.
27. Ищенко А. Д., Клюй В. В., Польшко С. В., Таранцев А. А. О построении уточненного совмещенного графика для расчета сил и средств для тушения пожара // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 2-3. — С. 82–92. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.02-03.82-92.
28. Wex F., Schryen G., Feuerriegel S., Neumann D. Emergency response in natural disaster management: Allocation and scheduling of rescue units // European Journal of Operational Research. — 2014. — Vol. 235, No. 3. — P. 697–708. DOI: 10.1016/j.ejor.2013.10.029.
29. Thompson M. P., Rodriguez y Silva F., Calkin D. E., Hand M. S. A review of challenges to determining and demonstrating efficiency of large fire management // International Journal of Wildland Fire. — 2017. — Vol. 26, No. 7. — P. 562–573. DOI: 10.1071/WF16137.
30. O'Connor C. D., Calkin D. E., Thompson M. P. An empirical machine learning method for predicting potential fire control locations for pre-fire planning and operational fire management // International Journal of Wildland Fire. — 2017. — Vol. 26, No. 7. — P. 587–597. DOI: 10.1071/wf16135.
31. McGrattan K., Hostikka S., McDermott R., Floyd J., Vanella M. Fire Dynamics Simulator. Technical Reference Guide / NIST Special Publication 1018-6. — Gaithersburg, Maryland : National Institute of Standards and Technology, 2018.
32. Fire Dynamics Simulator (FDS) and Smokeview (SMV). URL: <https://pages.nist.gov/fds-smv> (дата обращения: 05.10.2019).
33. Borodinecs A., Sergeev V., Vatin N. Low pressure water-mist nozzle with a swirl worm screw inserts // MATEC Web of Conferences. — 2018. — Vol. 245, Article Number 11001. — 6 p. DOI: 10.1051/mateconf/201824511001.
34. Тепло- и массообмен. Теплотехнический эксперимент : справочник / Под общ. ред. В. А. Григорьева, В. М. Зорина. — М. : Энергоиздат, 1982. — 512 с.

REFERENCES

1. Set of rules 5.13130.2013. *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 12 October 2019).
2. Standard of the organization 420541.004. *Automatic fire-extinguishing systems AUP-Gefest. Design*. Moscow, Emercom of Russia Publ., 2016. 52 p. (in Russian).
3. NFPA 13. *Standard for the installation of sprinkler systems*. Quincy, Massachusetts, NFPA, 2019. 496 p.
4. V. V. Krimskiy, A. E. Pankov. System of risk controlling industrial enterprises. *Nauchno-tehnicheskie vedomosti SPbGPU. Ekonomicheskie nauki / St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics*, 2014, no. 2(192), pp. 114–122 (in Russian).
5. L. M. Meshman, R. Yu. Gubin, A. G. Didyaev, L. T. Tanklevskiy, A. L. Tanklevskiy. Test methods on the operability of water and foam automatic fire extinguishing systems. *Pozharovzryvobezопасnost/Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 1, pp. 28–50 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2016.25.02.28-50.
6. S. V. Senkiv, O. P. Savoshinsky, A. V. Arakcheev, L. T. Tanklevsky. Development of methods for instrumental diagnostics of control devices for fire alarm systems. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, no. 272, article number 032013. 6 p. DOI: 10.1088/1755-1315/272/3/032013032013.

7. V. I. Prisadkov, T. Yu. Eremina, A. V. Bogdanov, O. V. Sushkova, N. V. Tikhonova. Required fire safety level for museums — cultural heritage objects. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 4, pp. 42–49 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.04.42-49.
8. M. V. Aleshkov, M. D. Bezborodko, I. A. Olkhovskiy, O. V. Dvoenko. History of the development of technical means to fight fire, adapted for work at low temperatures. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 11, pp. 77–83 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2016.25.11.77-83.
9. Set of rules 11.13130.2009. *Location of fire service divisions. Procedure and methods of determination (with changes no. 1)* (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200071155> (Accessed 12 October 2019).
10. *About voluntary fire protection*. Federal Law of the Russian Federation on 6 May 2011 No. 100-FZ (in Russian). Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_113763/ (Accessed 10 October 2019).
11. *Rules of the device of electroinstallations (RDE)*. 7th ed. Moscow, NTs ENAS Publ., 2002 (in Russian).
12. A. A. Tarantsev, L. T. Tanklevskiy, A. Yu. Snegirev, A. S. Tsoy, S. N. Kopylov, L. M. Meshman. Assessment of the sprinkler installation efficiency. *Pozharnaya bezopasnost/Fire Safety*, 2015, no. 1, pp. 72–79 (in Russian).
13. About the approval of Rules of carrying out by staff of Federal fire service of the State fire service of emergency and rescue works at suppression of fires with use of means of individual protection of respiratory organs and sight in the environment unsuitable for breath. Order of Emercom of Russia on 9 January 2013 No. 3 (in Russian). Available at: <http://base.garant.ru/70340860/> (Accessed 10 October 2019).
14. A. A. Semin, A. M. Fomin, V. V. Kholshchevnikov. Problem of organization of safe evacuation of healthcare institution patients in case of fire. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 7-8, pp. 74–88 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.07-08.74-88.
15. S. V. Slyusarev, D. A. Samoshin. Parameters of the movement children with limited mobility for definition of an evacuation time estimate from buildings with their mass stay. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 4, pp. 43–55 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2016.25.04.43-55.
16. D. A. Samoshin, V. V. Kholshchevnikov. Problems of regulation of time to start evacuation. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 5, pp. 37–51 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2016.25.05.37-51.
17. V. V. Kholshchevnikov, B. B. Serkov. 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.
18. T. Yu. Eremina, A. Jug. Some aspects of evaluation guidelines on evacuation training for variously-aged children. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 4, pp. 6–12 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.04.6-12.
19. V. M. Roytman. *Inzhenernyye resheniya po otsenke ognestoykosti proektiruemykh i rekonstruiruemykh zdaniy* [Engineering solutions for evaluation of fire resistance of designed and reconstructed buildings] Moscow, Pozhnauka Publ., 2001. 382 p. (in Russian).
20. E. Markus, A. Snegirev, E. Kuznetsov, L. Tanklevskiy. Application of a simplified pyrolysis model to predict fire development in rack storage facilities. *Journal of Physics: Conference Series*, 2018, vol. 1107, article number 042012. 6 p. DOI: 10.1088/1742-6596/1107/4/04201.
21. E. Markus, A. Snegirev, E. Kuznetsov, L. Tanklevskiy. Fire growth in a high-rack storage. In: *Proceedings of the Ninth International Seminar on Fire and Explosion Hazards (St. Petersburg, Russia, 21–26 April 2019)*. Saint Petersburg, SPbPU Publ., 2019, vol. 2, pp. 796–807. DOI: 10.18720/SPBPU/2/k19-70.
22. K. V. Meredith, P. Chatterjee, Y. Wang, Y. Xin. Simulating sprinkler based rack storage fire suppression under uniform water application. In: *Proceedings of the Seventh International Seminar Fire and Explosion Hazards (Providence, RI, USA, 5–10 May 2013)*. Research Publ., 2013, pp. 511–520. DOI: 10.3850/978-981-07-5936-0_07-08.
23. Y. Wang, K. V. Meredith, X. Zhou, P. Chatterjee, Y. Xin, M. Chaos, N. Ren, S. B. Dorofeev. Numerical simulation of sprinkler suppression of rack storage fires. *Fire Safety Science*, 2014, vol. 11, pp. 1170–1183. DOI: 10.3801/iafss.fss.11-1170.
24. N. Ren, J. de Vries, X. Zhou, M. Chaos, K. V. Meredith, Y. Wang. Large-scale fire suppression modeling of corrugated cardboard boxes on wood pallets in rack-storage configurations. *Fire Safety Journal*, 2017, vol. 91, pp. 695–704. DOI: 10.1016/j.firesaf.2017.04.008.
25. K. Guedri, M. N. Borjini, M. Jeguirim, J.-F. Brilhac, R. Saïd. Numerical study of radiative heat transfer effects on a complex configuration of rack storage fire. *Energy*, 2011, vol. 36, issue 5, pp. 2984–2996. DOI: 10.1016/j.energy.2011.02.042.

26. V. V. Terebnev. *Spravochnik rukovoditelya tusheniya pozhara* [Directory of fire extinguishing manager]. Moscow, PozhKniga Publ., 2004. 248 p. (in Russian).
27. A. D. Ishchenko, V. V. Klyuy, S. V. Polynko, A. A. Tarantsev. About building a revised combined graphics the calculation of forces and means to extinguish the fire. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 2-3, pp. 82–92 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.02-03.82-92.
28. F. Wex, G. Schryen, S. Feuerriegel, D. Neumann. Emergency response in natural disaster management: Allocation and scheduling of rescue units. *European Journal of Operational Research*, 2014, vol. 235, no. 3, pp. 697–708. DOI: 10.1016/j.ejor.2013.10.029.
29. M. P. Thompson, F. Rodríguez y Silva, D. E. Calkin, M. S. Hand. A review of challenges to determining and demonstrating efficiency of large fire management. *International Journal of Wildland Fire*, 2017, vol. 26, no. 7, pp. 562–573. DOI: 10.1071/WF16137.
30. C. D. O'Connor, D. E. Calkin, M. P. Thompson. An empirical machine learning method for predicting potential fire control locations for pre-fire planning and operational fire management. *International Journal of Wildland Fire*, 2017, vol. 26, no. 7, pp. 587–597. DOI: 10.1071/wf16135.
31. K. McGrattan, S. Hostikka, R. McDermott, J. Floyd, M. Vanella. *Fire Dynamics Simulator. Technical Reference Guide. NIST Special Publication 1018–6*. Gaithersburg, Maryland, National Institute of Standards and Technology, 2018.
32. *Fire Dynamics Simulator (FDS) and Smokeview (SMV)*. Available at: <https://pages.nist.gov/fds-smv> (Accessed 5 October 2019).
33. A. Borodinecs, V. Sergeev, N. Vatin. Low pressure water-mist nozzle with a swirl worm screw inserts. *MATEC Web of Conferences*, 2018, vol. 245, article number 11001. 6 p. DOI: 10.1051/mateconf/201824511001.
34. V. A. Grigoryev, B. M. Zorin (ed.). *Teplo- i massoobmen. Teplotekhnicheskiy eksperiment. Spravochnik* [Heat and mass transfer. Thermal experiment. Handbook]. Moscow, Energoizdat, 1982. 512 p. (in Russian).

Поступила 29.10.2019, после доработки 18.11.2019;
принята к публикации 26.11.2019

Received 29 October 2019; Received in revised form 18 November 2019;
Accepted 26 November 2019

Информация об авторах

БОНДАР Александр Иванович, канд. техн. наук, начальник управления оперативного реагирования и координации деятельности главных управлений МЧС России по Северо-Западному федеральному округу, Главное Управление МЧС России по Санкт-Петербургу, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; ORCID: 0000-0002-9210-3036; e-mail: bai01@mail.ru

МЕШАЛКИН Евгений Александрович, д-р техн. наук, профессор, генеральный директор ООО “Гефест групп”, г. Москва, Российская Федерация; ORCID: 0000-0003-4237-0598; e-mail: 1027@npopuls.ru

ТАНКЛЕВСКИЙ Леонид Тимофеевич, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой Высшей школы технологической безопасности, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; ORCID: 0000-0002-2769-0086; e-mail: tanklevskiy@gefest-spb.ru

ТАРАНЦЕВ Александр Алексеевич, д-р техн. наук, профессор, профессор Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России; заведующий лабораторией Института проблем транспорта им. Н. С. Соломенко РАН, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; ORCID: 0000-0003-1561-2483; e-mail: t_54@mail.ru

ЦАРИЧЕНКО Сергей Георгиевич, д-р техн. наук, заместитель генерального директора ООО “АТЛАС”, г. Москва, Российская Федерация; ORCID: 0000-0002-9807-6841; e-mail: tsarichenko_s@mail.ru

Information about the authors

Alexander I. BONDAR, Cand. Sci. (Eng.), Head of Department of Rapid Response and Coordination of Main Departments of Emercom of Russia in North-Western Federal District, Main Department of Emercom of Russia in Saint Petersburg, Saint Petersburg, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-9210-3036; e-mail: bai01@mail.ru

Evgeniy A. MESHALKIN, Dr. Sci. (Eng.), Professor, General Director of LLC “Gefest group”, Moscow, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-4237-0598; e-mail: 1027@npopuls.ru

Leonid T. TANKLEVSKIY, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of Department of Higher School of Technosphere Safety, Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-2769-0086; e-mail: tanklevskiy@gefest-spb.ru

Alexander A. TARANTSEV, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Professor of Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia; Head of Laboratory of Solomenko’s Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-1561-2483; e-mail: t_54@mail.ru

Sergey G. TSARICHENKO, Dr. Sci. (Eng.), Deputy General Director of Open Liability Company “ATLAS”, Moscow, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-9807-6841; e-mail: tsarichenko_s@mail.ru

Распределение фракций огнетушащего порошка в моделируемом нестационарном газовом потоке

© А. С. Поляков, Д. Ф. Кожевин, А. С. Константинова ✉

Санкт-Петербургский университет государственной противопожарной службы МЧС России
(Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149)

РЕЗЮМЕ

Введение. В статье приведены закономерности распределения частиц фракций огнетушащего порошка в поперечных сечениях моделируемого нерегулируемого нестационарного газового потока. Определено расстояние от среза огнетушителя до места, где поток наиболее стабилен по содержанию в нем частиц огнетушащего порошка. Ранее в работах уже исследовались физико-химические свойства огнетушащих порошков, было смоделировано движение частиц порошка в потоке и определено влияние фракционного состава порошка на его огнетушащую способность, но распределение фракций порошка при его движении в газопорошковом потоке не рассматривалось. Целью настоящей работы является поиск способов повышения эффективности порошковых огнетушителей путем регулирования распределения фракций порошка в нестационарном газовом потоке.

Материалы и методы. Установка для экспериментального исследования состоит из координатного стола, плоскостью ориентированного перпендикулярно к направлению движения газопорошкового потока. Стол оснащен сборниками, которые позволяют улавливать пробы порошка в контрольных точках поперечного сечения потока. В качестве модели огнетушащего порошка в эксперименте использовали соль поваренную пищевую, характеристики которой соответствуют ГОСТ Р 53280.4–2009. Координатный стол устанавливали последовательно на расстоянии 500, 750, 1000 и 1250 мм от среза огнетушителя. Затем навеску соли с известным фракционным составом подавали моделью огнетушителя на координатный стол и отбирали задержанные пробы порошка. После этого определяли массу и фракционный состав проб, уловленных каждым сборником. По их содержанию судили о стабильности распределения частиц в газовом потоке с помощью статистического анализа (по критерию Фишера).

Выводы. Установлены и аналитически описаны закономерности распределения частиц различных фракций огнетушащего порошка в поперечном сечении нерегулируемого нестационарного газового потока, которые могут быть использованы при поиске способов регулирования фракций огнетушащего порошка в процессе тушения очага пожара. Наиболее представительны и стабильны по точности (правильности и прецизионности) результаты содержания фракций порошка в сечении нестационарного газового потока на расстоянии 1000 мм от среза огнетушителя, что необходимо учитывать при проведении дальнейших исследований.

Ключевые слова: порошковое пожаротушение; порошковый огнетушитель; модель огнетушителя; фракционный состав; моделирование газопорошкового потока.

Для цитирования: Поляков А. С., Кожевин Д. Ф., Константинова А. С. Распределение фракций огнетушащего порошка в моделируемом нестационарном газовом потоке // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2019. — Т. 28, № 6. — С. 80–88. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.06.80-88.

✉ Константинова Алина Станиславовна, e-mail: as_konstantinova@mail.ru

Distribution of fire extinguishing powder fractions in simulated non-stationary gas stream

© Aleksandr S. Polyakov, Dmitry F. Kozhevin, Alina S. Konstantinova ✉

Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia
(Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation)

ABSTRACT

Introduction. The article presents the regularities of particles distribution of fire extinguishing powder fractions in the cross sections of the simulated unregulated non-stationary gas stream. The distance from the fire extinguisher cut which the stream is most stable in terms of the content of fire extinguishing powder particles is determined. There are works in which the physical and chemical properties of fire-extinguishing powders are considered, the movement of powder particles in the stream is modeled, the influence of the fractional composition of the powder on its fire-extinguishing capacity is determined. At the same time distribution of powder fractions during its movement in gas-powder stream is not considered. The purpose of the present work is to find ways to improve the efficiency of powder extinguishers by controlling the distribution of powder fractions in a non-stationary gas stream.

Materials and methods. Experimental study installation consists of coordinate table oriented perpendicular to gas-powder stream direction. The table is equipped with collectors that allow to collect powder samples at control

points of flow cross-section. Food sodium chloride (further — salt) was used in the experiment. Its characteristics correspond to GOST R 53280.4–2009 and allow to apply it as a model. The coordinate table was installed sequentially at a distance of 500, 750, 1000 and 1250 mm from the fire extinguisher cut. Next, a shot of salt with a known fractional composition was supplied with a fire extinguisher model to a coordinate table and the retained powder samples were taken. The mass and fractional composition of the samples collected by each collector were then determined. Stability of the particle distribution in the gas stream by statistical analysis (by Fischer's criterion) was measured for their content.

Conclusions. Regularities of different fire extinguishing powder fractions distribution in cross section of non-regulated non-stationary gas stream are established and analytically described. These regularities can be used in finding ways to regulate fire extinguishing powder fractions during fire extinguishing. The most representative and stable in accuracy (correctness and precision) results of powder fractions content in the section of non-stationary gas stream at a distance of 1000 mm from the fire extinguisher cut. This should be taken into account in further research.

Keywords: dry-chemical fire extinguishing; powder fire extinguisher; fire extinguisher model; fractional composition; gas powder stream modelling.

For citation: A. S. Polyakov, D. F. Kozhevnikov, A. S. Konstantinova. Distribution of fire extinguishing powder fractions in simulated non-stationary gas stream. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2019, vol. 28, no. 6, pp. 80–88 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2019.28.06.80-88.

✉ Alina Stanislavovna Konstantinova, e-mail: as.konstantinova@mail.ru

Введение

Известно, что огнетушащая способность порошка зависит от его физико-химических свойств [1–3], в частности от фракционного состава. Эта способность возрастает с увеличением удельной площади поверхности огнетушащего порошка.

Эффект поглощения тепла частицами порошка при тушении очага пожара подробно исследован в [4–7]. Экспериментально установлено, что существуют затруднения в доставке мелких фракций к очагу пожара. Крупные же фракции обеспечивают большую длину струи порошка, но обладают сравнительно низкой огнетушащей способностью [8–11]. Установлено также, что для тушения пожара наиболее оптимальными являются фракции среднего размера.

Авторами [12] определены гранулометрические характеристики представленных на рынке огнетушащих порошков. Проведено математическое моделирование движения частиц в газопорошковом потоке [13] и в псевдоожиженном слое [14]. В этих работах учтены соударения частиц и взаимодействие их с газовым потоком без разделения на фракции.

В [3, 15, 16] исследована динамика движения частиц огнетушащего порошка к очагу пожара при подаче с помощью модульных установок порошкового пожаротушения. При таком способе подачи поток порошка направлен в сторону, противоположную движению конвективных газовых потоков от очага пожара. Установлен минимальный критический диаметр частицы, при котором она не будет отброшена восходящими конвективными потоками.

Авторами [17] исследовано распределение фракций порошка в нестационарном газовом потоке. Навеску огнетушащего порошка с помощью ручного огнетушителя подавали на предварительно разложенные подложки известной массы и размера. После полного осаждения частиц каждую подложку взвешивали и строили граничные линии распределения

фракций порошка в нестационарном газовом потоке. Отметим сразу, что предложенный в [17] способ справедлив только для суммарной массы фракций, осевших в поперечном сечении потока, и не дает возможности определить распределение частиц в каждой его точке.

В настоящей работе исследовано распределение различных фракций порошка в поперечном сечении нестационарного газового потока в целях поиска способов повышения эффективности применения порошковых огнетушителей.

Материалы и методы

Методика проведения экспериментов описана нами в [18]. Распределение массы частиц огнетушащего порошка в поперечном сечении нестационарного газового потока смоделировано с помощью установки, схематично представленной на рис. 1.

Установка состоит из координатного стола 1, оснащенного сборниками порошка 2, размещенными в сквозных отверстиях стола. Материал тыльных торцевых поверхностей сборников обеспечивает беспрепятственное прохождение газового потока и задерживает частицы порошка. Входы 3 сборников порошка на координатном столе выступают в качестве контрольных точек при определении массы частиц различных фракций огнетушащего порошка.

В качестве модели огнетушащего порошка при проведении эксперимента использована соль пищевая поваренная по ТУ 9192-001-90844204-2011 (далее — соль). Фракционный состав соли определен нами ситовым анализом (табл. 1) методом ручного просева [19].

Проанализированы характеристики огнетушащих порошков, требования к которым представлены в ГОСТ Р 53280.4–2009 “Установки пожаротушения автоматические. Огнетушащие вещества. Часть 4. Порошки огнетушащие общего назначения. Общие тех-

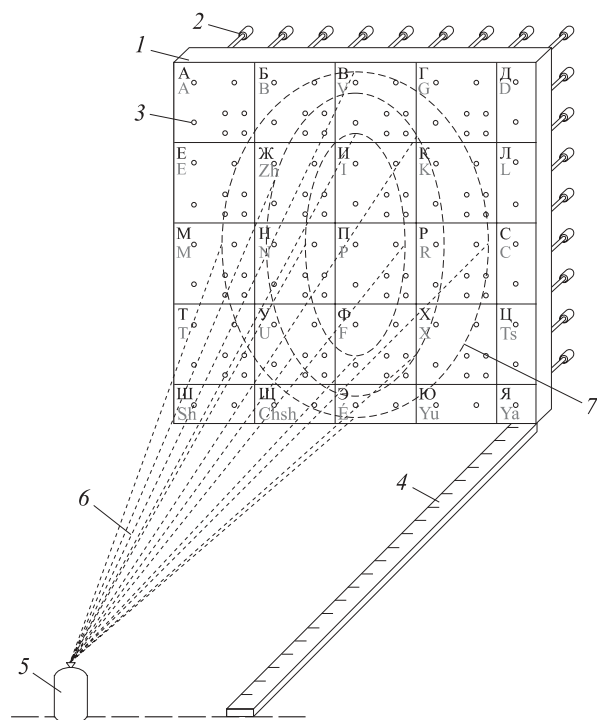


Рис. 1. Схема установки, моделирующей распределение огнетушащего порошка в нестационарном газовом потоке: 1 — координатный стол; 2 — сборники порошка; 3 — входы сборников порошка; 4 — измерительная линейка; 5 — модель огнетушителя; 6 — поток частиц порошка; 7 — граничные линии распределения различных фракций порошка

Fig. 1. Scheme of the installation simulating the fire extinguishing powder distribution in the non-stationary gas stream: 1 — coordinate table; 2 — powder collectors; 3 — inlets of powder collectors; 4 — measuring line; 5 — fire extinguisher model; 6 — stream of powder particles; 7 — boundary distribution lines of various powder fractions

нические требования и методы испытаний”. На движение порошка в нестационарном газовом потоке оказывают влияние характеристики, отражающие соотношение массы и характерной площади частицы:

1) кажущаяся плотность (для неуплотненных и уплотненных порошков);

2) фракционный состав (остаток порошка на сите с сеткой №05K по ГОСТ 6613–86 “Сетки проволочные тканые с квадратными ячейками. Технические условия” и на сите 1000 мкм при ситовом анализе).

В табл. 2 приведены требования ГОСТ Р 53280.4–2009 к характеристикам соли.

Данные табл. 2 допускают возможность использования соли поваренной пищевой в качестве модели огнетушащего порошка.

Координатный стол с закрепленными сборниками порошка устанавливали на разных расстояниях от модели огнетушителя. Схема расположения исследуемых сечений А–Г представлена на рис. 2. Наибольшим принято расстояние, при котором размеры проекции поперечного сечения потока соли не превышают размеров координатного стола.

Таблица 1. Фракционный состав соли

Table 1. Fractional composition of salt

Интервал размеров частиц фракции, мкм Particle size range of fraction, μm	450...629	200...449	40...199
Содержание фракции, % масс. Content of fraction, % mass	39,7	55,0	5,3

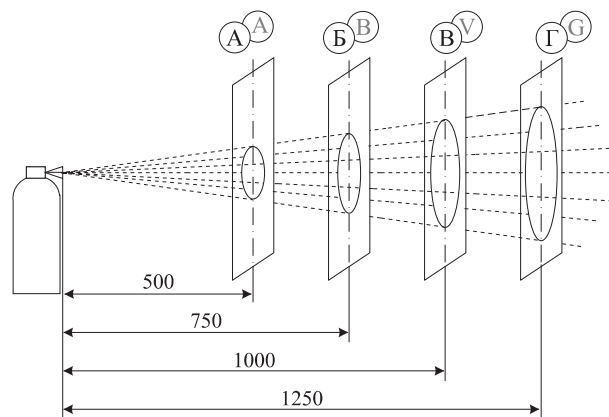


Рис. 2. Схема взаимного расположения модели огнетушителя и исследуемых сечений нестационарного газового потока

Fig. 2. Scheme of mutual arrangement of fire extinguisher model and tested sections of non-stationary gas stream

Установлена минимальная масса навески соли, которая позволяет определить массу частиц соли, задержанных отдельными сборниками порошка, с учетом технических характеристик весов. Она составляет 150 г. Подачу навески порошка к координатному столу осуществляли воздухом под давлением 0,7 МПа. Затем от координатного стола поочередно отсоединяли сборники и проводили взвешивание и ситовой анализ уловленной каждым из них пробы. При взвешивании использовали электронные лабораторные весы марки “Петвес Е-2000” (верхний предел взвешивания — 2000 г, класс точности — II). Для каждого из исследуемых сечений потока описанный эксперимент повторяли по 4 раза (в соответствии с ГОСТ Р 8.736–2011), значение доверительной вероятности принимали равным 0,95.

Определена совокупная масса соли, уловленной сборниками координатного стола, который располагали последовательно на расстояниях 500, 750, 1000 и 1250 мм от модели огнетушителя, и процентный состав различных фракций в сборниках (табл. 3).

Результаты и их обсуждение

Проверка приемлемости результатов измерений в поперечных сечениях нестационарного газового потока (табл. 4) проведена по условиям повторяе-

Таблица 2. Соответствие характеристик соли, определяющих движение в нестационарном газовом потоке
Table 2. Correspondence of salt characteristics determining movement in a non-stationary gas stream

Характеристика огнетушащего порошка Fire extinguishing powder characteristic	Значение характеристики / Characteristic value		Заключение о соответствии требованиям Conclusion of compliance with requirements
	по ГОСТ Р 53280.4–2009 GOST R 53280.4–2009	фактическое actual	
Кажущаяся плотность порошка, кг/м ³ Apparent density of powder, kg/m ³ :			
– неуплотненного / non-compacted	≥700	1300	Соответствует / Conforms
– уплотненного / compacted	≥1000	≥1300	Соответствует / Conforms
Остаток порошка на сите 1000 мкм при ситовом анализе. % масс. Powder residue on sieve 1000 μm in sieve analysis, % mass	Отсутствие Absence	Отсутствие Absence	Соответствует Conforms

Таблица 3. Фракционный состав соли, уловленной сборниками координатного стола
Table 3. Fractional composition of salt caught by coordinate table collectors

Сечение (расстояние от модели огнетушителя, мм) Cross-section (distance from fire extinguisher model, mm)	Номер эксперимента No. of experiment	Общая масса соли, уловленной сборниками, г Total mass of salt caught by collectors, g	Масса m частиц диаметром d , мкм, в сечении Mass m of particles of diameter d , μm, in section					
			450...629		200...449		40...199	
			г g	% масс. % mass	г g	% масс. % mass	г g	% масс. % mass
A (500) A (500)	1	12,11	4,47	36,9	7,04	58,1	0,60	5,0
	2	12,74	4,17	32,7	7,90	62,0	0,67	5,3
	3	19,65	6,24	31,8	11,90	60,6	1,51	7,7
	4	13,19	2,44	18,5	9,85	74,7	0,90	6,8
Среднее значение содержания фракции, % масс. Average fraction content, % mass				30,0		63,8		6,2
Б (750) B (750)	1	11,57	5,04	43,6	6,33	54,7	0,20	1,7
	2	17,08	7,55	44,2	8,96	52,5	0,57	3,3
	3	18,35	8,09	44,1	9,81	53,5	0,45	2,5
	4	17,83	6,55	36,7	10,47	58,7	0,81	4,5
Среднее значение содержания фракции, % масс. Average fraction content, % mass				42,1		54,8		3,0
В (1000) V (1000)	1	13,01	5,03	38,7	7,51	57,7	0,47	3,6
	2	17,84	7,17	40,2	9,69	54,3	0,98	5,5
	3	21,66	8,19	37,8	12,36	57,1	1,11	5,1
	4	22,13	8,55	38,6	12,78	57,7	0,80	3,6
Среднее значение содержания фракции, % масс. Average fraction content, % mass				38,8		56,7		4,5
Г (1250) G (1250)	1	14,55	4,93	33,9	8,81	60,5	0,81	5,6
	2	16,79	7,20	42,9	8,78	52,3	0,81	4,8
	3	18,08	6,40	35,4	10,77	59,6	0,91	5,0
	4	16,60	7,40	44,6	8,93	53,8	0,27	1,6
Среднее значение содержания фракции, % масс. Average fraction content, % mass				39,2		56,6		4,3

мости по ГОСТ Р ИСО 5725-1–2002 “Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 1. Основные положения и определения” и ГОСТ Р ИСО 5725-6–2002 “Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов

измерений. Часть 6. Использование значений точности на практике”.

В табл. 5 и 6 приведены результаты оценки статистической значимости полученных данных по критерию Фишера. Результат считали статистиче-

ски значимым при выполнении условия $F_T < F_p$, где F_T — критическое значение критерия Фишера, $F_T = 8,53$ для $n = 4$; F_p — расчетное значение критерия Фишера, определяемое по формуле

$$F_p = S_6^2 / S_m^2, \quad (1)$$

где S_6^2 и S_m^2 — соответственно большее и меньшее значения дисперсий [20].

Изменения процентного содержания фракций в поперечном сечении потока в зависимости от расстояния между срезом огнетушителя и исследуемым сечением приведены на рис. 3.

Таблица 4. Проверка приемлемости измерений по условиям повторяемости

Table 4. Check of measurement suitability by repeatability conditions

Интервал диаметров частиц фракции, мкм Particle diameter range of fraction, μm	Расстояние от среза огнетушителя, мм Distance from fire extinguisher cut, mm	Массовое содержание фракции x_i , % масс. Weight content of fraction x_i , % mass				Диапазон (размах) измерений $x_{\max} - x_{\min}$ Measuring range (span) $x_{\max} - x_{\min}$	Критическое значение диапазона при $n = 4$ и доверительной вероятности 0,95 Critical value of range at $n = 4$ and confidence probability 0.95
450...629	500	36,9	32,7	31,8	18,5	18,4	28,7
	750	43,6	44,1	44,2	36,7	7,5	13,1
	1000	38,7	37,8	40,2	38,6	2,4	3,6
	1250	33,9	35,4	42,9	44,6	10,7	19,2
200...449	500	58,1	60,6	62,0	74,7	16,6	26,7
	750	54,7	53,5	52,5	58,7	6,2	9,8
	1000	57,7	57,1	54,3	57,7	3,4	5,8
	1250	60,5	59,6	52,3	53,8	8,2	14,8
40...199	500	5,0	7,7	5,3	6,8	2,7	4,6
	750	1,7	2,5	3,3	4,5	2,8	4,3
	1000	3,6	5,1	5,5	3,6	1,9	3,6
	1250	5,6	5,0	4,8	1,6	4,0	6,5

Таблица 5. Оценка статистической значимости результатов для сечения А

Table 5. Evaluation of statistical significance of results for section A

Размер фракции, мкм Size of fraction, μm	Расстояние от модели огнетушителя до сечения А ($L_A = 50$ см) Distance from fire extinguisher model to section A ($L_A = 50$ cm)							
	Содержание частиц фракции в сечении, % масс., по 4 измерениям Content of fraction particles in section, % mass, by 4 dimensions				Среднее арифметическое содержания частиц фракции в сечении, % масс. Average arithmetic content of fraction particles in section, % mass	Дисперсия среднего арифметического содержания частиц фракции S_n^2 Dispersion of the average arithmetic of the particle content of the fraction S_n^2	Среднее квадратическое отклонение среднего арифметического содержания частиц фракции S_n Standard deviation of the average arithmetic of the particle content of the fraction S_n	
	1	2	3	4				
450...629	36,9	32,7	31,8	18,5	30,0	63,46	7,97	
200...449	58,1	62,0	60,6	74,7	63,9	54,92	7,41	
40...199	5,0	5,3	7,7	6,8	6,2	1,62	1,27	
Расчет отношения дисперсий по критерию Фишера <i>Calculation of the dispersions relation by Fischer's criterion</i>								
Фракция Fraction	200...449					40...199		
450...629	$F_p = S_1^2 / S_1^2 = 63,46 / 54,92 = 1,16$ Отклонение незначимое / Insignificant deviation					$F_p = S_1^2 / S_3^2 = 63,46 / 1,62 = 39,17$ Отклонение значимое / Significant deviation		
200...449						$F_p = S_2^2 / S_2^2 = 54,92 / 1,62 = 33,90$ Отклонение значимое / Significant deviation		
Примечание. S_1^2, S_2^2, S_3^2 — значения дисперсий для содержания частиц фракций размером 450...629, 200...449 и 40...199 мкм соответственно. Note. S_1^2, S_2^2, S_3^2 is dispersion values for the particle content of fractions 450...629, 200...449 and 40...199 μm respectively.								

Таблица 6. Оценка статистической значимости результатов для сечений Б, В и Г

Table 6. Evaluation of statistical significance of results for sections B, V and G

Фракция Fraction	Сечение (расстояние от модели огнетушителя) / Section (distance from fire extinguisher model)					
	Б ($L_B = 750$ мм) B ($L_B = 750$ мм)		В ($L_V = 1000$ мм) V ($L_V = 1000$ мм)		Г ($L_G = 1250$ мм) G ($L_G = 1250$ мм)	
	200...449	40...199	200...449	40...199	200...449	40...199
450...629	$F_p = 1,79$ Отклонение незначимое Insignificant deviation	$F_p = 9,30$ Отклонение значимое Significant deviation	$F_p = 2,63$ Отклонение незначимое Insignificant deviation	$F_p = 1,01$ Отклонение незначимое Insignificant deviation	$F_p = 1,69$ Отклонение незначимое Insignificant deviation	$F_p = 8,79$ Отклонение значимое Significant deviation
200...449		$F_p = 5,18$ Отклонение незначимое Insignificant deviation		$F_p = 2,67$ Отклонение незначимое Insignificant deviation		$F_p = 5,20$ Отклонение незначимое Insignificant deviation

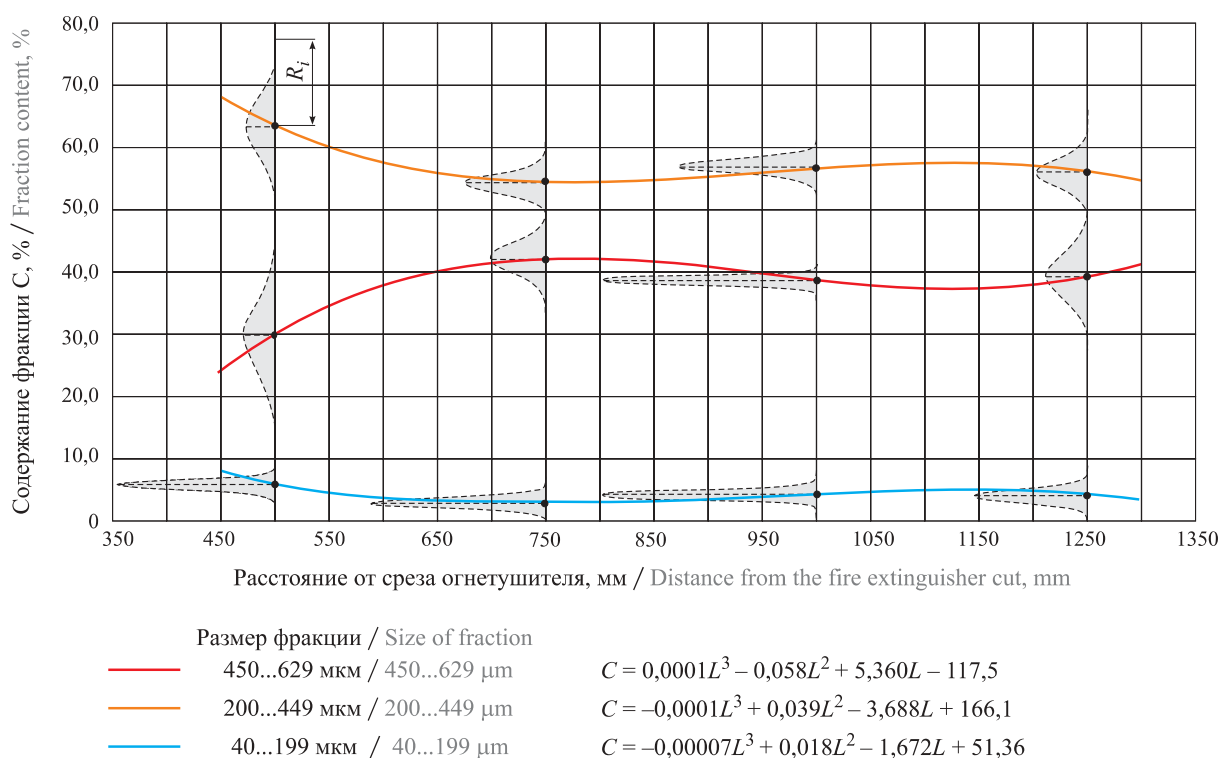


Рис. 3. Изменения процентного содержания различных фракций в поперечном сечении нестационарного газового потока в зависимости от расстояния L : частота распределения погрешностей содержания фракций обозначена серым цветом; R_i — отклонение от среднего значения содержания частиц по массе; i — номер фракции

Fig. 3. Changes in the content of different fractions in the cross-section of the non-stationary gas stream depending on the distance L : frequency of error distribution of fractions content are indicated in gray; R_i is the deviation from the average particle content by mass; i is the fraction number

Выводы

1. Установлены и аналитически описаны закономерности распределения частиц различных фракций огнетушащего порошка в поперечном сечении нерегулируемого нестационарного газового потока, которые могут быть использованы при поиске способов регулирования фракций огнетушащего порошка в процессе тушения очага пожара.

2. Установлено, что наиболее представительны и стабильны по точности (правильности и прецизионности) результаты содержания фракций порошка в сечении нестационарного газового потока на расстоянии 1000 мм от среза огнетушителя, что необходимо учитывать при проведении дальнейших исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Li H., Feng L., Du D., Guo X., Hua M., Pan X. Fire suppression performance of a new type of composite superfine dry powder // *Fire and Materials*. — 2019. — Vol. 43, Issue 8. — P. 905–916. DOI: 10.1002/fam.2750.
2. Сабинин О. Ю., Агаларова С. М. Огнетушащие порошки. Проблемы. Состояние вопроса // *Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety*. — 2007. — Т. 16, № 6. — С. 63–68.
3. Сабинин О. Ю. Оптимальные характеристики огнетушащих порошков и параметры их подачи для импульсных модулей порошкового пожаротушения : дис. ... канд. техн. наук. — М., 2008. — 176 с.
4. Лапшин Д. Н. Модифицирование огнетушащих порошковых составов на основе фосфата и сульфата аммония в условиях интенсивных механических воздействий : автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Иваново, 2014. — 16 с.
5. Huang D., Wang X., Yang J. Influence of particle size and heating rate on decomposition of BC dry chemical fire extinguishing powders // *Particulate Science and Technology*. — 2015. — Vol. 33, Issue 5. — P. 488–493. DOI: 10.1080/02726351.2015.1013591.
6. Лапшин Д. Н., Кунин А. В., Смирнов С. А. Описание процесса разложения компонентов огнетушащего порошка на основе фосфатов аммония // *Фундаментальные и прикладные проблемы в научном обеспечении пожарной безопасности* : матер. конф. — М. : Национальная академия наук пожарной безопасности, 2012. — С. 27.
7. Лапшин Д. Н., Смирнов С. А., Кунин А. В. Исследование теплового эффекта разложения огнетушащих порошковых композиций // XIX Менделеевский съезд по общей и прикладной химии (г. Волгоград, 25–30 сентября 2011 г.) : тез. докл. — В 4 т. — Волгоград : ИУНЛ ВолгГТУ, 2011. — Т. 3. — С. 119.
8. Баратов А. Н., Возман Л. П. Огнетушащие порошковые составы. — М. : Стройиздат, 1982. — 72 с.
9. Yan Y., Han Z., Zhao L., Du Z., Cong X. Study on the relationship between the particle size distribution and the effectiveness of the K-powder fire extinguishing agent // *Fire and Materials*. — 2018. — Vol. 42, Issue 3. — P. 336–344. DOI: 10.1002/fam.2500.
10. Lee E., Choi Y. Effects of particle size of dry water on fire extinguishing performance // *Journal of the Korean Society of Safety*. — 2019. — Vol. 34, Issue 3. — P. 28–35. DOI: 10.14346/JKOSOS.2019.34.3.28.
11. Liu H.-Q., Zong R.-W., Lo S., Hu Y., Zhi Y.-R. Fire extinguishing efficiency of magnesium hydroxide powders under different particle size // *Procedia Engineering*. — 2018. — Vol. 211. — P. 447–455. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.12.035.
12. Сытдыков М. Р., Кожевин Д. Ф., Поляков А. С. Гранулометрические характеристики огнетушащих порошков // *Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты)*. — 2014. — № 1(9). — С. 48–52.
13. Wu Y., Zhuang H., Yu P. Numerical simulation of gas-solid two-phase jet in a non-pressure-accumulated and handheld fire extinguisher // *Proceedings of the 3rd International Conference on Modelling, Simulation and Applied Mathematics (MSAM 2018) (Shanghai, China, July 22–23, 2018)*. — Atlantis Press, 2018. — Vol. 160. — P. 93–98. DOI: 10.2991/msam-18.2018.22.
14. Yuu S., Umekage T., Johno Y. Numerical simulation of air and particle motions in bubbling fluidized bed of small particles // *Powder Technology*. — 2000. — Vol. 110, Issue 1-2. — P. 158–168. DOI: 10.1016/S0032-5910(99)00277-6.
15. Kitsak A. I. The dynamics of dry chemical powder particles towards the fire source during their pulse feeding into the combustion zone // *Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza*. — 2018. — Vol. 49, No. 1. — P. 76–85. DOI: 10.12845/bitp.49.1.2018.7.
16. Долговидов А. В., Сабинин О. Ю. Автоматические средства подачи огнетушащих порошков // *Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety*. — 2008. — Т. 17, № 1. — С. 62–67.
17. Сытдыков М. Р., Кожевин Д. Ф., Поляков А. С. Способ и результаты оценки распределения частиц огнетушащих порошков в потоке аэрозоля // *Проблемы управления рисками в техносфере*. — 2014. — № 3(31). — С. 60–67.
18. Polyakov A. S., Kozhevin D. F., Konstantinova A. S. Regularities of dry chemical powder particles mass distribution in cross sections of a non-stationary gas stream // *Scientific Research of the SCO Countries: Synergy and Integration : Proceedings of the International Conference (Beijing, PRC, May 16–17, 2019)*. — Part 2. — P. 163–173.
19. Коузов П. А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов. — 3-е изд., перераб. — Л. : Химия, 1987. — 265 с.
20. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика : учеб. пособие для вузов. — 9-е изд., стер. — М. : Высшая школа, 2003. — 479 с.

REFERENCES

1. H. Li, L. Feng, D. Du, X. Guo, M. Hua, X. Pan. Fire suppression performance of a new type of composite superfine dry powder. *Fire and Materials*, 2019, vol. 43, issue 8, pp. 905–916. DOI: 10.1002/fam.2750.
2. O. Yu. Sabinin, S. M. Agalarova. Dry chemical powders. Problems. Question state. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2007, vol. 16, no. 6, pp. 63–68 (in Russian).
3. O. Yu. Sabinin. *Optimal characteristics of dry chemical powders and parameters of their supply for pulse modules of powder fire extinguishing*. Cand. Sci. (Eng.) Diss. Moscow, 2008. 176 p. (in Russian).
4. D. N. Lapshin. *Modification of dry chemical powders compositions based on ammonium phosphate and sulfate under intensive mechanical effects*. Abstr. Cand. Sci. (Eng.) Diss. Ivanovo, 2014. 16 p. (in Russian).
5. D. Huang, X. Wang, J. Yang. Influence of particle size and heating rate on decomposition of BC dry chemical fire extinguishing powders. *Particulate Science and Technology*, 2015, vol. 33, issue 5, pp. 488–493. DOI: 10.1080/02726351.2015.1013591.
6. D. N. Lapshin, A. V. Kunin, S. A. Smirnov. Description of decomposition process of dry chemical powders components based on ammonium phosphates. In: *Fundamentalnyye i prikladnyye problemy v nauchnom obespechenii pozharnoy bezopasnosti* [Fundamental and applied problems in scientific fire safety]. Proceedings of conference. Moscow, National Academy of Fire Safety Sciences Publ., 2012, p. 27 (in Russian).
7. D. N. Lapshin, S. A. Smirnov, A. V. Kunin. Investigation of thermal effect of dry chemical powders compositions decomposition. In: *XIX Mendeleyevskiy syezd po obshchey i prikladnoy khimii* [XIX Mendelev Congress on General and Applied Chemistry]. Volgograd, September 25–30, 2011. Abstracts of conference. Volgograd, Volgograd State Technical University Publ., vol. 3, p. 119 (in Russian).
8. A. N. Baratov, L. P. Vogman. *Ognietushashchiye poroshkovyye sostavy* [Fire extinguishing powder structures]. Moscow, Stroyizdat, 1982. 72 p. (in Russian).
9. Y. Yan, Z. Han, L. Zhao, Z. Du, X. Cong. Study on the relationship between the particle size distribution and the effectiveness of the K-powder fire extinguishing agent. *Fire and Materials*, 2018, vol. 42, issue 3, pp. 336–344. DOI: 10.1002/fam.2500.
10. E. Lee, Y. Choi. Effects of particle size of dry water on fire extinguishing performance. *Journal of the Korean Society of Safety*, 2019, vol. 34, issue 3, pp. 28–35. DOI: 10.14346/JKOSOS.2019.34.3.28.
11. H.-Q. Liu, R.-W. Zong, S. Lo, Y. Hu, Y.-R. Zhi. Fire extinguishing efficiency of magnesium hydroxide powders under different particle size. *Procedia Engineering*, 2018, vol. 211, pp. 447–455. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.12.035.
12. M. R. Sytdykov, D. F. Kozhevin, A. S. Poliakov. Granulometric characteristics of fire extinguishing powders. *Prirodnye i tekhnogennyye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty) / Natural and Technological Risks (Physics-Mathematical and Applied Aspects)*, 2014, no. 1(9), pp. 48–52 (in Russian).
13. Y. Wu, H. Zhuang, P. Yu. Numerical simulation of gas-solid two-phase jet in a non-pressure-accumulated and handheld fire extinguisher. In: *Proceedings of the 3rd International Conference on Modelling, Simulation and Applied Mathematics (MSAM 2018) (Shanghai, China, July 22–23, 2018)*. Atlantis Press, 2018, vol. 160, pp. 93–98. DOI: 10.2991/msam-18.2018.22.
14. S. Yuu, T. Umekage, Y. Johno. Numerical simulation of air and particle motions in bubbling fluidized bed of small particles. *Powder Technology*, 2000, vol. 110, issue 1–2, pp. 158–168. DOI: 10.1016/S0032-5910(99)00277-6.
15. A. I. Kitsak. The dynamics of dry chemical powder particles towards the fire source during their pulse feeding into the combustion zone. *Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza*, 2018, vol. 49, no. 1, pp. 76–85. DOI: 10.12845/bitp.49.1.2018.7.
16. A. V. Dolgovidov, O. Yu. Sabinin. Automatic means for supplying dry chemical powders. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2008, vol. 17, no. 1, pp. 62–67 (in Russian).
17. M. R. Sytdykov, D. F. Kozhevin, A. S. Poliakov. Method and results of the distribution of particles of fire extinguishing powders in the flow of aerosol. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere / Problems of Technosphere Risk Management*, 2014, no. 3(31), pp. 60–67 (in Russian).
18. A. S. Polyakov, D. F. Kozhevin, A. S. Konstantinova. Regularities of dry chemical powder particles mass distribution in cross sections of a non-stationary gas stream. In: *Scientific Research of the SCO Countries: Synergy and Integration. Proceedings of the International Conference (Beijing, PRC, May 16–17, 2019)*, part 2, pp. 163–173.
19. P. A. Kouzov. *Osnovy dispersnogo analiza sostava promyshlennykh pyley i izmelchennykh materialov* [Basis of dispersed analysis of the composition of industrial dusts and ground materials]. 3rd ed. Leningrad, Khimiya Publ., 1987. 265 p. (in Russian).

20. V. E. Gmurman. *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika* [Probability theory and mathematical statistics]. 9th ed. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2003. 479 p. (in Russian).

*Поступила 10.10.2019, после доработки 15.11.2019;
принята к публикации 28.11.2019*

*Received 10 October 2019; Received in revised form 15 November 2019;
Accepted 28 November 2019*

Информация об авторах

ПОЛЯКОВ Александр Степанович, д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, профессор кафедры физико-технических основ обеспечения пожарной безопасности, Санкт-Петербургский университет государственной противопожарной службы МЧС России, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; ORCID: 0000-0002-4743-3941; e-mail: poljakov_as@mail.ru

КОЖЕВИН Дмитрий Федорович, канд. техн. наук, доцент, начальник кафедры физико-химических основ процессов горения и тушения, Санкт-Петербургский университет государственной противопожарной службы МЧС России, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; ORCID: 0000-0002-6418-107X; e-mail: yagmort_kdf@mail.ru

КОНСТАНТИНОВА Алина Станиславовна, адъюнкт кафедры физико-технических основ обеспечения пожарной безопасности, Санкт-Петербургский университет государственной противопожарной службы МЧС России, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; ORCID: 0000-0002-2893-9058; e-mail: as_konstantinova@mail.ru

Information about the authors

Aleksandr S. POLYAKOV, Doctor Sci. (Eng.), Professor, Honored Worker of Science of the Russian Federation, Professor of Physical and Technical Bases of Fire Safety Department, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia, Saint Petersburg, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-4743-3941; e-mail: poljakov_as@mail.ru

Dmitriy F. KOZHEVIN, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Head of the Physical and Chemical Bases of the Burning and Extinguishing Processes Department, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia, Saint Petersburg, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-6418-107X; e-mail: yagmort_kdf@mail.ru

Alina S. KONSTANTINOVA, Adjunct of Physical and Technical Bases of Fire Safety Department, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia, Saint Petersburg, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-2893-9058; e-mail: as_konstantinova@mail.ru

УДК 621.316.9/614.8

Современная молниезащита зданий и сооружений. Часть 1

© А. С. Харламенков ✉

Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4)

АННОТАЦИЯ

Выполнен анализ существующих технических решений по молниезащите зданий и сооружений. Рассмотрены требования нормативных документов по молниезащите объектов. Указаны особенности применения различных систем молниеотводов для защиты объектов от прямых ударов молнии. Представлены способы обеспечения безопасности зданий и сооружений от вторичных проявлений молнии. Показана нецелесообразность использования активных молниеотводов (*ESE terminals*) взамен существующих классических решений молниезащиты.

Ключевые слова: молниезащита объектов; устройства защиты от импульсных перенапряжений; активные молниеотводы; пожарная безопасность; электромагнитная индукция.

Для цитирования: Харламенков А. С. Современная молниезащита зданий и сооружений. Часть 1 // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2019. — Т. 28, № 6. — С. 89–91.

✉ Харламенков Александр Сергеевич, e-mail: h_a_s@live.ru

Modern lightning protection of buildings and constructions. Part 1

© Aleksandr S. Kharlamenkov ✉

State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation)

ABSTRACT

Analysis of existing technical solutions for lightning protection of buildings and structures is made. The requirements of regulatory documents on lightning protection of objects are considered. The features of the use of various systems of lightning rods to protect objects from direct lightning strikes are indicated. Methods of ensuring the safety of buildings and structures from secondary manifestations of lightning are presented. The inappropriateness of using active lightning rods (*ESE terminals*) instead of existing classical solutions of lightning protection is shown.

Keywords: lightning protection of objects; surge protection devices; active lightning rods; fire safety; electromagnetic induction.

For citation: A. S. Kharlamenkov. Modern lightning protection of buildings and constructions. Part 1. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2019, vol. 28, no. 6, pp. 89–91 (in Russian).

✉ Aleksandr Sergeevich Kharlamenkov, e-mail: h_a_s@live.ru



ВОПРОС:

Всем известно, что удар молнии является источником пожаров и взрывов на объектах различного назначения. Для обеспечения их молниезащиты применяются металлические стержни, тросы и сетки, основная задача которых заключается в перехвате канала молнии и отводе тока, минуя конструкцию здания, в землю. Такой способ применяется уже более 250 лет со времен Б. Франклина, предложившего использовать железную проволоку в качестве молниеприемника. В быту данное устройство называют громоотводом, хотя такое название противоречит его основному назначению — отводить в землю молнию, а не гром.

Практика эксплуатации молниеотводов показала, что их надежность не является абсолютной, но может достигать 99,9 %. При этом всегда остается доля вероятности прямого попадания молнии в защищаемый объект. Нередки случаи, когда грозовые раз-

ряды приходится на конструкции, расположенные вблизи зданий, имеющих систему молниезащиты. Это возможно, когда канал молнии развивается со стороны незащищенного возвышающегося объекта, а также в местах скопления руды и влажных участков почвы. В этих случаях следует рассматривать молнию как прямую угрозу для человека, находящегося в области грозовых разрядов.

Существующее положение дел указывает на необходимость разработки дополнительных технических и организационных решений, способствующих сохранению жизни и здоровья людей, повышению эффективности молниезащиты объектов и обеспечению их пожарной безопасности.

Какие значимые изменения претерпела система молниезащиты объектов за последние годы, и появились ли новые способы защиты человека на производстве в условиях грозовой активности?

ОТВЕТ:

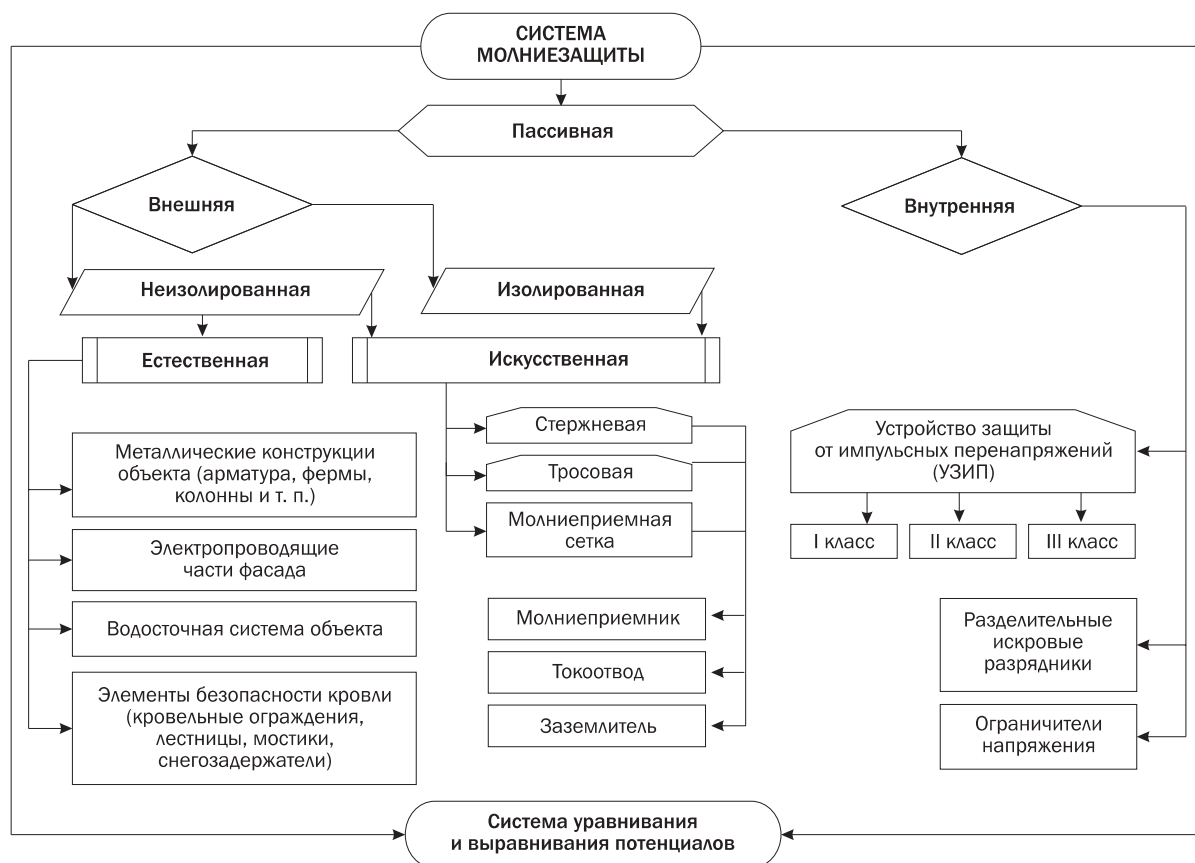
Молниезащите зданий и сооружений уделяется большое внимание. Особенно это касается тех зданий, в технологическом процессе которых обращаются пожаровзрывоопасные вещества и материалы.

Классическая молниезащита представляет собой систему стержневых и тросовых молниеотводов, изолированных и не изолированных от объекта, включающих в себя молниеприемники, токоотводы и заземлители (искусственная система). В отдельных случаях молниеотводы заменяют заземленной молниеприемной сеткой, укладываемой на крышу здания. Ее эффективность в качестве молниеприемника низка из-за незначительного превышения над поверхностью кровли. В то же время в качестве токоотвода и для снижения электромагнитных наводок внутри защищаемого объекта использование сетки вполне оправданно. В отдельных случаях допускается использовать металлические части конструктивных элементов зданий и сооружений для целей молниезащиты (естественная система). В качестве молниеприемников может быть использована кровля объекта и ограждения крыши при условии, что под ней отсутствуют горючие материалы, способные воспламениться от контакта с каналом молнии. Колонны, фермы, арматура здания, части водосточной системы могут выполнять функцию токоотводов, а железобетонный фундамент — заземлителя. Молниезащиту от прямых ударов молнии называют внешней.

Для борьбы с вторичными проявлениями молнии (электромагнитная и электростатическая индукция) используют надежное заземление проводящих частей оборудования, дополняя систему устройствами защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП), позволяющими также предотвратить занос высокого потенциала в здание по подземным коммуникациям (внутренняя система). Требования к выбору, установке и местам размещения УЗИП представлены в ГОСТ Р МЭК 61643–12 [1]. В рассматриваемую систему при необходимости могут быть включены разделительные искровые разрядники и ограничители перенапряжений (ОПН). Принцип действия последних аналогичен УЗИП. Указанные выше технические решения относятся к пассивной молниезащите, все элементы которой объединяются системой уравнивания и выравнивания потенциалов.

В России одновременно действуют две инструкции по устройству молниезащиты зданий и сооружений [2, 3] и три части международного стандарта IEC 62305 [4–6]. Существуют и ведомственные документы, регламентирующие применение пассивной молниезащиты на пожароопасных производственных объектах [7, 8]. Анализируя информацию, представленную в данных нормах, можно констатировать, что за последние 10 лет значительных изменений по усовершенствованию системы молниезащиты в нормативные документы внесено не было.

Таким образом, на сегодняшний день для большинства зданий и сооружений система молниезащиты



Структурная схема молниезащиты зданий и сооружений

представляет собой набор различных технических решений (см. рисунок).

Специалистам в области молниезащиты известно, что канал молнии никогда не достигает наземного объекта. Связано это с тем, что с заземленной поверхности начинает развиваться встречный восходящий разряд, который перехватывает нисходящий плазменный канал и замыкает электрическую цепь между грозовым облаком и землей. Чем выше произойдет соединение этих каналов, тем меньшим электромагнитным воздействиям будет подвергаться объект защиты, а размеры зоны защиты такого молниеотвода увеличатся.

На основании этой теории были разработаны активные молниеотводы (системы с упреждающей стримерной эмиссией — *ESE terminals*). По заявлениям разработчиков их применение позволит обеспечить более ранний перехват молнии, а значит, повысить надежность системы молниезащиты в целом. Они утверждают, что для защиты объектов в радиусе 100 м достаточно одного такого молниеотвода. К сожалению, результаты испытаний данных молниеотводов, проведенных в России [9, 10], на Украине [11], в Венгрии и Швеции [12, 13], не подтвердили их эффективность, поэтому в нормативных документах применение активных молниеотводов не нашло своего отражения. Тем не менее в ряде европейских стран (Франция, Испания) их использование одобрено стандартами по молниезащите [14, 15]. Даже в территориальные градостроительные нормы Свердловской области [16] выгодоприобретателям удалось внедрить положение о возможности применения активных молниеотводов. В связи с этим собственникам объектов следует четко понимать, что поступающие от фирм предложения по установке активных молниеотводов направлены на выкачивание из них денежных средств, а не для повышения надежности молниезащиты.

В следующей части статьи будут рассмотрены системы предотвращения возникновения встречных разрядов от заземленных объектов (*DAS — Dissipation Array System*) и системы профилактической (превентивной) молниезащиты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р МЭК 61643-12-2011. Устройства защиты от импульсных перенапряжений низковольтные. Часть 12. Устройства защиты от импульсных перенапряжений в низковольтных силовых распределительных системах. Принципы выбора и применения. — Введ. 01.01.2013. — М. : Стандартинформ, 2013.
2. РД 34.21.122-87. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений : утв. Главтехуправлением Минэнерго СССР; введ. 12.10.87. — М. : Энергоатомиздат, 1989.

3. СО 153-34.21.122-2003. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций : приказ Минэнерго России от 30.06.2003 № 280; введ. 30.06.2003. — М. : Изд-во МЭИ, 2004.

4. ГОСТ Р МЭК 62305-1-2010. Менеджмент риска. Защита от молнии. Часть 1. Общие принципы. — Введ. 01.12.2011. — М. : Стандартинформ, 2011.

5. ГОСТ Р МЭК 62305-2-2010. Менеджмент риска. Защита от молнии. Часть 2. Оценка риска. — Введ. 01.12.2011. — М. : Стандартинформ, 2011.

6. ГОСТ Р МЭК 62305-4-2016. Защита от молнии. Часть 4. Защита электрических и электронных систем внутри зданий и сооружений. — Введ. 01.01.2018. — М. : Стандартинформ, 2016.

7. СТО Газпром 2-1.11-170-2007. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и коммуникаций ОАО «Газпром» : распоряжение ОАО «Газпром» от 15.10.2007 № 337; введ. 25.03.2008. — М. : ИРЦ Газпром, 2007.

8. РД-91.020.00-KTH-021-11. Нормы проектирования молниезащиты объектов магистральных нефтепроводов и коммуникаций организаций системы «Транснефть». URL: http://gost-snip.su/document/rd_91_020_00_ktn_021_11_normy_proektirovaniya_molniezashchit (дата обращения 15.11.2019).

9. Базелян Э. М. Эффект объемного заряда короны в молниезащите // Труды IV Российской конференции по молниезащите. — СПб. : НПО «Стример», 2014. — С. 1-16.

10. Базелян Э. М. Азбука молниезащиты. — М. : Знак, 2011. — 192 с.

11. Чернухин А. Ю. Влияние параметров коронного разряда на эффективность элементов систем молниезащиты // Электротехника i Электромеханика. — 2017. — № 3. — С. 47-56.

12. Berta I. Lightning protection: challenges, solutions and questionable steps in the 21st century // Journal of Physics: Conference Series. — 2011. — Vol. 301, No. 1 — 5 p.

13. Becerra M., Cooray V. Laboratory experiments cannot be utilized to justify the action of early streamer emission terminals // Journal of Physics D: Applied Physics. — 2008. — Vol. 41, No. 8. — 8 p.

14. NF C 17-102:2011. Protection contre la foudre — Systèmes de protection contre la foudre à dispositif d'amorçage. — Union Technique de l'Electricité (UTE), 2011. — 82 p.

15. UNE 21186:2011. Protection against lightning: Surge arresters using early streamer emission air terminals, 2019. — 91 p.

16. ТН 34.21-301-2008. Молниезащита зданий, сооружений, открытых площадок и промышленных коммуникаций системами с упреждающей стримерной эмиссией. Технические требования, проектирование, технология устройства и техническая эксплуатация. — Введ. 14.04.2008. — Екатеринбург : Мин-во строительства и архитектуры Свердловской обл., 2008.

Материал поступил в редакцию 20.11.2019

Received 20 November 2019

Информация об авторе

ХАРЛАМЕНКОВ Александр Сергеевич, старший преподаватель кафедры специальной электротехники, автоматизированных систем и связи, Академия ГПС МЧС России, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: h_a_s@live.ru

Information about the author

Aleksandr S. KHARLAMENKOV, Senior Lecturer of Department of Special Electrical Engineering, Automation Systems and Communication, State Fire Academy of Emercom of Russia, Moscow, Russian Federation; e-mail: h_a_s@live.ru

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ!

Направляемые в журнал “ПОЖАРОВЗРЫВБЕЗОПАСНОСТЬ/FIRE AND EXPLOSION SAFETY” 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 через электронную редакцию 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 электронные адреса всех авторов; дать информацию о контактном лице. 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).*

2.3.3. ORCID, Researcher ID, Scopus Author ID.

2.4. 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);
- содержательным (должно отражать существенные результаты работы; не должно включать материал, который отсутствует в основной части публикации);
- структурированным (т. е. следовать логике описания результатов в публикации);
- грамотным (написанным качественным английским языком, без использования программ автоматизированного перевода);
- объемом не менее 200–250 слов.

Структура резюме должна повторять структуру статьи и включать четко обозначенные подразделы Введение (Introduction), Цели и задачи (Aims and Purposes), Методы (Methods), Результаты (Results), Обсуждение (Discussion), Заключение (выводы) (Conclusions).

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, предложениями, 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 следует 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.

2.5. Ключевые слова на русском и английском языках (не менее 5 слов или коротких 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. Используемые в заголовке слова и термины не нужно повторять в качестве ключевых слов: ключевые слова должны дополнять информацию в заголовке. 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.

2.6. 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.

В журнале предусматривается двуязычное представление табличного и графического материала, поэтому необходимо прислать перевод на английский язык:

- для таблицы: ее названия, шапки, боковика, текста во всех строках, сноска и примечаний;
- для рисунка: подписанной подписи и всех текстовых надписей на самом рисунке;
- для схемы: подписи к ней и всего содержания самой схемы.

2.7. 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, ссылки на сайты компаний и т. п.). При этом количество ссылок на статьи из иностранных научных журналов и другие иностранные источники должно быть не менее 40 % от общего количества ссылок. Не более половины от оставшихся 60 % должны составлять статьи из русскоязычных научных журналов, остальное — другие первоисточники на русском языке.

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

Состав источников должен быть актуальным и содержать не менее половины современных (не старше 10 лет) статей из научных журналов или других публикаций.

В списке литературы должно быть не более 30 % источников, автором либо соавтором которых является автор статьи.

Следует обратить внимание на публикации диссертаций (особенно докторских), защищенных в последние годы по ближайшей научной специальности или группе специальностей. Для поиска рекомендуется использовать ресурс <http://www.disscat.com>.

Не следует включать в список литературы ГОСТы; ссылки на них должны быть даны непосредственно по тексту статьи.

Убедитесь, что указанная в списке литературы информация (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.

2.8. References (пристайные списки литературы на английском языке). Представление в References только транслитерированного (без перевода) описания недопустимо. Обращаем Ваше внимание, что перевод названия статей 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:

- ИОФ авторов (транслитерация; для ее написания используйте сайт <http://fotosav.ru/services/transliteration.aspx>, обязательно включив в настройках справа вверху 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: D. N. Sokolov, L. P. Vogman, V. A. Zuykov. Microbiological spontaneous ignition. *Pozharnaya bezopasnost' / Fire Safety*, 2012, no. 1, pp. 35–48 (in Russian) (другие примеры см. www.fire-smi.ru).

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

4. В случае получения замечаний в ходе внутреннего рецензирования статьи авторы должны предоставить доработанный вариант текста в срок не более одного месяца 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.

5. 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 / Fire and Explosion Safety”, согласны с условиями публикации или отклонения рукописи, а также с правилами ее оформления!

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ ЗА 2019 г.

А

- Абдеев Б. М.** см. Недобитков А. И.
- Алешков М. В., Басов В. А., Колбасин А. А., Таранцев А. А., Холостов А. Л.** Моделирование сети связи для управления действиями пожарных подразделений при тушении пожаров различной сложности, № 3, 59
- Аракчеев А. В.** см. Маркус Е. С.
- Арифджанов С. Б.** см. Гвоздев Е. В.

Б

- Басов В. А.** см. Алешков М. В.
- Берлин А. А.** см. Гаращенко А. Н.
- Богданов А. В.** см. Еремина Т. Ю.
- Богданова В. В., Бурая О. Н., Тихонов М. М.** Разработка трудногорючего жесткого напыляемого пенополиуретана и исследование его физико-химических, огнезащитных и огнетушащих свойств, № 5, 27
- Боева А. А.** см. Иванов А. В.
- Болдрушкиев О. Б.** см. Пузач С. В.
- Бондар А. И., Мешалкин Е. А., Танклевский Л. Т., Таранцев А. А., Цариченко С. Г.** Об особенностях применения автоматических установок сдерживания пожара, № 6, 71
- Брушлинский Н. Н., Соколов С. В., Иванова О. В.** Сколько человек погибает при пожарах в мире?, № 4, 51
- Бурая О. Н.** см. Богданова В. В.
- Бутузов С. Ю.** см. Гвоздев Е. В.
- Былинкин В. А.** см. Мешман Л. М.

В

- Василенко В. В., Леликов Г. Д., Овчинникова Т. А., Корольченко Д. А.** Определение критериев оценки воздействия неорганических кислот на синтетические веревки для повышения безопасности работ на высоте, № 6, 35
- Вилисов В. Я.** Моделирование уровня риска решений, принимаемых при управлении ликвидацией пожаров, № 3, 36

Г

- Гаращенко А. Н., Берлин А. А., Кульков А. А.** Способы и средства обеспечения требуемых показателей пожаробезопасности конструкций из полимерных композитов (обзор), № 2, 9
- Гвоздев Е. В., Бутузов С. Ю., Сулима Т. Г., Арифджанов С. Б.** Формализованная модель оценки надежности функционирования тепловых электрических станций, № 2, 47
- Герасимов И. Е.** см. Коробейничев О. П.
- Глазнев Р. К.** см. Коробейничев О. П.

Голованов В. И., Пехотиков А. В., Новиков Н. С., Павлов В. В., Кузнецова Е. В. Огнестойкость железобетонных тубингов подземных сооружений с полипропиленовой фиброй, № 5, 60

- Гончикжапов М. Б.** см. Коробейничев О. П.
- Гордиенко Д. М., Логинов В. И., Осипов Ю. Н., Ершов В. И., Михайлова Е. Д.** Проблемы использования беспилотных авиационных систем для тушения пожаров в зданиях повышенной этажности, № 4, 82
- Горев В. А., Овсянников Д. Л.** Испарение жидкого метана с металлической поверхности, № 1, 14
- Горбань М. Ю.** см. Мешман Л. М.
- Горбань Ю. И.** см. Мешман Л. М.
- Гравит М. В., Карькин И. Н., Дмитриев И. И., Кузнецов К. А.** Моделирование процесса эвакуации из высотных зданий и сооружений с использованием пассажирских лифтов, № 2, 66
- Гринченко Б. Б., Топольский Н. Г., Тараканов Д. В.** Информационные ресурсы поддержки управления безопасностью работ в непригодной для дыхания среде, № 5, 51

Д

- Дементьев Ф. А.** см. Иванов А. В.
- Денисов А. Н., Шереметьев С. Н.** Технология устранения течи в горизонтально расположенном резервуаре, № 1, 47
- Дмитриев И. И.** см. Гравит М. В.
- Добриков С. А.** см. Поландов Ю. Х.

Е

- Еремина Т. Ю., Богданов А. В., Сушкова О. В., Юг А.** Исследование особенностей процесса эвакуации для объектов культурного наследия, № 1, 54
- Ершов В. И.** см. Гордиенко Д. М.

Ж

- Журавлев С. Ю.** см. Панов А. А.
- Журавлев С. Ю.** см. Сивенков А. Б.
- Журавлев Ю. Ю.** см. Панов А. А.
- Журавлев Ю. Ю.** см. Сивенков А. Б.

З

- Зосимова О. С.** см. Медяник М. В.
- Зубань А. В.** см. Шебеко Ю. Н.

И

- Иванов А. В., Боева А. А., Дементьев Ф. А., Рябов А. А.** Модификация тонкослойных огнезащитных покрытий многослойными углеродными нанотрубками: физико-технологические принципы и методика применения для объектов трубопроводного транспорта, № 5, 39

Иванов А. В., Торопов Д. П., Медведева Л. В., Калинина Е. С. Физический механизм и способ тушения жидких углеводородов модифицированными суспензиями воды с углеродными наноструктурами, № 1, 22

Иванова О. В. см. Брушлинский Н. Н.

К

Кйеу Туан Ань см. Топольский Н. Г.

Калинина Е. С. см. Иванов А. В.

Каменецкая Н. В., Медведева О. М., Хитов С. Б., Сильников М. В. Методика обоснования резерва запасных частей для работы специальной техники в ходе ликвидации чрезвычайной ситуации", № 3, 6

Карпов А. И. см. Коробейников О. П.

Карькин И. Н. см. Гравит М. В.

Клейменов А. В. см. Кожевин Д. Ф.

Кожевин Д. Ф., Новиков В. Р., Поляков А. С., Клейменов А. В. Аргументированный ответ на замечания эксперта по положениям статьи "Методика расчета пожарного риска на производственных объектах с жидкими моторными топливами с учетом применения порошковых огнетушителей", № 1, 75

Кожевин Д. Ф. см. Поляков А. С.

Колбасин А. А. см. Алешков М. В.

Константинова А. С. см. Поляков А. С.

Коробейников О. П., Герасимов И. Е., Гончикжапов М. Б., Терещенко А. Г., Глазнев Р. К., Трубаев С. А., Шмаков А. Г., Палецкий А. А., Карпов А. И., Шаклеин А. А., Кумар А., Рагхаван В. Экспериментальное исследование и численное моделирование распространения пламени по поверхности пластины ПММА, № 4, 15

Корольченко Д. А. см. Василенко В. В.

Кудрявцев В. Е., Кучаков Р. К. Помогают ли плановые проверки снизить число пожаров?", № 2, 81

Кузенков К. А. см. Гравит М. В.

Кузнецов Е. А. см. Маркус Е. С.

Кузнецов К. Л. см. Плотникова Г. В.

Кузнецова Е. В. см. Голованов В. И.

Кульков А. А. см. Гаращенко А. Н.

Кумар А. см. Коробейников О. П.

Кучаков Р. К. см. Кудрявцев В. Е.

Л

Ле Ань Туан см. Пузач С. В.

Леликов Г. Д. см. Василенко В. В.

Логинов В. И. см. Гордиенко Д. М.

М

Малышева С. Ф. см. Плотникова Г. В.

Маркус Е. С., Снегирев А. Ю., Кузнецов Е. А., Танклевский Л. Т., Аракчеев А. В. Численное моделирование распространения пламени по дискретной совокупности горючих материалов, № 4, 29

Медведева Л. В. см. Иванов А. В.

Медведева О. М. см. Каменецкая Н. В.

Медяник М. В., Зосимова О. С. Сравнительный анализ нормативных требований по пожарной безопасности при проектировании лечебных учреждений в России и в Италии, № 1, 67

Медяник М. В. см. Сивенков А. Б.

Мешалкин Е. А. см. Бондар А. И.

Мешман Л. М. Влияние проектного значения интенсивности орошения диктующего оросителя на гидравлические параметры распределительной сети АУП, № 2, 93

Мешман Л. М. Частные вопросы по проектированию внутреннего противопожарного водопровода, № 3, 98

Мешман Л. М. Частные вопросы при проектировании водяных АУП, № 1, 80

Мешман Л. М., Былинкин В. А., Горбань Ю. И., Горбань М. Ю., Фокичева К. Ю. Актуальные проблемы навигации на очаг пожара пожарных роботизированных стволов в роботизированных установках пожаротушения. Часть 1. Предпосылки создания РУП и специфические особенности тушения пожаров ПРС, № 3, 70

Мешман Л. М., Былинкин В. А., Горбань Ю. И., Горбань М. Ю., Фокичева К. Ю. Актуальные проблемы навигации на очаг пожара пожарных роботизированных стволов в роботизированных установках пожаротушения. Часть 2. Программы управления ПРС при тушении статическими струями с учетом компоновки ПРС относительно очага пожара, № 4, 63

Мешман Л. М., Былинкин В. А., Горбань Ю. И., Горбань М. Ю., Фокичева К. Ю. Актуальные проблемы навигации на очаг пожара пожарных роботизированных стволов в роботизированных установках пожаротушения. Часть 3. Программы управления ПРС при тушении струйными струями с учетом компоновки ПРС относительно очага пожара, № 5, 71

Михайлов К. А. см. Топольский Н. Г.

Михайлова Е. Д. см. Гордиенко Д. М.

Мокшанцев А. В. см. Топольский Н. Г.

Н

Недобитков А. И. Особенности токовой перегрузки в автомобильной электрической сети, № 4, 42

Недобитков А. И., Абдеев Б. М. О физической основе локальной токовой перегрузки в автомобильной электрической сети, № 6, 18

Новиков В. Р. см. Кожевин Д. Ф.

Новиков Н. С. см. Голованов В. И.

О

Овсянников Д. Л. см. Горев В. А.

Овчинникова Т. А. см. Василенко В. В.

Осипов Ю. Н. см. Гордиенко Д. М.

П

Павлов В. В. см. Голованов В. И.

Палецкий А. А. см. Коробейников О. П.

Панов А. А., Журавлев С. Ю., Журавлев Ю. Ю. Независимая оценка риска и исходные данные для расчета пожарного риска в общественных зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности, № 5, 9

Пехотиков А. В. см. Голованов В. И.

Плотникова Г. В., Кузнецов К. Л., Малышева С. Ф. Особенности исследования полиуретана при пожарах”, № 2, 31

Полянов Ю. Х., Добриков С. А. Влияние на развитие газового взрыва в помещении расстояния между местом воспламенения и окном, № 3, 14

Поляков А. С., Кожевин Д. Ф., Константинова А. С. Распределение фракций огнетушащего порошка в моделируемом нестационарном газовом потоке, № 6, 80

Поляков А. С. см. Кожевин Д. Ф.

Пузач С. В., Болдрушкиев О. Б. Определение удельного коэффициента образования и критической парциальной плотности циановодорода и монооксида углерода при пожаре в помещении, № 5, 19

Пузач С. В., Ле Ань Туан. Экспериментальное исследование параметров горения кроны наиболее распространенных пород деревьев Вьетнама, № 6, 10

Р

Рагхаван В. см. Коробейничев О. П.

Рябов А. А. см. Иванов А. В.

С

Самарин И. В. см. Топольский Н. Г.

Семин А. А. Натурная проверка противопожарной подготовки сотрудников объекта”, № 2, 57

Семин А. А. Расчетные данные для проектирования зон безопасности в зданиях лечебных учреждений, № 6, 52

Сивенков А. Б., Журавлев С. Ю., Журавлев Ю. Ю., Медяник М. В. Об эффективности применения противопожарных дверей в снижении предельно допустимых значений опасных факторов пожара и величины пожарного риска в зданиях и сооружениях различного функционального назначения, № 4, 6

Сильников М. В. см. Каменецкая Н. В.

Снегирев А. Ю. см. Маркус Е. С.

Соколов С. В. см. Брушлинский Н. Н.

Строгонов А. Ю. см. Топольский Н. Г.

Сулима Т. Г. см. Гвоздев Е. В.

Сушкова О. В. см. Еремина Т. Ю.

Т

Танклевский Л. Т. см. Бондар А. И.

Танклевский Л. Т. см. Маркус Е. С.

Тараканов Д. В. см. Гринченко Б. Б.

Тараканов Д. В. см. Топольский Н. Г.

Таранцев А. А. см. Алешков М. В.

Таранцев А. А. см. Бондар А. И.

Терещенко А. Г. см. Коробейничев О. П.

Тихонов М. М. см. Богданова В. В.

Топольский Н. Г., Самарин И. В., Строгонов А. Ю. Методика оценки готовности к работе оборудования АСПВБ первого уровня информирования на объектах ТЭК в особых условиях, № 1, 35

Топольский Н. Г., Самарин И. В., Строгонов А. Ю., Кйеу Туан Ань. Модель оценки влияния мероприятий пожарной безопасности на агрегатную цель для цифровых двойников объектов ТЭК, № 3, 50

Топольский Н. Г., Тараканов Д. В., Михайлов К. А., Мокшанцев А. В. Совершенствование информационного обеспечения групп разведки пожара при его мониторинге в здании с использованием инфракрасных технологий, № 3, 89

Топольский Н. Г. см. Гринченко Б. Б.

Торопов Д. П. см. Иванов А. В.

Трубачев С. А. см. Коробейничев О. П.

Ф

Фокичева К. Ю. см. Мешман Л. М.

Х

Харламенков А. С. Маркировка кабельных линий и электрических щитов, № 5, 82

Харламенков А. С. Нагревостойкость изоляции электроустановок, № 1, 77

Харламенков А. С. Новая классификация взрывоопасных зон, № 4, 92

Харламенков А. С. Современная молниезащита зданий и сооружений. Часть 1, № 6, 89

Харламенков А. С. Электропроводка из алюминиевых сплавов в жилых и общественных зданиях”, № 2, 90

Хитов С. Б. см. Каменецкая Н. В.

Холостов А. Л. см. Алешков М. В.

Ц

Цариченко С. Г. см. Бондар А. И.

Ш

Шаклеин А. А. см. Коробейничев О. П.

Шебеко А. Ю. см. Шебеко Ю. Н.

Шебеко Ю. Н., Зубань А. В., Шебеко А. Ю. Расчет фактического предела огнестойкости незащищенных стальных конструкций при различных температурных режимах пожара, № 6, 29

Шереметьев С. Н. см. Денисов А. Н.

Шмаков А. Г. см. Коробейничев О. П.

Ю

Юг А. см. Еремина Т. Ю.

ТЕМАТИЧЕСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ СТАТЕЙ, ОПУБЛИКОВАННЫХ В ЖУРНАЛЕ В 2019 г.

Фамилии авторов и название статей	Номер журнала	Стр.
НОВОСТИ, КОНФЕРЕНЦИИ, ВЫСТАВКИ		
Впервые в Бишкеке начали обсуждать безопасность, надежность и долговечность фасадных систем.	6	8
2019 — юбилейный год для выставки Securika Moscow. С чего все начиналось и каких результатов удалось достичь.	1	6
I Международная научно-практическая конференция "Огнезащита материалов и конструкций", Россия, г. Санкт-Петербург, 20–24 апреля 2020 г.	5	6
IX Международная конференция "Полимерные материалы пониженной горючести", 20–24 мая 2019 г., г. Минск, Республика Беларусь	1	9
	2	5
ОБЩИЕ ВОПРОСЫ КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ		
Каменецкая Н. В., Медведева О. М., Хитов С. Б., Сильников М. В. Методика обоснования резерва запасных частей для работы специальной техники в ходе ликвидации чрезвычайной ситуации.	3	6
Панов А. А., Журавлев С. Ю., Журавлев Ю. Ю. Независимая оценка риска и исходные данные для расчета пожарного риска в общественных зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности	5	9
Сивенков А. Б., Журавлев С. Ю., Журавлев Ю. Ю., Медяник М. В. Об эффективности применения противопожарных дверей в снижении предельно допустимых значений опасных факторов пожара и величины пожарного риска в зданиях и сооружениях различного функционального назначения.	4	6
ПРОЦЕССЫ ГОРЕНИЯ, ДЕТОНАЦИИ И ВЗРЫВА		
Горев В. А., Овсянников Д. Л. Испарение жидкого метана с металлической поверхности.	1	14
Поландов Ю. Х., Добриков С. А. Влияние на развитие газового взрыва в помещении расстояния между местом воспламенения и окном	3	14
Пузач С. В., Болдрушкиев О. Б. Определение удельного коэффициента образования и критической парциальной плотности циановодорода и монооксида углерода при пожаре в помещении	5	19
Пузач С. В., Ле Ань Туан. Экспериментальное исследование параметров горения кроны наиболее распространенных пород деревьев Вьетнама	6	10
БЕЗОПАСНОСТЬ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ		
Богданова В. В., Бурая О. Н., Тихонов М. М. Разработка трудногорючего жесткого напыляемого пенополиуретана и исследование его физико-химических, огнезащитных и огнетушащих свойств	5	27
Гарашенко А. Н., Берлин А. А., Кульков А. А. Способы и средства обеспечения требуемых показателей пожаробезопасности конструкций из полимерных композитов (обзор)	2	9
Иванов А. В., Боева А. А., Дементьев Ф. А., Рябов А. А. Модификация тонкослойных огнезащитных покрытий многослойными углеродными нанотрубками: физико-технологические принципы и методика применения для объектов трубопроводного транспорта	5	39
Иванов А. В., Торопов Д. П., Медведева Л. В., Калинина Е. С. Физический механизм и способ тушения жидких углеводородов модифицированными суспензиями воды с углеродными наноструктурами.	1	22
Плотникова Г. В., Кузнецов К. Л., Малышева С. Ф. Особенности исследования полиуретана при поджогах	2	31

Фамилии авторов и название статей	Номер журнала	Стр.
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ		
Алешков М. В., Басов В. А., Колбасин А. А., Таранцев А. А., Холостов А. Л. Моделирование сети связи для управления действиями пожарных подразделений при тушении пожаров различной сложности	3	59
Вилисов В. Я. Моделирование уровня риска решений, принимаемых при управлении ликвидацией пожаров	3	36
Гвоздев Е. В., Бутузов С. Ю., Сулима Т. Г., Арифджанов С. Б. Формализованная модель оценки надежности функционирования тепловых электрических станций	2	47
Гринченко Б. Б., Топольский Н. Г., Тараканов Д. В. Информационные ресурсы поддержки управления безопасностью работ в непригодной для дыхания среде	5	51
Коробейничев О. П., Герасимов И. Е., Гончикжапов М. Б., Терещенко А. Г., Глазнев Р. К., Трубачев С. А., Шмаков А. Г., Палецкий А. А., Карпов А. И., Шаклеин А. А., Кумар А., Раг-хаван В. Экспериментальное исследование и численное моделирование распространения пламени по поверхности пластины ПММА	4	15
Маркус Е. С., Снегирев А. Ю., Кузнецов Е. А., Танклевский Л. Т., Аракчеев А. В. Численное моделирование распространения пламени по дискретной совокупности горючих материалов	4	29
Топольский Н. Г., Самарин И. В., Строгонов А. Ю. Методика оценки готовности к работе оборудования АСПВБ первого уровня информирования на объектах ТЭК в особых условиях	1	35
Топольский Н. Г., Самарин И. В., Строгонов А. Ю., Кйеу Туан Ань. Модель оценки влияния мероприятий пожарной безопасности на агрегатную цель для цифровых двойников объектов ТЭК	3	50
ЭЛЕКТРОТЕХНИКА		
Недобитков А. И. Особенности токовой перегрузки в автомобильной электрической сети	4	42
Недобитков А. И., Абдеев Б. М. О физической основе локальной токовой перегрузки в автомобильной электрической сети	6	18
БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ОБОРУДОВАНИЯ		
Денисов А. Н., Шереметьев С. Н. Технология устранения течи в горизонтально расположенном резервуаре	1	47
БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ, ОБЪЕКТОВ		
Голованов В. И., Пехотиков А. В., Новиков Н. С., Павлов В. В., Кузнецова Е. В. Огнестойкость железобетонных тубингов подземных сооружений с полипропиленовой фиброй	5	60
Шебеко Ю. Н., Зубань А. В., Шебеко А. Ю. Расчет фактического предела огнестойкости незащищенных стальных конструкций при различных температурных режимах пожара	6	29
БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ		
Василенко В. В., Леликов Г. Д., Овчинникова Т. А., Корольченко Д. А. Определение критериев оценки воздействия неорганических кислот на синтетические веревки для повышения безопасности работ на высоте	6	35
Гравит М. В., Карькин И. Н., Дмитриев И. И., Кузенков К. А. Моделирование процесса эвакуации из высотных зданий и сооружений с использованием пассажирских лифтов	2	66
Еремина Т. Ю., Богданов А. В., Сушкова О. В., Юг А. Исследование особенностей процесса эвакуации для объектов культурного наследия	1	54
Медяник М. В., Зосимова О. С. Сравнительный анализ нормативных требований по пожарной безопасности при проектировании лечебных учреждений в России и в Италии	1	67
Семин А. А. Натурная проверка противопожарной подготовки сотрудников объекта	2	57
Семин А. А. Расчетные данные для проектирования зон безопасности в зданиях лечебных учреждений	6	52

Фамилии авторов и название статей	Номер журнала	Стр.
СТАТИСТИКА И СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ		
Брушлинский Н. Н., Соколов С. В., Иванова О. В. Сколько человек погибает при пожарах в мире?	4	51
Кудрявцев В. Е., Кучаков Р. К. Помогают ли плановые проверки снизить число пожаров?"	2	81
АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ И СРЕДСТВА		
Бондар А. И., Мешалкин Е. А., Танклевский Л. Т., Таранцев А. А., Цариченко С. Г. Об особенностях применения автоматических установок сдерживания пожара	6	71
Гордиенко Д. М., Логинов В. И., Осипов Ю. Н., Ершов В. И., Михайлова Е. Д. Проблемы использования беспилотных авиационных систем для тушения пожаров в зданиях повышенной этажности.	4	82
Мешман Л. М., Былинкин В. А., Горбань Ю. И., Горбань М. Ю., Фокичева К. Ю. Актуальные проблемы навигации на очаг пожара пожарных роботизированных стволов в роботизированных установках пожаротушения. Часть 1. Предпосылки создания РУП и специфические особенности тушения пожаров ПРС	3	70
Мешман Л. М., Былинкин В. А., Горбань Ю. И., Горбань М. Ю., Фокичева К. Ю. Актуальные проблемы навигации на очаг пожара пожарных роботизированных стволов в роботизированных установках пожаротушения. Часть 2. Программы управления ПРС при тушении статическими струями с учетом компоновки ПРС относительно очага пожара	4	63
Мешман Л. М., Былинкин В. А., Горбань Ю. И., Горбань М. Ю., Фокичева К. Ю. Актуальные проблемы навигации на очаг пожара пожарных роботизированных стволов в роботизированных установках пожаротушения. Часть 3. Программы управления ПРС при тушении струйными струями с учетом компоновки ПРС относительно очага пожара	5	71
ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ ПОЖАРНОЙ И КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ		
Топольский Н. Г., Тараканов Д. В., Михайлов К. А., Мокшанцев А. В. Совершенствование информационного обеспечения групп разведки пожара при его мониторинге в здании с использованием инфракрасных технологий	3	89
СРЕДСТВА И СПОСОБЫ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ		
Поляков А. С., Кожевин Д. Ф., Константинова А. С. Распределение фракций огнетушащего порошка в моделируемом нестационарном газовом потоке	6	80
ДИСКУССИИ		
Кожевин Д. Ф., Новиков В. Р., Поляков А. С., Клейменов А. В. Аргументированный ответ на замечания эксперта по положениям статьи "Методика расчета пожарного риска на производственных объектах с жидкими моторными топливами с учетом применения порошковых огнетушителей"	1	75
ВОПРОС – ОТВЕТ		
Мешман Л. М. Влияние проектного значения интенсивности орошения диктующего оросителя на гидравлические параметры распределительной сети АУП	2	93
Мешман Л. М. Частные вопросы по проектированию внутреннего противопожарного водопровода.	3	98
Мешман Л. М. Частные вопросы при проектировании водяных АУП.	1	80
Харламенков А. С. Маркировка кабельных линий и электрических щитов	5	82
Харламенков А. С. Нагревостойкость изоляции электроустановок	1	77
Харламенков А. С. Новая классификация взрывоопасных зон	4	92
Харламенков А. С. Современная молниезащита зданий и сооружений. Часть 1	6	89
Харламенков А. С. Электропроводка из алюминиевых сплавов в жилых и общественных зданиях	2	90

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

Открыта
подписка
на журнал

2020

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 2020 г. (3 номера) — 5901 руб.
- Стоимость годовой подписки (6 номеров) — 10260 руб.

ЭЛЕКТРОННАЯ ВЕРСИЯ:

- Стоимость подписки на 1-е полугодие 2020 г. (3 номера) — 2460 руб.
- Стоимость годовой подписки (6 номеров) — 4680 руб.

ПОДПИСКА ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ:

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

ВЫСТАВКА технических средств охраны
и оборудования для обеспечения
безопасности и противопожарной защиты



**26–29
февраля
2020**

Краснодар
ВКК «Экспоград Юг»

**ПОЛУЧИТЕ
БЕСПЛАТНЫЙ
БИЛЕТ**
на сайте
securexpo.ru

ВАШ ПРОМОКОД
K73-BJ-1365



РЕКЛАМА

12+

Организатор



Международная
Выставочная
Компания

+7 (861) 200-12-50, 200-12-34
securexpo@mvk.ru

ОДНОВРЕМЕННО С ВЫСТАВКОЙ



YugBuild



ИНСТИТУТ КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Национальный исследовательский
Московский государственный
строительный университет

Научно-
исследовательские
и сертификационные
испытания:

- ♦ железобетонных конструкций
- ♦ противопожарных преград
- ♦ легкосбрасываемых конструкций
- ♦ фасадных систем
- ♦ палуб, переборок

Контакты:

Тел.: 8 (495) 109-05-58

e-mail: ikbs@mgsu.ru,

mail@ikbs-mgsu.com

www.ikbs-mgsu.com

Свидетельство о признании испытательной лаборатории
Аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.21AM09 от 24.06.2014 г.
РМРС № 16.00385.120 от 28.12.2016 г.