

5-2019

FIRE and EXPLOSION
SAFETY

ПОЖАРОВЗРЫВО-

БЕЗОПАСНОСТЬ



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

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

КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

пожарная • промышленная • производственная • экологическая

ОГНЕСТОЙКОСТЬ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ТЮБИНГОВ
ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ
С ПОЛИПРОПИЛЕНОВОЙ
ФИБРОЙ



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



№ 5 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 15.10.2019.

Выход в свет 25.10.2019.

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, Ньютаунбб, 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.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

А. А. ПАНОВ, С. Ю. ЖУРАВЛЕВ, Ю. Ю. ЖУРАВЛЕВ
Независимая оценка риска и исходные данные
для расчета пожарного риска в общественных зданиях,
сооружениях и пожарных отсеках различных классов
функциональной пожарной опасности

ПРОЦЕССЫ ГОРЕНИЯ, ДЕТОНАЦИИ И ВЗРЫВА

С. В. ПУЗАЧ, О. Б. БОЛДРУШКИЕВ
Определение удельного коэффициента образования
и критической парциальной плотности циановодорода
и монооксида углерода при пожаре в помещении

БЕЗОПАСНОСТЬ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

В. В. БОГДАНОВА, О. Н. БУРАЯ, М. М. ТИХОНОВ
Разработка трудногорючего жесткого напыляемого
пенополиуретана и исследование его физико-
химических, огнезащитных и огнетушащих свойств

А. В. ИВАНОВ, А. А. БОЕВА,
Ф. А. ДЕМЕНТЬЕВ, А. А. РЯБОВ
Модификация тонкослойных огнезащитных покрытий
многослойными углеродными нанотрубками:
физико-технологические принципы и методика
применения для объектов трубопроводного транспорта

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

Б. Б. ГРИНЧЕНКО, Н. Г. ТОПОЛЬСКИЙ, Д. В. ТАРАКАНОВ
Информационные ресурсы поддержки управления
безопасностью работ в непригодной для дыхания среде

БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ, ОБЪЕКТОВ

В. И. ГОЛОВАНОВ, А. В. ПЕХОТИКОВ,
Н. С. НОВИКОВ, В. В. ПАВЛОВ, Е. В. КУЗНЕЦОВА
Огнестойкость железобетонных туюнгов
подземных сооружений с полипропиленовой фиброй

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ И СРЕДСТВА

Л. М. МЕШМАН, В. А. БЫЛИНКИН,
Ю. И. ГОРБАНЬ, М. Ю. ГОРБАНЬ, К. Ю. ФОКИЧЕВА
Актуальные проблемы навигации на очаг пожара
пожарных роботизированных стволов
в роботизированных установках пожаротушения.
Часть 3. Программы управления ПРС при тушении
строчными струями с учетом компоновки ПРС
относительно очага пожара

ВОПРОС – ОТВЕТ

А. С. ХАРЛАМЕНКОВ
Маркировка кабельных линий и электрических щитов

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

GENERAL QUESTIONS OF COMPLEX SAFETY

A. A. PANOV, S. YU. ZHURAVLEV, YU. YU. ZHURAVLEV
Independent risk assessment and initial data
for calculation of fire risk in public buildings,
constructions and fire divisions of different classes
of functional fire hazard

COMBUSTION, DETONATION AND EXPLOSION PROCESSES

S. V. PUZACH, O. B. BOLDRUSHKIEV
Defining the specific formation coefficient and the critical
partial density of hydrogen cyanide and carbon monoxide at
the fire indoors

SAFETY OF SUBSTANCES AND MATERIALS

V. V. BOGDANOVA, O. N. BURAYA, M. M. TIKHONOV
Development of a flame retardant hard sprayed polyurethane
foam and the study of its physicochemical, fire retardant
and fire extinguishing properties

A. V. IVANOV, A. A. BOEVA,
F. A. DEMENTYEV, A. A. RYABOV
Modification of intumescent coatings using
multilayer carbon nanotubes: physico-technological
principles and method of application on the pipeline
transport facilities

MATHEMATICAL MODELING, NUMERICAL METHODS AND PROGRAM COMPLEXES

B. B. GRINCHENKO, N. G. TOPOLSKIY, D. V. TARAKANOV
Information resources to support safety management of
work in unsuitable for breathing environment

SAFETY OF BUILDINGS, STRUCTURES, OBJECTS

V. I. GOLOVANOV, A. V. PEKHOTIKOV,
N. S. NOVIKOV, V. V. PAVLOV, E. V. KUZNETSOVA
Fire resistance of reinforced concrete tubings
of underground structures with polypropylene fiber

AUTOMATED SYSTEMS AND MEANS

L. M. MESHMAN, V. A. BYLINKIN,
Yu. I. GORBAN, M. Yu. GORBAN, K. Yu. FOKICHEVA
Actual problems of positioning of the robotic monitors
to fire area in robotic fire suppression systems.
Part 3. RFM operating programs
for fire extinguishing with scanning streams
considering RFMs positioning
to fire area

QUESTION – ANSWER

A. S. KHARLAMENKOV
Labeling of cable lines and electric panels

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.



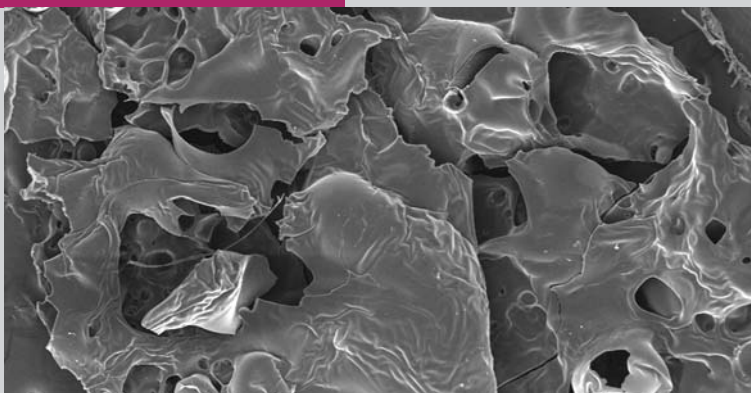
Конференция "Огнезащита материалов и конструкций"

Стр. 6



Стр. 9

Независимая оценка риска и исходные данные для его расчета



Разработка трудногорючего жесткого напыляемого пенополиуретана

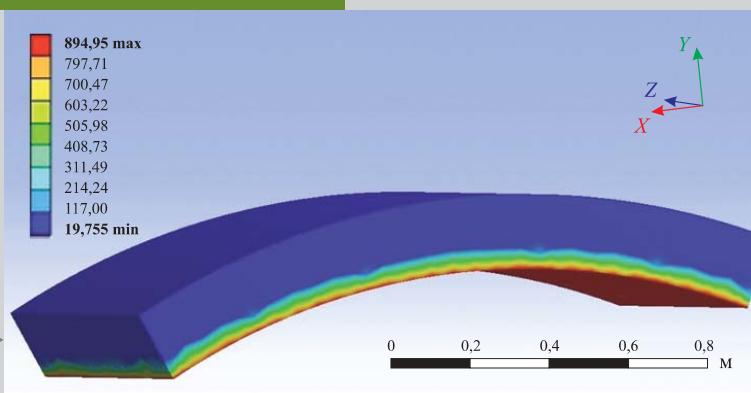
Стр. 27



Стр. 51

Управление безопасностью работ в непригодной для дыхания среде

Стр. 60



Огнестойкость железобетонных туннелей подземных сооружений



**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

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

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

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

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

Signed for printing 15.10.2019.

Date of publication 25.10.2019.

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)

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
MVK
Международная
Выставочная
Компания

+7 (861) 200-12-50, 200-12-34
securexpo@mvk.ru

ОДНОВРЕМЕННО С ВЫСТАВКОЙ

YugBuild

Первый 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, к. в. н., доцент

Технические секретари:

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

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
8(926) 595-13-21.

В Санкт-Петербурге:

Зыбина Ольга Александровна
8(905) 207-24-79.

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.

Независимая оценка риска и исходные данные для расчета пожарного риска в общественных зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности

© А. А. Панов¹, С. Ю. Журавлев², Ю. Ю. Журавлев^{2✉}

¹ Департамент надзорной деятельности и профилактической работы МЧС России (Россия, 121357, г. Москва, ул. Ватутина, 1)

² ООО «НИЭЦ ПБ» (Россия, 129343, г. Москва, ул. Докукина, 8, стр. 2, офис 314)

РЕЗЮМЕ

Введение. Техническое регулирование — основной инструмент обеспечения безопасности на всех стадиях жизненного цикла объекта (здания, сооружения). В настоящий момент положения нормативных документов, регламентирующих расчеты пожарного риска, нуждаются в актуализации и уточнении.

Независимая оценка риска и исходные данные для его расчета. Планирование проверок органами надзорной деятельности МЧС России осуществляется в зависимости от присвоенной объекту защиты категории риска с соответствующей данной категории периодичностью. Расчет по оценке пожарного риска подлежит проверке должностным лицом органа государственного пожарного надзора исключительно в рамках проведения плановой (внеплановой) проверки в соответствии с п. 63 Административного регламента, а именно проверки исходных данных, используемых при расчете риска. Ведомственные нормы и рекомендации обеспечивают стандартную базу (структуру отчета), основанную на оценке риска, которая учитывает различные требования к современному проектированию и отражает требования закона о дискриминации по признаку инвалидности в отношении принципов инклюзивного проектирования. В то же время следует особо отметить тот факт, что вышеуказанные ведомственные нормы и рекомендации, несмотря на их практическую значимость, не отражают вопроса применения исходных данных в практических целях и не могут служить тем задачам, что ставит перед собой современность.

Выводы. Особенность проведения расчетов заключается прежде всего в необходимости представления таковых на конкретный объект капитального строительства с использованием исходных данных, которые позволят корректно выполнить расчет, а инспектору МЧС — проверить его. Вопрос конкретизации исходных данных в расчетах пожарного риска, не раз применяемых на различных объектах защиты, представляется целесообразным отразить в соответствующих нормативных документах, что в значительной степени будет способствовать улучшению фактической безопасности людей и корректному проведению расчетов.

Ключевые слова: пожарная безопасность; проверки; проведение расчетов; проектирование и эксплуатация объектов защиты; надзор; специальные технические условия.

Для цитирования: 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 // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2019. — Т. 28, № 5. — С. 9–18. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.05.9-18.

✉ Журавлев Юрий Юрьевич, e-mail: zhur001@mail.ru

Independent risk assessment and initial data for calculation of fire risk in public buildings, constructions and fire divisions of different classes of functional fire hazard

© Alexey A. Panov¹, Sergey Yu. Zhuravlev², Yuri Yu. Zhuravlev^{2✉}

¹ Department for Supervision Activities and Preventive Work of Emercom of Russia (Vatutina St., 1, Moscow, 121357, Russian Federation)

² NIEC PB LLC (Dokukina St., 8, bldg. 2, office 314, Moscow, 129343, Russian Federation)

ABSTRACT

Introduction. Technical regulation is the main tool for ensuring safety at all stages of the life cycle of an object (building, structure). Currently, the provisions of regulatory documents governing fire risk calculations need to be updated and clarified.

Independent risk assessment and baseline data for calculating risk. The planning of inspections by the supervisory authorities of the Emercom of Russia is carried out depending on the frequency category assigned to the object of protection with the frequency appropriate for this category. The calculation of the fire risk assessment is subject to verification by an official of the state fire supervision authority exclusively within the framework of a scheduled (unscheduled) inspection in accordance with paragraph 63 of the Administrative Regulation, namely, verification of the source data used in calculating the risk. Departmental norms and recommendations provide a standard basis (report structure) based on risk assessment, which takes into account various requirements for modern design and reflects the requirements of the law on discrimination on the basis of disability in relation to the principles of inclusive design. At the same time, it should be emphasized that the above departmental norms and recommendations, despite their practical significance, do not reflect the issue of source data for practical purposes and cannot serve the tasks posed by modernity.

Conclusion. The peculiarity of the calculations consists primarily in the need to submit those to a specific capital construction object, using the source data, which will allow the calculation to be carried out correctly and allow the Ministry of Emergency Situations inspector to verify the calculation. The issue of specifying the initial data in fire risk calculations, which are used more than once at various protection facilities, seems appropriate to be reflected in the relevant regulatory documents, which will greatly contribute to improving the actual safety of people and the correct calculation.

Keywords: fire safety; inspections; calculations; design and operation of protection objects; supervision; special technical conditions.

For citation: A. A. Panov, S. Yu. Zhuravlev, Yu. Yu. Zhuravlev. Independent risk assessment and initial data for calculation of fire risk in public buildings, constructions and fire divisions of different classes of functional fire hazard. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2019, vol. 28, no. 5, pp. 9–18 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2019.28.05.9-18.

✉ Yuri Yurevich Zhuravlev, e-mail: zhur001@mail.ru

Введение

Техническое регулирование — основной инструмент обеспечения безопасности на всех стадиях жизненного цикла объекта (здания, сооружения). посредством применения новых передовых технологических решений, современных строительных материалов, конструкций и подходов к организации строительства техническое регулирование также оказывает решающее влияние на динамику развития строительной отрасли в целом и обеспечения пожарной безопасности в частности.

Усиливающаяся конкуренция между отечественными и иностранными компаниями, между компаниями на внутреннем рынке, а также быстрое развитие технологий дали толчок активному развитию программного обеспечения, регулирующего вопрос расчета величин пожарного риска.

Основными движущими силами внедрения инноваций в строительстве выступают научные изыскания, новые схемные и технологические решения, а также совершенствование нормативных требований, что приводит к структурным изменениям на предприятиях и отрасли в целом. Кроме того, анализ зарубежной нормативной документации [1–14] показывает целесообразность конкретизации требований и правил, направленных на расширение методов и форм оценки пожарного риска на территории Российской Федерации.

Целью настоящей статьи является определение необходимого минимального перечня исходных данных для расчета величины пожарного риска и независимой оценки пожарного риска в соответствии с требованиями Федерального закона № 123-ФЗ “Тех-

нический регламент о требованиях пожарной безопасности” (далее — ФЗ № 123) [15] и нормативно-правовыми актами Российской Федерации, регламентирующими проведение оценки пожарного риска.

Независимая оценка риска и исходные данные для расчета риска

Оценка пожарного риска осуществляется путем определения расчетных величин пожарного риска на объекте защиты и сопоставления их с соответствующими нормативными значениями пожарных рисков, установленными в ФЗ № 123 [15]. Расчетная величина пожарного риска является количественной мерой возможности реализации пожарной опасности объекта защиты и ее последствий для людей и материальных ценностей.

Расчет пожарных рисков для общественных зданий проводится в соответствии с Методикой, утвержденной приказом МЧС России № 382 [16] (далее — Методика), с учетом изменений [17].

При этом в соответствии со ст. 6.1 Федерального закона № 69-ФЗ “О пожарной безопасности” [18] и с Положением о федеральном государственном пожарном надзоре [19] планирование проверок органами надзорной деятельности МЧС России осуществляется в зависимости от присвоенной объекту защиты категории риска с соответствующей данной категории периодичностью.

Выполнение (невыполнение) условий соответствия объекта защиты требованиям пожарной безопасности, определяемое путем независимой оценки пожарного риска, учитывается надзорными органами как динамический показатель отнесения

объекта защиты к определенной категории риска и позволяет перейти в категорию более низкой (высокой) опасности, в соответствии с которой на объекте защиты планируется проведение плановой проверки с момента окончания последней плановой проверки, ввода объекта защиты в эксплуатацию или изменения класса его функциональной пожарной опасности.

Таким образом, проведение независимой оценки пожарного риска не освобождает объект защиты от проверки, а лишь влияет на периодичность ее проведения.

В связи с этим в соответствии с п. 48 Административного регламента исполнения государственной функции по надзору за выполнением требований пожарной безопасности [20] (далее — Административный регламент) в случае принятия заключения независимой оценки пожарного риска до утверждения ежегодного плана в отношении таких объектов защиты проверки планируются по истечении срока, установленного для данного объекта защиты в зависимости от присвоенной ему категории риска с даты последней плановой проверки.

При учете копий заключений о независимой оценке пожарного риска, поступивших в орган государственного пожарного надзора, в соответствии с п. 36 Административного регламента МЧС России предоставления государственной услуги по приему копий заключений о независимой оценке пожарного риска [21] проверяется их соответствие требованиям Правил оценки соответствия объектов защиты (продукции) установленным требованиям пожарной безопасности путем независимой оценки пожарного риска [22].

Одновременно с этим в соответствии с данными Правилами [22] проведение независимой оценки пожарного риска экспертом включает в себя в том числе обследование объекта защиты для получения объективной информации о состоянии пожарной безопасности объекта защиты и соблюдении противопожарного режима, выявления возможности возникновения и развития пожара, воздействия на людей и материальные ценности опасных факторов пожара (ОФП), а также определение наличия условий соответствия объекта защиты требованиям пожарной безопасности.

Таким образом, собственником (правообладателем) должны соблюдаться все положения нормативных документов по пожарной безопасности, предъявляемые к конкретному объекту защиты. Проведение независимой оценки пожарного риска на объекте защиты не дает правовых оснований для несоблюдения установленных требований пожарной безопасности.

Нарушение экспертом в области оценки пожарного риска порядка проведения независимой оцен-

ки пожарного риска либо дача им заведомо ложного заключения о независимой оценке пожарного риска влечет за собой административную ответственность в соответствии с ч. 9 ст. 20.4 Кодекса Российской Федерации об административных правонарушениях.

В случае проведения расчета по оценке пожарного риска, подтверждающего выполнение условий соответствия объекта защиты требованиям пожарной безопасности, данный расчет подлежит проверке должностным лицом органа государственного пожарного надзора исключительно в рамках плановой (внеплановой) проверки в соответствии с п. 63 Административного регламента [20].

При установлении в ходе проверки несоответствия расчета по оценке пожарного риска на объекте защиты предъявляемым требованиям плановая проверка продолжается с проведением проверки выполнения требований пожарной безопасности, установленных федеральными законами о технических регламентах, и с вынесением мотивированного решения лица (лиц), проводящего (проводящих) проверку, о непринятии результатов расчета по оценке пожарного риска на объекте защиты, в котором указываются причины несоответствия расчета по оценке пожарного риска предъявляемым требованиям.

В соответствии с п. 5 Правил проведения расчетов по оценке пожарного риска [23] (далее — Правила) определение расчетных величин пожарного риска проводится по методикам, утвержденным МЧС России.

Согласно п. 63 Административного регламента [20] в случае проведения расчета по оценке пожарного риска для объекта защиты проверяется:

- соответствие исходных данных, применяемых в расчете, фактическим данным, полученным в ходе обследования объекта;
- соответствие отчета требованиям, установленным Правилами [23].

В соответствии с п. 7 Правил [23] к оформлению отчета предъявляются следующие требования:

- а) наименование использованной методики;
- б) описание объекта защиты, в отношении которого проведен расчет по оценке пожарного риска;
- в) результаты проведения расчетов по оценке пожарного риска;
- г) перечень исходных данных и используемых справочных источников информации;
- д) вывод об условиях соответствия (несоответствия) объекта защиты требованиям пожарной безопасности*.

* Проверяется наличие и правильность изложенного в отчете вывода о выполнении условий соответствия требованиям пожарной безопасности, при которых пожарная безопасность объекта защиты в соответствии с п. 1 ч. 1 ст. 6 ФЗ № 123-ФЗ [15] считается обеспеченной.

С учетом вышеизложенного структура расчета пожарного риска в обязательном порядке должна содержать разделы, соответствующие Правилам [23]. При этом каждый раздел должен включать необходимую информацию, представленную по каждому из пунктов.

В настоящее время возникают споры по составлению перечня исходных данных, используемых в расчете, так как в рамках действия Административного регламента [20] инспектором государственного пожарного надзора МЧС России может быть проверен только указанный перечень исходных данных расчета по оценке пожарного риска и оформление отчета.

В связи с этим при проведении расчета пожарного риска к исходным данным следует относить информацию, необходимую:

а) для определения численных значений коэффициентов, входящих в формулу для расчета пожарного риска;

б) для выбора и формулировки рассматриваемых сценариев развития пожара и эвакуации людей;

в) для определения времени начала эвакуации.

Указанные данные включают в себя не только характеристики объекта, но и справочную информацию из нормативной, научной и методической литературы, которая используется при проведении расчета риска [24–49], и других источников при необходимости обоснования применения их при проведении расчета риска.

Теперь остановимся на каждом из приведенных пунктов отдельно.

Под информацией, изложенной в пункте “а” (за исключением классов функциональной пожарной опасности Ф1.1, Ф1.3, Ф1.4), подразумевается:

- частота возникновения пожара в здании $Q_{п\ i}$ в течение года, определяемая на основе статистических данных, приведенных в приложении № 1 к Методике [16] (за исключением объектов, для которых отсутствует статистическая информация; для них допускается принимать $Q_{п\ i} = 4 \cdot 10^{-2}$ для каждого здания);
- коэффициент $K_{ап\ i}$, учитывающий соответствие установок автоматического пожаротушения требованиям нормативных документов по пожарной безопасности;
- вероятность присутствия людей в здании $P_{пр\ i}$;
- вероятность эвакуации людей $P_{э\ i}$, которая включает в себя:
 - расчетное время эвакуации людей t_p , мин;
 - время начала эвакуации $t_{нэ}$ (интервал времени с момента возникновения пожара до начала эвакуации людей), мин;
 - время с момента начала пожара до блокирования эвакуационных путей $t_{бл}$ в результате

распространения на них ОФП, имеющих предельно допустимые для людей значения (время блокирования путей эвакуации), мин;

- время существования скоплений людей на участках пути $t_{ск}$ (плотность людского потока на путях эвакуации превышает $0,5 \text{ м}^2/\text{м}^2$);
- коэффициент $K_{п.з\ i}$, который учитывает соответствие системы противопожарной защиты, направленной на обеспечение безопасной эвакуации людей при пожаре, требованиям нормативных документов по пожарной безопасности и в свою очередь включает в себя:
 - коэффициент $K_{обн\ i}$, учитывающий соответствие системы пожарной сигнализации требованиям нормативных документов по пожарной безопасности;
 - коэффициент $K_{соуэ\ i}$, учитывающий соответствие системы оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией людей требованиям нормативных документов по пожарной безопасности;
 - коэффициент $K_{пдз\ i}$, учитывающий соответствие системы противоподымной защиты требованиям нормативных документов по пожарной безопасности.

Под информацией, изложенной в пункте “а” для классов функциональной пожарной опасности Ф1.1, Ф1.3, Ф1.4, подразумевается:

- частота возникновения пожара в здании в течение года $Q_{п\ i}$, определяемая на основе статистических данных, приведенных в приложении № 1 к Методике [16];
- вероятность спасения людей $P_{сп\ i}$, которая в свою очередь включает:
 - коэффициент $K_{п.з\ i}$, учитывающий соответствие системы противопожарной защиты, направленной на обеспечение безопасной эвакуации людей при пожаре, требованиям нормативных документов по пожарной безопасности;
 - коэффициент $K_{ФПС\ i}$, учитывающий дислокацию подразделений пожарной охраны на территории поселений и городских округов;
 - коэффициент $K_{ф\ i}$, учитывающий класс функциональной пожарной опасности здания;
- вероятность эвакуации людей $P_{э\ i}$, которая в свою очередь включает:
 - расчетное время эвакуации людей, мин;
 - время начала эвакуации $t_{нэ}$ (интервал времени с момента возникновения пожара до начала эвакуации людей);
 - время с момента начала пожара до блокирования эвакуационных путей $t_{бл}$ в результате распространения на них ОФП, имеющих предельно допустимые для людей значения (время блокирования путей эвакуации), мин;

- время существования скоплений людей на участках пути $t_{\text{ск}}$ (плотность людского потока на путях эвакуации превышает $0,5 \text{ м}^2/\text{м}^2$);
- общее количество людей $N_{\Sigma i}$, эвакуирующихся в рассматриваемом сценарии;
- количество неэвакуировавшихся людей $N_{\text{неэв } i}$;
- коэффициент $K_{\phi i}$, учитывающий соответствие путей эвакуации требованиям нормативных документов по пожарной безопасности.

Под информацией, изложенной в пункте “б”, подразумевается:

- объемно-планировочные решения, а именно поэтажные планировки (приложенные как подложка для программы по расчету пожарного риска или как приложение к расчету пожарного риска, входящего в состав расчета, которые могут включать в себя нанесенные на поэтажные планы расстановку оборудования (технологии) при фактическом наличии данного оборудования (технологии)*);
- разрез(ы) (в случае их наличия) или описательную часть высоты здания в целом и этажей в частности, принятую в расчете;
- вид, площадь и размещение горючих веществ и материалов с описанием их пожарной нагрузки согласно справочным источникам информации;
- количество людей с указанием их группы мобильности, принятой в расчете;
- выбор математической модели для моделирования динамики развития пожара;
- выбор математической модели для моделирования эвакуации людей из здания при пожаре.

Под информацией, изложенной в пункте “в”, подразумевается:

* В случае проведения расчета пожарного риска для проектируемого объекта данной информации (исходных данных) может не быть, поэтому наличие этой информации более актуально для эксплуатируемых объектов. При этом под оборудованием следует понимать фактическое расположение мебели, стеллажей, оборудования и т. д.

- время начала эвакуации $t_{\text{нэ(с)}}$ для помещения очага пожара;
- время начала эвакуации $t_{\text{нэ(с)}}$ для остальных помещений с указанием типа системы оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре.

Кроме того, если расчетом пожарного риска снимаются требования добровольных документов (Сводов правил по пожарной безопасности), изданных в развитие ФЗ № 123 [15], то следует указать перечень отступлений со ссылкой на конкретные пункты.

Вместе с тем в специальных технических условиях (СТУ) по обеспечению пожарной безопасности объекта защиты при наличии отступлений от требований нормативных документов по пожарной безопасности расчет пожарного риска должен являться их обязательной составной частью. В этом случае расчет пожарного риска подтверждает принятые в СТУ предпроектные решения. Перечень исходных данных, используемых при расчете, также должен включать пункты СТУ (в случае их наличия), а экспертный совет МЧС России, который рассматривает данные СТУ, вправе проверить перечень исходных данных, указанных в расчете. При этом отдельное согласование расчета пожарного риска не требуется.

Выводы

Проведенное исследование позволило определить перечень исходных данных, используемых при расчете пожарного риска для объектов общественного назначения.

Полученные результаты будут способствовать улучшению качества разработки расчетов пожарного риска, а также упростят для государственного пожарного надзора МЧС России проверку расчета пожарного риска и обоснование отказа (в случае необходимости) как в ходе плановой (внеплановой) проверки, так и в случае предоставления расчета величины пожарного риска при согласовании СТУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. BS 7974:2019. Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Code of practice. — London, UK : British Standards Institution, 2019. — 34 p.
2. PD 7974-1:2019. Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Part 1: Initiation and development of fire within the enclosure of origin (Sub-system 1). — London, UK : British Standards Institution, 2019. — 48 p.
3. PD 7974-2:2019. Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Part 2: Spread of smoke and toxic gases within and beyond the enclosure of origin (Sub-system 2). — London, UK : British Standards Institution, 2019. — 58 p.
4. PD 7974-3:2019. Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Part 3: Structural response to fire and fire spread beyond the enclosure of origin (Sub-system 3). — London, UK : British Standards Institution, 2019. — 128 p.
5. PD 7974-4:2003. Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Part 4: Detection of fire and activation of fire protection systems (Sub-system 4). — London, UK : British Standards Institution, 2003. — 44 p.

6. PD 7974-5:2014. Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Part 5: Fire and rescue service intervention (Sub-system 5). — London, UK : British Standards Institution, 2014. — 62 p.
7. PD 7974-6:2019. Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Part 6: Human factors. Life safety strategies. Occupant evacuation, behaviour and condition (Sub-system 6). — London, UK : British Standards Institution, 2019. — 116 p.
8. PD 7974-7:2019. Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Part 7: Probabilistic fire risk assessment. — London, UK : British Standards Institution, 2019. — 52 p.
9. BS 9999:2017. Fire safety in the design, management and use of buildings. Code of practice. — London, UK : British Standards Institution, 2017. — 418 p.
10. NFPA 551. Guide for the Evaluation of Fire Risk Assessments. — Quincy : National Fire Protection Association, 2016.
11. NFPA 550. Guide to the Fire Safety Concepts Tree. — Quincy : National Fire Protection Association, 2017. — 24 p.
12. NFPA 101A. Guide on alternative approaches to life safety. — Quincy : National Fire Protection Association, 2016.
13. NFPA 101. Life safety code. — Quincy : National Fire Protection Association, 2018. — 568 p.
14. SFPE G.04.2006. Engineering Guide. Fire Risk Assessment. — Bethesda, MD : Society of Fire Protection Engineers, 2006.
15. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон РФ от 22.07.2008 № 123-ФЗ (в ред. от 29.07.2017). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения: 15.01.2018).
16. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности : приказ МЧС России от 30.06.2009 № 382 (ред. от 02.12.2015). URL: <http://base.garant.ru/12169057/> (дата обращения: 10.03.2019).
17. О внесении изменений в приказ МЧС России от 30.06.2009 № 382 : приказ МЧС России от 02.12.2015 № 632. URL: <http://ivo.garant.ru/#/document/71296390/paragraph/1:0> (дата обращения: 10.03.2019).
18. О пожарной безопасности : Федер. закон РФ от 21.12.1994 № 69-ФЗ (в ред. от 28.05.2017). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5438/ (дата обращения: 15.03.2019).
19. Положение о федеральном государственном пожарном надзоре : утв. постановлением Правительства РФ от 12.04.2012 № 290. URL: rg.ru/2012/04/24/gospozhnadzor-dok.html (дата обращения: 15.03.2019).
20. Административный регламент Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий исполнения государственной функции по надзору за выполнением требований пожарной безопасности : утв. приказом МЧС России от 30.11.2016 № 644. URL: rg.ru/2017/01/17/mchs-prikaz644-site-dok.html (дата обращения: 15.03.2019).
21. Административный регламент Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий предоставления государственной услуги по приему копий заключений о независимой оценке пожарного риска : утв. приказом МЧС России от 29.07.2015 № 405 (ред. от 20.05.2016). URL: <http://base.garant.ru/71173782/#ixzz5xnlAj64l> (дата обращения: 15.03.2019).
22. Правила оценки соответствия объектов защиты (продукции) установленным требованиям пожарной безопасности путем независимой оценки пожарного риска : утв. постановлением Правительства РФ от 07.04.2009 № 304 (ред. от 29.06.2018). URL: <http://base.garant.ru/195284/#ixzz5xnoRZqjR> (дата обращения: 15.03.2019).
23. Правила проведения расчетов по оценке пожарного риска : постановление Правительства РФ от 31.03.2009 № 272 // РГ. — Федер. вып. № 4884 от 08.04.2009. URL: www.rg.ru/2009/04/08/pozhar-risk-dok.html (дата обращения: 15.03.2019).
24. Холщевников В. В., Самошин Д. А. Эвакуация и поведение людей при пожарах. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2009. — 212 с.
25. Айбуев З. С.-А., Исаевич И. И., Медяник М. В. Свободное движение людей в потоке и проблемы индивидуально-поточного моделирования // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2015. — Т. 24, № 6. — С. 66–73.
26. Карпов В. Л., Медяник М. В. О необходимости реализации процесса превентивного спасения людей при пожаре в уникальных высотных зданиях // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2017. — Т. 26, № 8. — С. 25–30. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.08.25-30.
27. Kuligowski E. D., Peacock R. D. A review of building evacuation models / National Institute of Standards and Technology // Technical Note 1471. — Washington : U. S. Department of Commerce, 2005. — 156 p. URL: https://ws680.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=902501 (дата обращения: 20.03.2019).

28. Guan Heng Yeoh, Kwok Kit Yuen (eds.). Computational fluid dynamics in fire engineering: theory, modelling and practice. — Oxford : Butterworth-Heinemann, 2009. — 544 p. DOI: 10.1016/B978-0-7506-8589-4.X0001-4.
29. Hermes. Investigation of an evacuation assistant for use in emergencies during large-scale public events, Institute for Advanced Simulation (IAS), 2011. URL: https://www.fz-juelich.de/ias/jsc/EN/Research/ModellingSimulation/CivilSecurityTraffic/Projects/Hermes/_node.html (дата обращения: 25.03.2019).
30. Schadschneider A., Klingsch W., Klüpfel H., Kretz T., Rogsch C., Seyfried A. Evacuation dynamics: empirical results, modeling and applications // Encyclopedia of Complexity and System Science / Meyers R. (ed.). — New York : Springer, 2009. — P. 3142–3176. DOI: 10.1007/978-0-387-30440-3_187.
31. Frantzych H., Nilsson D. Evacuation experiments in a smoke filled tunnel // Third International Symposium on Human Behaviour in Fire (Belfast, United Kingdom, 1–3 September 2004). — P. 229–238.
32. Kang K. A smoke model and its application for smoke management in an underground mass transit station // Fire Safety Journal. — 2007. — Vol. 42, Issue 3. — P. 218–231. DOI: 10.1016/j.firesaf.2006.10.003.
33. Hanea D. M. Human risk of fire: Building a decision support tool using Bayesian networks. — Netherlands : Wöhrmann Print Service, 2009. — 227 p. URL: [file:///F:/Fire %20Journal/2019/04'%202019/Work%2004'2019/Hanea_PhDThesis.pdf](file:///F:/Fire%20Journal/2019/04'%202019/Work%2004'2019/Hanea_PhDThesis.pdf) (дата обращения: 25.03.2019).
34. 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 No. 01037. — 11 p. DOI: 10.1051/mateconf/201710601037.
35. Medyanik M., Zosimova O. Key problems of fire safety enforcement in traffic and communication centers (TCC) // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — 2017. — Vol. 90, Article No. 012151. DOI: 10.1088/1755-1315/90/1/012151.
36. Рыжов А. М., Хасанов И. Р., Карпов А. В., Волков А. В., Лицкевич В. В., Дектерев А. А. Применение полевого метода математического моделирования пожаров в помещениях : метод. реком. — М. : ВНИИПО МЧС России, 2003. — 46 с.
37. Серебренников Д. С., Литвинцев К. Ю. Обзор моделей распространения дыма и определения дальности видимости // Технологии техносферной безопасности. — 2011. — № 1(35). — 6 с. URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2011-1/06-01-11.ttb.pdf> (дата обращения: 25.05.2019).
38. Пособие по применению “Методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности”. — 2-е изд., испр. и доп. / А. А. Абашкин, А. В. Карпов, Д. В. Ушаков, М. В. Фомин, А. Н. Гилетич, П. М. Комков, Д. А. Самошин. — М. : ВНИИПО, 2014. — 226 с.
39. Поведение / Большой энциклопедический словарь. — М. : Большая российская энциклопедия, 2002.
40. Предтеченский В. М., Милинский А. И. Проектирование зданий с учетом организации движения людских потоков. — 2-е изд., доп. и перераб. — М. : Стройиздат, 1979. — 375 с.
41. Холицевников В. В. Исследования людских потоков и методология нормирования эвакуации людей из зданий при пожаре. — М. : МИПБ МВД России, 1999. — 91 с.
42. Кирюханцев Е. Е., Холицевников В. В., Шурин Е. Т. Проблемы обеспечения безопасности эвакуации инвалидов при пожаре // Безопасность людей при пожаре : сб. статей. — М. : ВИПТШ МВД РФ, 1994.
43. Холицевников В. В., Самошин Д. А., Исаевич И. И. Натурные наблюдения людских потоков. — М. : Академия МЧС России, 2009. — 191 с.
44. Бернштейн Н. А. Физиология движений и активность. — М. : Наука, 1990. — 496 с.
45. Ольшанский Д. В. Психология масс. — СПб. : Питер, 2002. — 368 с.
46. 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.
47. Анохин П. К. Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем. — М. : Директ-Медиа, 2008. — 131 с.
48. Гумбель Э. Статистика экстремальных значений / Пер. с англ. — М. : Мир, 1965. — 451 с.
49. 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 // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2019. — Т. 28, № 4. — С. 6–14. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.04.6-14.

REFERENCES

1. BS 7974:2019. *Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Code of practice*. London, UK, British Standards Institution, 2019. 34 p.

2. PD 7974-1:2019. *Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Part 1: Initiation and development of fire within the enclosure of origin (Sub-system 1)*. London, UK, British Standards Institution, 2019. 48 p.
3. PD 7974-2:2019. *Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Part 2: Spread of smoke and toxic gases within and beyond the enclosure of origin (Sub-system 2)*. London, UK, British Standards Institution, 2019. 58 p.
4. PD 7974-3:2019. *Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Part 3: Structural response to fire and fire spread beyond the enclosure of origin (Sub-system 3)*. London, UK, British Standards Institution, 2019. 128 p.
5. PD 7974-4:2003. *Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Part 4: Detection of fire and activation of fire protection systems (Sub-system 4)*. London, UK, British Standards Institution, 2003. 44 p.
6. PD 7974-5:2014. *Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Part 5: Fire and rescue service intervention (Sub-system 5)*. London, UK, British Standards Institution, 2014. 62 p.
7. PD 7974-6:2019. *Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Part 6: Human factors. Life safety strategies. Occupant evacuation, behaviour and condition (Sub-system 6)*. London, UK, British Standards Institution, 2019. 116 p.
8. PD 7974-7:2019. *Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Part 7: Probabilistic fire risk assessment*. London, UK, British Standards Institution, 2019. 52 p.
9. BS 9999:2017. *Fire safety in the design, management and use of buildings. Code of practice*. London, UK, British Standards Institution, 2017. 418 p.
10. NFPA 551. *Guide for the evaluation of fire risk assessments*. Quincy, National Fire Protection Association, 2016.
11. NFPA 550. *Guide to the fire safety concepts tree*. Quincy, National Fire Protection Association, 2017. 24 p.
12. NFPA 101A. *Guide on alternative approaches to life safety*. Quincy, National Fire Protection Association, 2016.
13. NFPA 101. *Life safety code*. Quincy, National Fire Protection Association, 2018. 568 p.
14. SFPE G.04.2006. *Engineering Guide. Fire Risk Assessment*. Bethesda, MD, Society of Fire Protection Engineers, 2006.
15. *Technical regulations for fire safety requirements*. Federal Law of the Russian Federation on 22 July 2008 No. 123-FZ (ed. on 29 July 2017) (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (Accessed 15 January 2019).
16. *Methodology for fire risk determining in buildings and structures of different fire danger*. Order of Emercom of Russian Federation on 30 June 2009 No. 382 (ed. on 2 December 2015) (in Russian). Available at: <http://base.garant.ru/12169057/> (Accessed 10 March 2019).
17. *On amendments to the Order of the Emercom of Russia on 30 June 2009 No. 382*. Order of Emercom of Russia on 2 December 2015 No. 632 (in Russian). Available at: <http://ivo.garant.ru/#/document/71296390/paragraph/1:0> (Accessed 10 March 2019).
18. *On fire safety*. Federal Law of the Russian Federation on 21 December 1994 No. 69-FZ (ed. on 28 May 2017) (in Russian). Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5438/ (Accessed 15 March 2019).
19. *Regulation on the Federal State Fire Supervision*. Decree of the Government of the Russian Federation on 12 April 2012 No. 290 (in Russian). Available at: rg.ru/2012/04/24/gospozhnadzor-dok.html (Accessed 15 March 2019).
20. *Administrative Regulation of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Disaster Management of the State Function for Supervising the Implementation of Fire Safety Requirements*. Order of Emercom of Russia on 30 November 2016 No. 644 (in Russian). Available at: rg.ru/2017/01/17/mchs-prikaz644-site-dok.html (Accessed 15 March 2019).
21. *Administrative Regulation of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Disaster Management for the provision of public services for the receipt of copies of conclusions on an independent fire risk assessment*. Order of Emercom of Russia on 29 July 2015 No. 405 (ed. on 20 May 2016) (in Russian). Available at: <http://base.garant.ru/71173782/#ixzz5xnlAj64l> (Accessed 15 March 2019).
22. *Rules for assessing compliance of objects of protection (products) with established fire safety requirements by an independent assessment of fire risk*. Decree of the Government of the Russian Federation on 7 April 2009 No. 304 (ed. on 29 June 2018) (in Russian). Available at: <http://base.garant.ru/195284/#ixzz5xnoRZqjR> (Accessed 15 March 2019).
23. *Rules for the calculation of fire risk assessment*. Decree of the Government of the Russian Federation on 31 March 2009 No. 272 (in Russian). Available at: www.rg.ru/2009/04/08/pozhar-risk-dok.html (Accessed 15 March 2019).

24. V. V. Kholshchevnikov, D. A. Samoshin. *Evakuatsiya i povedeniye lyudey pri pozharakh* [Evacuation and behavior of people during fires]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2009. 212 p. (in Russian).
25. Aybuev Z. S.-A., Isaevich I. I., Medyanik M. V. Free movement of people in a stream and problems of individual and line modeling. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 6, pp. 66–73 (in Russian).
26. V. L. Karpov, M. V. Medyanik. About the necessity of realization of process of preventive rescue of people during the fire in a unique high-rise buildings. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 8, pp. 25–30 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.08.25-30.
27. E. D. Kuligowski, R. D. Peacock. *A review of building evacuation models*. National Institute of Standards and Technology. Technical Note 1471. Washington, U. S. Department of Commerce, 2005. 156 p. Available at: https://ws680.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=902501 (Accessed 20 May 2019).
28. Guan Heng Yeoh, Kwok Kit Yuen (eds.). *Computational fluid dynamics in fire engineering: theory, modelling and practice*. Oxford, Butterworth-Heinemann, 2009. 544 p. DOI: 10.1016/B978-0-7506-8589-4.X0001-4.
29. Hermes. *Investigation of an evacuation assistant for use in emergencies during large-scale public events*. Institute for Advanced Simulation (IAS), 2011. Available at: https://www.fz-juelich.de/ias/jsc/EN/Research/odellingSimulation/CivilSecurityTraffic/Projects/Hermes/_node.html (Accessed 25 May 2019).
30. A. Schadschneider, W. Klingsch, H. Klüpfel, T. Kretz, C. Rogsch, A. Seyfried. Evacuation dynamics: empirical results, modeling and applications. In: R. Meyers (ed.). *Encyclopedia of Complexity and System Science*. New York, Springer, 2009, pp. 3142–3176. DOI: 10.1007/978-0-387-30440-3_187.
31. H. Frantzich, D. Nilsson. Evacuation experiments in a smoke filled tunnel. In: *Proceedings of Third International Symposium on Human Behaviour in Fire*. Belfast, United Kingdom, 1–3 September, 2004, pp. 229–238.
32. K. Kang. A smoke model and its application for smoke management in an underground mass transit station. *Fire Safety Journal*, 2007, vol. 42, issue 3, pp. 218–231. DOI: 10.1016/j.firesaf.2006.10.003.
33. D. M. Hanea. *Human risk of fire: Building a decision support tool using Bayesian networks*. Netherlands, Wöhrmann Print Service, 2009. 227 p. Available at: [file:///F:/Fire %20Journal/2019/04%202019/Work%2004'2019/Hanea_PhDThesis.pdf](file:///F:/Fire%20Journal/2019/04%202019/Work%2004'2019/Hanea_PhDThesis.pdf) (Accessed 25 May 2019).
34. 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 no. 01037. 11 p. DOI: 10.1051/mateconf/201710601037.
35. M. Medyanik, O. Zosimova. Key problems of fire safety enforcement in traffic and communication centers (TCC). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2017, vol. 90, article no. 012151. DOI: 10.1088/1755-1315/90/1/012151.
36. A. M. Ryzhov, I. R. Khasanov, A. V. Karpov, A. V. Volkov, V. V. Litskevich, A. A. Dekterev. *Primeniye polevogo metoda matematicheskogo modelirovaniya pozharov v pomeshcheniyakh* [Application of the field method of mathematical modeling of fires in rooms]. Moscow, VNIPO Publ., 2003. 46 p. (in Russian).
37. D. S. Serebrennikov, K. Yu. Litvintsev. Overview of smoke propagation models and modeling smoke visibility. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti / Technology of Technosphere Safety*, 2011, no. 1(35). 6 p. (in Russian). Available at: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2011-1/06-01-11.ttb.pdf> (Accessed 25 May 2019).
38. A. A. Abashkin, A. V. Karpov, D. V. Ushakov, M. V. Fomin, A. N. Giletich, P. M. Komkov, D. A. Samoshin. *Posobiye po primeneniyu Metodiki opredeleniya raschetnykh velichin pozharnogo riska v zdaniyakh, sooruzheniyakh i stroeniyakh razlichnykh klassov funktsionalnoy pozharoy opasnosti* [Handbook on the application of Methods for determining the calculated values of fire risk in buildings, structures and structures of various classes of functional fire hazard]. 2nd ed. Moscow, VNIPO Publ., 2014. 226 p. (in Russian).
39. Behavior. In: *Bolshoy entsiklopedicheskiy slovar* [Big Encyclopedic Dictionary]. Moscow, Great Russian Encyclopedia Publ., 2002 (in Russian).
40. V. M. Predtechenskiy, A. I. Milinskiy. *Design of buildings taking into account organization of the movement of pedestrian flows*. 2nd ed. Moscow, Stroyizdat Publ., 1979. 375 p. (in Russian).
41. V. V. Kholshchevnikov. *Issledovaniya lyudskikh potokov i metodologiya normirovaniya evakuatsii lyudey iz zdaniy pri pozhare* [Research of human flows and the methodology of rationing the evacuation of people from buildings during a fire]. Moscow, Moscow Institute of Fire Safety of Ministry of the Interior of Russia Publ., 1999. 91 p. (in Russian).

42. E. E. Kiryukhantsev, V. V. Kholshchevnikov, E. T. Shurin. Problems of ensuring the safety of evacuation of disabled persons in a fire. In: *Bezopasnost lyudey pri pozharakh. Sbornik statey* [The safety of people during fires. Collected papers]. Moscow, High Engineering Fire Technical School of Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation, 1994 (in Russian).
43. V. V. Kholshchevnikov, D. A. Samoshin, I. I. Isaevich. *Naturnyye nablyudeniya lyudskikh potokov* [Natural observations of human flows]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia, 2009. 191 p. (in Russian).
44. N. A. Bernstein. *Fiziologiya dvizheniy i aktivnost* [Physiology of movements and activity]. Moscow, Nauka Publ., 1990. 496 p. (in Russian).
45. D. V. Olshanskiy. *Psikhologiya mass* [Psychology of the masses]. Saint Petersburg, Piter Publ., 2002. 368 p. (in Russian).
46. 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).
47. P. K. Anokhin. *Printsipialnyye voprosy obshchey teorii funktsionalnykh sistem* [Fundamental issues of the general theory of functional systems]. Moscow, Direkt-Media Publ., 2008. 131 p. (in Russian).
48. E. Gumbel. *Statistics of extremes*. New York, Columbia University Press, 1962 (Russ. ed.: E. Gumbel. Statistika ekstremalnykh znacheniy. Moscow, Mir Publ., 1965. 451 p.).
49. A. B. Sivenkov, S. Yu. Zhuravlev, Yu. Yu. Zhuravlev, M. V. Medyanik. About efficiency of application of fire-prevention doors in reduction of dangerous factors of the fire and size of fire risk in buildings and constructions of various functional purpose. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2019, vol. 28, no. 4, pp. 6–14 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2019.28.04.6-14.

Поступила 24.06.2019, после доработки 12.08.2019;
принята к публикации 10.09.2019

Received 24 June 2019; Received in revised form 12 August 2019;
Accepted 10 September 2019

Информация об авторах

ПАНОВ Алексей Алексеевич, канд. техн. наук, старший инспектор отдела нормативно-технического и перспективного развития пожарной безопасности, Департамент надзорной деятельности и профилактической работы МЧС России; г. Москва, Российская Федерация; ORCID: 0000-0003-1552-4918; e-mail: panovstu@gmail.com

ЖУРАВЛЕВ Сергей Юрьевич, канд. техн. наук, доцент, член-корреспондент НАНПБ; технический директор, ООО “НИЭЦ ПБ”; г. Москва, Российская Федерация; ORCID: 0000-0003-4390-3149; e-mail: zhur01@mail.ru

ЖУРАВЛЕВ Юрий Юрьевич, начальник нормативно-технического отдела, ООО “НИЭЦ ПБ”; г. Москва, Российская Федерация; ORCID: 0000-0001-8017-9642; e-mail: zhur001@mail.ru

Information about the authors

Alexey A. PANOV, Cand. Sci. (Eng.), Senior Inspector of Department for Regulatory and Technical and Prospective Development of Fire Safety, Department for Supervision Activities and Preventive Work, Emercom of Russia; Moscow, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-1552-4918; e-mail: panovstu@gmail.com

Sergey Yu. ZHURAVLEV, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, Member of the National Academy of Fire Safety Sciences; Technical Director, NIEC PB LLC, Moscow, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-4390-3149; e-mail: zhur01@mail.ru

Yuri Yu. ZHURAVLEV, Head of the Regulatory and Technical Department, NIEC PB LLC, Moscow, Russian Federation; ORCID: 0000-0001-8017-9642; e-mail: zhur001@mail.ru

Определение удельного коэффициента образования и критической парциальной плотности циановодорода и монооксида углерода при пожаре в помещении

© С. В. Пузач✉, О. Б. Болдрушкиев

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

РЕЗЮМЕ

Введение. Современные математические модели распространения токсичных газов используют значения удельных коэффициентов образования лишь трех газов, не рассматривая весь спектр токсичных газов, образующихся при горении синтетических материалов, поэтому экспериментальное исследование процесса образования циановодорода представляет собой актуальную задачу.

Цель и задачи. Целью статьи является разработка методики получения исходных данных по выделению циановодорода, необходимых для расчета времени блокирования путей эвакуации. Для ее достижения была обоснована величина критической концентрации циановодорода, модернизирована экспериментальная установка и проведены экспериментальные исследования парциальных плотностей циановодорода и монооксида углерода, а также удельных коэффициентов их выделения при горении современной кабельной продукции.

Методы. Используется экспериментальный метод исследования процесса образования циановодорода и монооксида углерода при горении образцов кабельной продукции в модернизированной малогабаритной экспериментальной установке. Проведен анализ полученных результатов.

Результаты. Обоснована критическая величина парциальной плотности циановодорода, представленная в нормативных документах, на основе анализа данных, приведенных в литературных источниках. Получены экспериментальные зависимости парциальных плотностей циановодорода и монооксида углерода, а также удельных коэффициентов их выделения от времени проведения испытаний. Показано, что в экспериментах парциальная плотность циановодорода достигает своего критического значения, что обосновывает необходимость расчета времени блокирования путей эвакуации с учетом циановодорода.

Заключение. Модернизация экспериментальной установки дает возможность получить экспериментальные зависимости парциальных плотностей циановодорода и монооксида углерода, а также удельных коэффициентов их выделения от времени. Это позволяет актуализировать (по HCN и CO) существующую базу данных типовой пожарной нагрузки и проводить расчет времени блокирования путей эвакуации при совместном воздействии вышеуказанных газов. При расчете пожарных рисков в случае горения современной кабельной продукции необходимо определять время блокирования путей эвакуации циановодородом.

Ключевые слова: токсичность; продукты горения; математическое моделирование; экспериментальная установка; критическая концентрация; терморазложение; изоляция кабеля.

Для цитирования: Пузач С. В., Болдрушкиев О. Б. Определение удельного коэффициента образования и критической парциальной плотности циановодорода и монооксида углерода при пожаре в помещении // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2019. — Т. 28, № 5. — С. 19–26. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.05.19-26.

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

Defining the specific formation coefficient and the critical partial density of hydrogen cyanide and carbon monoxide at the fire indoors

© Sergey V. Puzach✉, Ochir B. Boldrushkiev

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

ABSTRACT

Introduction. Modern mathematical models of the distribution of toxic gases use the values of specific coefficients of formation of only three gases. It is not considered the whole spectrum of toxic gases produced during the combustion of synthetic materials. Therefore, the experimental study of the process of hydrogen cyanide formation is an important task.

Aims and purposes. The purpose of this article is to develop a methodology for obtaining initial data on the release of hydrogen cyanide. These data are necessary to calculate the time of blocking evacuation ways. To achieve it, the value of the critical concentration of hydrogen cyanide was justified. The experimental unit was modernized and experimental studies of partial densities of hydrogen cyanide and carbon monoxide, as well as specific coefficients of their release, were carried out during combustion of modern cable products.

Methods. An experimental method is used to study the process of formation of hydrogen cyanide and carbon monoxide during the combustion of samples of cable products in a modernized small-size experimental unit. The results were analyzed.

Results. The critical value of the partial density of hydrogen cyanide, presented in normative documents, on the basis of analysis of data given in the literature sources, is substantiated. Experimental dependences between the time of testing and partial densities of hydrogen cyanide and carbon monoxide, as well as their specific coefficients of release, were obtained. This study reveals that the experimental value of the partial density of hydrogen cyanide reaches a critical value. That fact justifies the need to calculate the time of blocking the escape routes with considering influence of hydrogen cyanide.

Conclusion. The modernization of the experimental unit makes it possible to obtain experimental dependencies on the time of partial densities of hydrogen cyanide and carbon monoxide, as well as specific coefficients of their separation. This makes it possible to update (by HCN and CO) the existing database of typical fire load and to calculate the time of blocking the escape routes in case of combined effects of the above mentioned gases. When calculating fire risks in case of the burning of modern cable products, it is necessary to determine the time of blocking evacuation routes by hydrogen cyanide.

Keywords: toxicity; combustion products; mathematical modeling; experimental unit; critical concentration; thermal decomposition; cable insulation.

For citation: S. V. Puzach, O. B. Boldrushkiev. Defining the specific formation coefficient and the critical partial density of hydrogen cyanide and carbon monoxide at the fire indoors. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2019, vol. 28, no. 5, pp. 19–26 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2019.28.05.19-26.

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

Введение

Основной причиной гибели людей при пожаре является отравление токсичными продуктами горения [1, 2]. Для разработки профилактических противопожарных мероприятий по предотвращению негативного воздействия токсичных газов необходимо проводить математическое моделирование распространения этих газов в объеме рассматриваемых помещений и их воздействия на организм человека. Однако исходных данных для проведения расчетов в случае горения современных веществ и материалов недостаточно [3–5].

База данных типовой пожарной нагрузки [6] не учитывает большую часть токсикантов, образующихся при горении веществ и материалов, а рассматривает только три газа — монооксид и диоксид углерода, хлороводород (CO , CO_2 и HCl). В то же время гибель людей от циановодорода (HCN), акролеина и ряда других газов происходит, по крайней мере, не реже, чем от монооксида углерода [7–10].

Расчет удельного коэффициента образования циановодорода и его концентраций в результате термического разложения горючего материала является трудноразрешимой проблемой, поскольку состав и концентрации продуктов горения зависят как от физико-химических свойств материала, так и от режима горения (концентрация кислорода и т. д.) [3, 11].

Данные по образованию циановодорода есть в ограниченном количестве литературных источников. В работе [7] на основании их анализа приведены значения удельного коэффициента образования циановодорода только для небольшого количества

веществ и материалов (линолеум, изоляция проводов, шерсть, акрилонитрил, полиакрилонитрил, нейлон, древесина с огнезащитными добавками и т. п.). Таким образом, экспериментальное исследование характеристик процесса образования циановодорода представляет собой актуальную научную и практическую задачу.

Целью статьи является разработка методики получения исходных данных по выделению циановодорода, необходимых для расчета времени блокирования путей эвакуации при расчете пожарных рисков.

Для ее достижения была обоснована величина критической концентрации циановодорода, модернизирована экспериментальная установка [3] и проведены экспериментальные исследования парциальных плотностей циановодорода и монооксида углерода, а также удельных коэффициентов их выделения на примере горения современной кабельной продукции (кабель коммуникационный “Low Smoke”, изготовленный в соответствии с ТУ 16.К71-310–2001).

Критическая концентрация циановодорода

Даже слабое токсичное отравление парализует и дезориентирует человека, препятствуя его своевременной эвакуации [12–15].

Время блокирования путей эвакуации рассматриваемым токсичным газом определяется из условия достижения концентрацией токсичного газа критического для человека значения.

Согласно СП 11.13130.2009 (далее — СП 11) и Методикой определения расчетных величин пожар-

ного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности (М.: МЧС России, 2009) “критические концентрации токсичных продуктов горения принимаются по литературным данным для условий одноразового воздействия на эвакуирующихся в течение нескольких минут при средних физических нагрузках и по критерию сохранения ими способности реально оценивать окружающую обстановку, уверенно принимать и выполнять соответствующие решения”.

Циановодород (синильная кислота) считается чрезвычайно токсичным газом [16–18]. Даже при малых концентрациях существует реальная угроза для жизни человека, заключающаяся практически в мгновенной блокировке центральной нервной системы после одного-двух вдохов. Согласно исследованиям [17, 19] раздражение слизистой оболочки глаз и носа происходит при концентрации $1,11 \cdot 10^{-5}$ кг/м³, а летальный исход наступает при концентрации $1,11 \cdot 10^{-4}$ кг/м³ при 30-минутном воздействии.

Согласно СП 11 критическая парциальная плотность циановодорода $\rho_{\text{HCN кр}} = 2 \cdot 10^{-4}$ кг/м³. Однако эта величина почти в 2 раза превышает указанную выше смертельную концентрацию и примерно в 20 раз — концентрацию, при которой начинаются изменения в состоянии человека, затрудняющие его эвакуацию.

В связи с этим более обоснованно принимать критическое значение парциальной плотности циановодорода $\rho_{\text{HCN кр}} = 1,1 \cdot 10^{-5}$ кг/м³.

Постановка задачи экспериментальных исследований

Рассмотрим процесс горения в условно-герметичном мелкомасштабном объеме экспозиционной камеры.

В качестве исследуемых токсичных газов будем рассматривать совместное образование циановодорода и монооксида углерода.

Горючим материалом является кабель коммуникационный “Low Smoke”. Этот тип кабелей с оболочкой LSZH (малодымный безгалогенный компаунд) находит свое применение в помещениях, где обильное образование дыма может нанести ущерб людям и оборудованию. Отсутствие галогенов в данных кабелях способствует снижению скорости и интенсивности дымообразования, что позволяет применять их в закрытых кабельных сооружениях в условиях отсутствия систем дымоудаления. Однако данные по выделению токсичных газов (в том числе HCN) при его горении в литературных источниках отсутствуют.

Таким образом, на базе мелкомасштабной экспериментальной установки необходимо получить экспериментальные зависимости среднеобъемной пар-

циальной плотности циановодорода и монооксида углерода и удельных массовых коэффициентов их образования от времени с начала опытов, а также проверить, достигнет ли парциальная плотность HCN критического значения.

Экспериментальная установка и методика проведения экспериментов

Схема экспериментальной установки, представленная в работах [20–23], показана на рис. 1, общий вид установки — на рис. 2.

Теплоизолированная камера сгорания 1 с рабочей температурой от 20 до 1200 °С соединена с экспозиционной камерой 2 теплоизолированным переходным рукавом 3, оснащенным устройством теплового блокирования. В камере сгорания установлен экранированный электронагревательный излучатель 4 с датчиком непрерывного контроля температуры и держатель образца 5 на подвижной основе. Камера выполнена из листовой нержавеющей стали толщиной $(2,0 \pm 0,1)$ мм и объемом 3×10^{-3} м³. Боковая стенка камеры сгорания оснащена окном из кварцевого стекла, позволяющим наблюдать за образцом при проведении испытаний, а также шиберными отверстиями 6, используемыми для изменения режимов испытаний [20–23].

Экспозиционная камера представляет собой кубический объем $(0,5887 \text{ м}^3)$ с конусообразной верх-

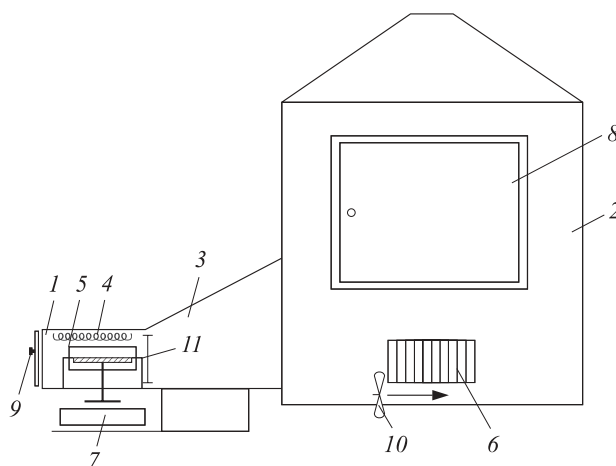


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 — камера сгорания; 2 — экспозиционная камера; 3 — переходной рукав; 4 — электронагревательный излучатель; 5 — держатель образца; 6 — шиберные отверстия; 7 — стол для весов; 8 — дверца экспозиционной камеры; 9 — дверца камеры сгорания; 10 — вентилятор; 11 — заслонка (перегородка) переходного рукава [24]

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 [24]



Рис. 2. Общий вид экспериментальной установки

Fig. 2. General view of the experimental unit

ней частью. На двух боковых стенках установлены шибберные отверстия. По всему экспозиционному объему расположены 32 низкоинерционных бронированных термопары для непрерывного контроля температуры в рассматриваемом объеме. Данные термопары имеют диапазон измерений от минус 40 до +1100 °C с погрешностью не более $\pm 1,5t$ (°C).

Держатель образцов размещается на электронных весах 7, которые расположены на подвижном столе и имеют погрешность не более ± 1 мг.

Контроль над плотностью теплового потока, падающего на образец, подвергшийся испытаниям, осуществляется с помощью водоохлаждаемого датчика типа Гордона и регистрирующего прибора с диапазоном измерений от 0 до 100 мВ. Погрешность измерения плотности теплового потока не превышает ± 8 %.

Постоянный контроль состава газовой среды в экспозиционной камере осуществляется с помощью многоканального газоанализатора, измеряющего концентрацию оксида углерода с диапазоном измерений от 0 до 1 % об. и допустимой погрешностью ± 10 %; концентрацию диоксида углерода — с диапазоном измерений от 0 до 5 % об. и допустимой погрешностью ± 10 %; концентрацию кислорода — с диапазоном измерений от 0 до 21 % об. и допустимой погрешностью ± 10 % об.

Модернизация установки заключается в том, что система измерений концентраций газов внутри экспозиционной камеры дополнена газоанализатором для измерения концентраций HCN с диапазоном измерений от 0 до 0,01 % об. и допустимой погрешностью ± 1 %.

Непосредственно перед проведением испытаний изготавливаются образцы исследуемого материала размерами 100×100 мм. Затем они подвергаются кон-

денсации в течение 12 ч при комнатной температуре 20 °C.

Испытание начинается с запуска контура нагревательного элемента, включения ПК и запуска регистрирующих программ с последующей проверкой отклика датчиков. После этого ступенчато задается рабочая температура (766 °C) и плотность падающего теплового потока (60 кВт/м²). При выходе температуры и плотности на установленные значения открывают заслонку переходного рукава и дверцу камеры сгорания, после чего предварительно взвешенный образец материала помещают в камеру сгорания и закрывают дверцу [23].

В ходе проведения испытания фиксируются следующие показатели:

- масса образца в ходе испытания (каждые 3–10 с);
- температура в объеме экспозиционной камеры;
- концентрация газов, входящих в состав продуктов горения, а именно CO₂, CO, HCN, O₂;
- оптическая плотность дыма.

Удельные коэффициенты образования CO (L_{CO}) и HCN (L_{HCN}) в каждый момент времени определяются по формулам:

$$L_{CO} = \frac{V}{\Psi} \frac{d\rho_{CO}}{d\tau}; \quad (1)$$

$$L_{HCN} = \frac{V}{\Psi} \frac{d\rho_{HCN}}{d\tau}, \quad (2)$$

где V — объем экспозиционной камеры, м³;

Ψ — массовая скорость выгорания горючего материала, кг/с;

ρ_{HCN} — среднееобъемная плотность HCN в экспозиционной камере, кг/м³;

τ — время от начала испытаний, с;

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

Исходные данные

Исследовались три образца изоляции кабеля “Low Smoke” с первоначальной массой 0,073 кг и размерами 100×100 мм.

Критическое значение парциальной плотности монооксида углерода $\rho_{CO\text{ кр}} = 1,16 \cdot 10^{-3}$ кг/м³.

Критическое значение парциальной плотности HCN принимаем $\rho_{HCN\text{ кр}} = 1,1 \cdot 10^{-5}$ кг/м³.

Температура в помещении при проведении экспериментов 23 °C, давление 753 мм рт. ст., влажность воздуха 38 %.

Результаты экспериментов и их анализ

Зависимости массовой скорости выгорания изоляции кабеля “Low Smoke” от времени представлены на рис. 3.

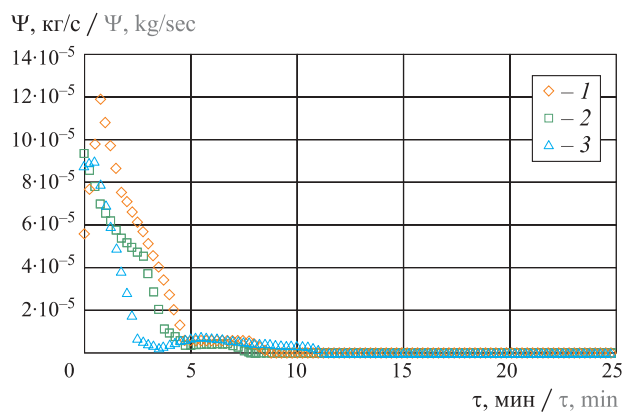


Рис. 3. Зависимость массовой скорости выгорания от времени горения изоляции кабеля “Low Smoke”: 1–3 — номера экспериментов

Fig. 3. The dependence of mass burning rate on burning time of cable insulation “Low Smoke”: 1–3 — numbers of experiments

Зависимости среднеобъемной парциальной плотности циановодорода и монооксида углерода, а также удельных массовых коэффициентов их образования от времени с начала опытов представлены на рис. 4–7.

Из рис. 4 видно, что парциальная плотность HCN достигает своего критического значения через 2,9 мин. Таким образом, при расчете пожарного риска в помещениях, где находится кабель “Low Smoke”, для обеспечения выполнения условия безопасной эвакуации людей необходимо проводить расчет времени блокирования путей эвакуации циановодородом.

Из рис. 5 видно, что парциальная плотность CO становится равной критическому значению $\rho_{CO\text{кр}} = 1,16 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$ [6] через 1,2–2,2 мин. Однако, как показано в работе [20], более точным критерием безопасности для человека является достижение удельной массы карбоксигемоглобина в его крови, образующегося при поступлении CO в организм, значения 0,2.

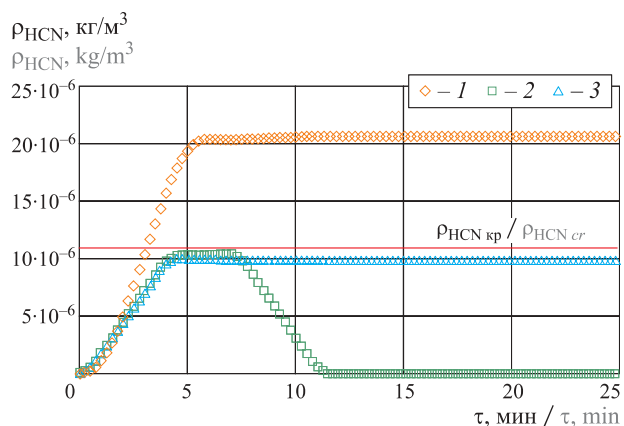


Рис. 4. Зависимость парциальной плотности HCN от времени при горении кабеля “Low Smoke”: 1–3 — номера экспериментов

Fig. 4. The dependence of the partial density of HCN on the burning time of the cable “Low Smoke”: 1–3 — numbers of experiments

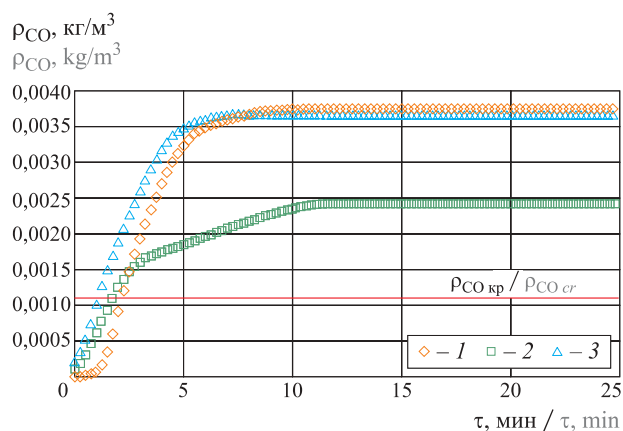


Рис. 5. Зависимость парциальной плотности CO от времени при горении кабеля “Low Smoke”: 1–3 — номера экспериментов

Fig. 5. The dependence of the partial density of CO on the burning time of the cable “Low Smoke”: 1–3 — numbers of experiments

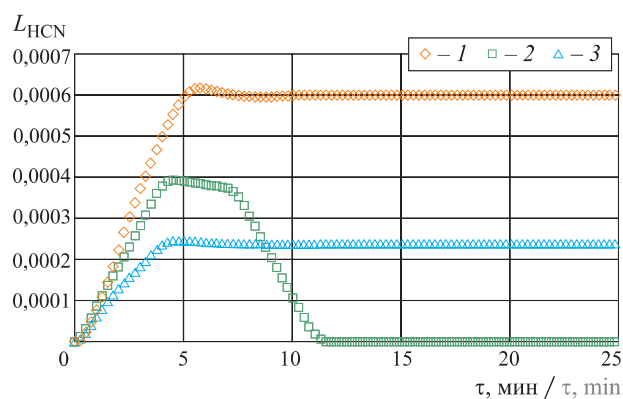


Рис. 6. Зависимость удельного массового коэффициента образования HCN от времени при горении кабеля “Low Smoke”: 1–3 — номера экспериментов

Fig. 6. The dependence of the specific mass formation coefficient of HCN from the burning time of the cable “Low Smoke”: 1–3 — numbers of experiments

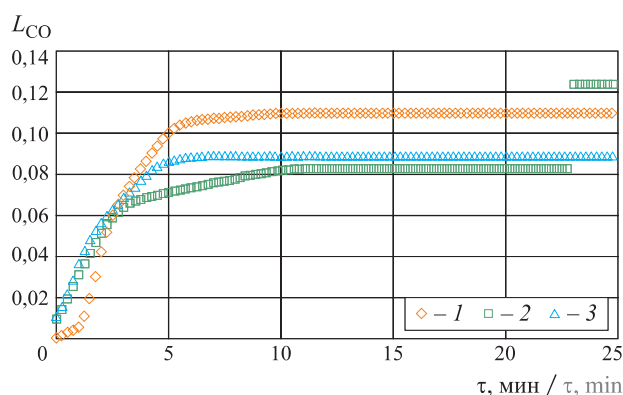


Рис. 7. Зависимость удельного массового коэффициента образования CO от времени при горении кабеля “Low Smoke”: 1–3 — номера экспериментов

Fig. 7. The dependence of the specific mass formation coefficient of CO from the burning time of the cable “Low Smoke”: 1–3 — numbers of experiments

Средние значения удельного массового коэффициента образования HCN в данных экспериментах $L_{\text{HCN}} = 0,00021 \div 0,00056$, что близко к значениям для изоляции кабелей других типов, представленным в литературных источниках: $L_{\text{HCN}} = 0,00032 \div 0,000396$ [7].

Заключение

Представленное в СП 11.13130.2009 значение критической плотности HCN, необходимое для расчета времени блокирования путей эвакуации циановодородом, является существенно завышенным, что может привести к недооценке пожарной опасности и гибели людей.

Модернизация экспериментальной установки [20–23] дает возможность получить экспериментальные зависимости парциальных плотностей циано-

водорода и монооксида углерода, а также удельных коэффициентов их выделения от времени. Это позволяет расширить (по HCN) и уточнить (по CO) существующую базу данных типовой пожарной нагрузки и проводить расчет времени блокирования путей эвакуации при совместном воздействии вышеуказанных газов.

Эксперименты показали, что при использовании в помещении кабелей коммуникационных “Low Smoke” парциальная плотность циановодорода достигает критического значения. В связи с этим при расчете пожарных рисков для обоснования выполнения условия безопасной эвакуации людей при горении современной кабельной продукции необходимо определять времена блокирования путей эвакуации токсичными газами с учетом циановодорода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белешников И. Л. Судебно-медицинская оценка содержания цианидов в органах и тканях людей, погибших в условиях пожара : автореф. дис. ... канд. мед. наук. — СПб., 1996. — 11 с.
2. Stec A. A., Hull T. R. Assessment of the fire toxicity of building insulation materials // *Energy and Buildings*. — 2011. — Vol. 43, Issue 2-3. — P. 498–506. DOI: 10.1016/j.enbuild.2010.10.015.
3. Пузач С. В., Доан В. М., Нгуен Т. Д., Сулейкин Е. В., Акперов Р. Г. Образование, распространение и воздействие на человека токсичных продуктов горения при пожаре в помещении : монография / Под ред. С. В. Пузача. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2017. — 130 с.
4. Пузач С. В. Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2005. — 336 с.
5. Kim N.-K., Cho N.-W., Rie D.-H. A study on the risk of particulate materials included in the combustion products of building materials // *Fire Science and Engineering*. — 2016. — Vol. 30, Issue 1. — P. 43–48. DOI: 10.7731/KIFSE.2016.30.1.043.
6. Кошмаров Ю. А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении. — М. : Академия ГПС МВД России, 2000. — 118 с.
7. Пузач С. В., Смагин А. В., Лебедченко О. С., Абакумов Е. С. Новые представления о расчете необходимого времени эвакуации людей и об эффективности использования портативных фильтрующих самоспасателей при эвакуации на пожарах. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2007. — 222 с.
8. Anderson R. A., Harland W. A. Fire Deaths in the Glasgow Area: III the Role of Hydrogen Cyanide // *Medicine, Science and the Law*. — 1982. — Vol. 22, Issue 1. — P. 35–40. DOI: 10.1177/002580248202200106.
9. Sweeney L. M., Sommerville D. R., Goodwin M. R., James R. A., Channel S. R. Acute toxicity when concentration varies with time: A case study with carbon monoxide inhalation by rats // *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. — 2016. — Vol. 80. — P. 102–115. DOI: 10.1016/j.yrtph.2016.06.014.
10. Pauluhn J. Acute inhalation toxicity of carbon monoxide and hydrogen cyanide revisited: Comparison of models to disentangle the concentration $\times$ time conundrum of lethality and incapacitation // *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. — 2016. — Vol. 80. — P. 173–182. DOI: 10.1016/j.yrtph.2016.06.017.
11. Эркенов Р. Х., Эгизов С. К., Мещеряков А. В., Плаксицкий А. Б. Технические исследования процессов механодеструкции строительных полимерных материалов // *Пожарная безопасность: проблемы и перспективы*. — 2018. — Т. 1, № 9. — С. 1018–1019.
12. Treitman R. D., Burgess W. A., Gold A. Air contaminants encountered by firefighters // *American Industrial Hygiene Association Journal*. — 1980. — Vol. 41, Issue 11. — P. 796–802. DOI: 10.1080/15298668091425662.
13. Холщевников В. В., Самошин Д. А., Парфененко А. П., Кудрин И. С., Истратов Р. Н., Белосохов И. Р. Эвакуация и поведение людей при пожарах. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2015. — 262 с.
14. Самошин Д. А. Состав людских потоков и параметры их движения при эвакуации. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2016. — 210 с.

15. Orloff K. G., Kaplan B., Kowalski P. Hydrogen cyanide in ambient air near a gold heap leach field: Measured vs. modeled concentrations // *Atmospheric Environment*. — 2006. — Vol. 40, Issue 17. — P. 3022–3029. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2005.09.089.
16. Anseeuw K., Delvaux N., Burillo-Putze G., De Iaco F., Geldner G., Holmström P., Lambert Y., Sabbe M. Cyanide poisoning by fire smoke inhalation: a European expert consensus // *European Journal of Emergency Medicine*. — 2013. — Vol. 20, Issue 1. — P. 2–9. DOI: 10.1097/MEJ.0b013e328357170b.
17. Иличкин В. С., Фукалова А. А. Токсичность продуктов горения полимерных материалов : обзорная информация. — М. : ГИЦ, 1987. — 68 с.
18. Hartzell G. E., Priest D. N., Switzer W. G. Modeling of toxicological effects of fire gases: II. Mathematical modeling of intoxication of rats by carbon monoxide and hydrogen cyanide // *Journal of Fire Sciences*. — 1985. — Vol. 3, Issue 2. — P. 115–128. DOI: 10.1177/073490418500300204.
19. Kaplan H. L., Hartzell G. E. Modeling of toxicological effects of fire gases: I. Incapacitation effects of narcotic fire gases // *Journal of Fire Sciences*. — 1984. — Vol. 2, Issue 4. — P. 286–305. DOI: 10.1177/073490418400200404.
20. Пузач С. В., Нгуен Там Дат. Критическая концентрация монооксида углерода при пожаре в помещении // *Пожарная безопасность: проблемы и перспективы*. — 2016. — Т. 1, № 1. — С. 181–183.
21. 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.
22. 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.
23. 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.

REFERENCES

1. I. L. Beleshnikov. *Forensic medical assessment of the content of cyanide in the organs and tissues of people who died in a fire*. Abstr. Cand. Sci. (Med.) Diss. Saint Petersburg, 1996. 11 p. (in Russian).
2. A. A. Stec, T. R. Hull. Assessment of the fire toxicity of building insulation materials. *Energy and Buildings*, 2011, vol. 43, issue 2-3, pp. 498–506. DOI: 10.1016/j.enbuild.2010.10.015.
3. S. V. Puzach, V. M. Doan, T. D. Nguen, E. V. Suleykin, R. G. Akperov. *Obrazovaniye, rasprostraneniye i vozdeystviye na cheloveka toksichnykh produktov goreniya pri pozhare v pomeshchenii* [The formation, distribution and effects on humans of toxic products of combustion at the fire indoors]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2017. 130 p. (in Russian).
4. S. V. Puzach. *Metody rascheta teplomassoobmena pri pozhare v pomeshchenii i ikh primeneniye pri reshenii prakticheskikh zadach pozharovzryvobezopasnosti* [Methods for calculating the heat and mass transfer in a fire at the premises and their application in solving practical problems of fire safety]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2005. 336 p. (in Russian).
5. N.-K. Kim, N.-W. Cho, D.-H. Rie. A study on the risk of particulate materials included in the combustion products of building materials. *Fire Science and Engineering*, 2016, vol. 30, issue 1, pp. 43–48. DOI: 10.7731/KIFSE.2016.30.1.043.
6. 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).
7. S. V. Puzach, A. V. Smagin, O. S. Lebedchenko, E. S. Abakumov. *Novyye predstavleniya o raschete neobkhodimogo vremeni evakuatsii lyudey i ob effektivnosti ispolzovaniya portativnykh filtruyushchikh samospasateley pri evakuatsii na pozharakh* [New ideas about the calculation of necessary time of evacuation of people and the effectiveness of using a portable filter self-rescuers during evacuation at fires]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2007. 222 p. (in Russian).
8. R. A. Anderson, W. A. Harland. Fire deaths in the Glasgow Area: III the role of hydrogen cyanide. *Medicine, Science and the Law*, 1982, vol. 22, issue 1, pp. 35–40. DOI: 10.1177/002580248202200106.
9. L. M. Sweeney, D. R. Sommerville, M. R. Goodwin, R. A. James, S. R. Channel. Acute toxicity when concentration varies with time: A case study with carbon monoxide inhalation by rats. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 2016, vol. 80, pp. 102–115. DOI: 10.1016/j.yrtph.2016.06.014.
10. J. Pauluhn. Acute inhalation toxicity of carbon monoxide and hydrogen cyanide revisited: Comparison of models to disentangle the concentration × time conundrum of lethality and incapacitation. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 2016, vol. 80, pp. 173–182. DOI: 10.1016/j.yrtph.2016.06.017.

11. R. H. Erkenov, S. K. Egizov, A. V. Meshcheryakov, A. B. Plaksitsky. Technical research of processes of mehanodestruction of building polymer materials. *Pozharnaya bezopasnost: problemy i perspektivy / Fire Safety: Problems and Prospects*, 2018, vol. 1, no. 9, pp. 1018–1019 (in Russian).
12. R. D. Treitman, W. A. Burgess, A. Gold. Air contaminants encountered by firefighters. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 1980, vol. 41, issue 11, pp. 796–802. DOI: 10.1080/15298668091425662.
13. V. V. Kholshchevnikov, D. A. Samoshin, A. P. Parfenenko, I. S. Kudrin, R. N. Istratov, I. R. Belosokhov. *Evakuatsiya i povedeniye lyudey pri pozharakh* [Evacuation and behavior of people during fires]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2015. 262 p. (in Russian).
14. D. A. Samoshin. *Sostav lyudskikh potokov i parametry ikh dvizheniya pri evakuatsii* [The composition of human flows and the parameters of their movement during evacuation]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2016. 210 p. (in Russian).
15. K. G. Orloff, B. Kaplan, P. Kowalski. Hydrogen cyanide in ambient air near a gold heap leach field: Measured vs. modeled concentrations. *Atmospheric Environment*, 2006, vol. 40, issue 17, pp. 3022–3029. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2005.09.089.
16. K. Anseuw, N. Delvau, G. Burillo-Putze, F. De Iaco, G. Geldner, P. Holmström, Y. Lambert, M. Sabbe. Cyanide poisoning by fire smoke inhalation: a European expert consensus. *European Journal of Emergency Medicine*, 2013, vol. 20, issue 1, pp. 2–9. DOI: 10.1097/MEJ.0b013e328357170b.
17. V. S. Ilichkin, A. A. Fukalova. *Toksichnost produktov goreniya polimernykh materialov: obzornaya informatsiya* [Toxicity of combustion products of polymeric materials. Overview]. Moscow, GITs Publ., 1987. 68 p. (in Russian).
18. G. E. Hartzell, D. N. Priest, W. G. Switzer. Modeling of toxicological effects of fire gases: II. Mathematical modeling of intoxication of rats by carbon monoxide and hydrogen cyanide. *Journal of Fire Sciences*, 1985, vol. 3, issue 2, pp. 115–128. DOI: 10.1177/073490418500300204.
19. H. L. Kaplan, G. E. Hartzell. Modeling of toxicological effects of fire gases: I. Incapacitation effects of narcotic fire gases. *Journal of Fire Sciences*, 1984, vol. 2, issue 4, pp. 286–305. DOI: 10.1177/073490418400200404.
20. S. V. Puzach, Tat Dat Nguen. Critical carbon monoxide concentration in an indoor fire. *Pozharnaya bezopasnost: problemy i perspektivy / Fire Safety: Problems and Prospects*, 2016, vol. 1 no. 1, pp. 181–183 (in Russian).
21. 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.
22. 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.
23. 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).

Поступила 01.07.2019, после доработки 26.08.2019;
принята к публикации 16.09.2019

Received 1 July 2019; Received in revised form 26 August 2019;
Accepted 16 September 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

БОЛДРУШКИЕВ Очир Баатрович, адъюнкт кафедры инженерной теплофизики и гидравлики, Академия Государственной противопожарной службы МЧС; г. Москва, Российская Федерация; ORCID: 0000-0001-7127-5608; e-mail: avadanonstop@mail.ru

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

Ochir B. BOLDRUSHKIEV, Postgraduated Student, Thermal Physics and Hydraulic Department, State Fire Academy of Emercom of Russia, Moscow, Russian Federation; ORCID: 0000-0001-7127-5608; e-mail: avadanonstop@mail.ru

Разработка трудногорючего жесткого напыляемого пенополиуретана и исследование его физико-химических, огнезащитных и огнетушащих свойств

© В. В. Богданова^{1✉}, О. Н. Бурая¹, М. М. Тихонов²

¹ Учреждение Белорусского государственного университета “Научно-исследовательский институт физико-химических проблем” (Республика Беларусь, 220006, г. Минск, ул. Ленинградская, 14)

² Университет гражданской защиты МЧС Республики Беларусь (Республика Беларусь, 220118, г. Минск, ул. Машиностроителей, 25)

РЕЗЮМЕ

Введение. Предотвращение и тушение пожаров в кабельных шахтах, электроустановках, находящихся под напряжением, пожаров классов А и В требует наличия материалов, обладающих огне- и термостойкостью и способностью заполнять пространство любой формы. Для получения материала, соответствующего данным требованиям, были проведены работы по созданию рецептуры напыляемого пенополиуретана (ППУ) и исследование его эксплуатационных, физико-химических, огнезащитных и огнетушащих свойств.

Цель и задачи. Разработка рецептуры трудногорючего напыляемого жесткого пенополиуретана, исследование механизма и синергизма огнезадерживающего действия N–P–Cl-содержащих замедлителей горения.

Материалы и методы. Объектом исследования являлись компоненты А и Б для получения пенополиуретана марки “Изолан-125”, N–P–Cl-содержащие замедлители горения и пенополиуретановые композиции на их основе. Исследование огнезащитных, огнетушащих и физико-химических свойств ППУ-композиций и продуктов их термолитиза проводили с использованием методов, регламентированных ГОСТами, сканирующей электронной микроскопии, термического и химического анализов.

Результаты и их обсуждение. Разработан трудногорючий жесткий напыляемый ППУ, обладающий огнезащитными и огнетушащими свойствами. Исследованы эксплуатационные, физико-химические, огнезащитные и огнетушащие свойства трудногорючего пористого материала. Проведен сопоставительный количественный химический анализ остаточного содержания азота и фосфора в продуктах термической обработки исходного и огнезащитного ППУ, прогретых в интервале температур 200–500 °С, реализуемых при горении в предпламенной зоне конденсированной фазы. Определены минимальные концентрации азот-, галоген- и фосфорсодержащих замедлителей горения, необходимые для достижения огнезащитных свойств в исследуемом материале.

Выводы. Разработана рецептура композиции трудногорючего напыляемого жесткого пенополиуретана. Установлен механизм и синергизм действия N–P–Cl-содержащих замедлителей горения, заключающийся в ингибировании летучими азот- и галогенсодержащими продуктами радикальных процессов в газовой фазе, тогда как фосфорсодержащие продукты преимущественно принимают участие в образовании прочных термоизолирующих органоминеральных структур в конденсированной фазе. Показана перспективность применения трудногорючего ППУ для предупреждения и тушения пожаров классов А и В, а также в электроустановках, находящихся под напряжением.

Ключевые слова: термическое разложение; термоизолирующая пена; замедлители горения; конденсированная фаза; огнезамедлительная система.

Для цитирования: Богданова В. В., Бурая О. Н., Тихонов М. М. Разработка трудногорючего жесткого напыляемого пенополиуретана и исследование его физико-химических, огнезащитных и огнетушащих свойств // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2019. — Т. 28, № 5. — С. 27–38. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.05.27-38.

✉ Богданова Валентина Владимировна, e-mail: bogdanova@bsu.by

Development of a flame retardant hard sprayed polyurethane foam and the study of its physicochemical, fire retardant and fire extinguishing properties

© Valentina V. Bogdanova^{1✉}, Oksana N. Buraya¹, Maxim M. Tikhonov²

¹ Institution of the Belarusian State University “Research Institute of Physical and Chemical Problems” (Leningradskaya St., 14, Minsk, 220006, Republic of Belarus)

² University of Civil Protection Ministry the Emergency Situations of Belarus Republic (Mashinostroiteley St., 25, Minsk, 220118, Republic of Belarus)

ABSTRACT

Introduction. Burning suppression and prevention in cable shafts, electrical installations, fires of Classes A and B, requires fire resistance materials, which have the ability to fill space with any form. For obtain material, appropriate these requirements, the composition of the sprayed polyurethane foam was developed and its operational, physic and chemical, fire retardant and fire extinguishing properties were studied.

Purpose and tasks. Development the recipe of a slow-burning sprayed hard polyurethane foam, study the mechanism and synergy the fire retardant action of N–P–Cl-containing flame retardants.

Materials and methods. The objects of study were components A and B for production the polyurethane foam brand of Izolan-125, N–P–Cl-containing flame retardants and polyurethane compositions based on them. The study of fire retardant, fire extinguishing, physical and chemical properties of polyurethane foam compositions and products of their thermolysis was carried out using regulate Standard testing methods, scanning electron microscopy, thermal and chemical analyzes.

Results and discussion. A flame resistant hard sprayed polyurethane foam, possessing fire protecting and fire extinguishing properties was been developed. The operational, physicochemical, fire protecting, and fire extinguishing properties of the nonflammable porous material were investigated. A comparative quantitative chemical analysis the residual content of nitrogen and phosphorus in the heat-treated products of the initial and flame protected polyurethane foam, heated in the temperature range 200–500 °C, realizing during combustion in the pre-flame zone of the condensed phase, was carried out. The minimal concentrations of nitrogen-, halogen- and phosphorus-containing combustion retardants, required to achieve flame protective properties in the testing material were determined.

Conclusion. The recipe of composition the nonflammable sprayed hard polyurethane foam was developed. The mechanism and synergism of action the N–P–Cl-containing combustion retardants was established, which consists in the inhibition of radical processes by volatile nitrogen- and halogencontaining products in the gas phase, while phosphorus-containing products mainly participate in the formation of durable thermally insulating organic-mineral structures in the condensed phase. The prospects of using the slow-burning polyurethane foam for the prevention and suppression fires of classes A and B, also electrical installations under voltage was shown.

Keywords: thermal decomposition; heat insulating foam; combustion retardants; condensed phase; fire retardant system.

For citation: V. V. Bogdanova, O. N. Buraya, M. M. Tikhonov. Development of a flame retardant hard sprayed polyurethane foam and the study of its physicochemical, fire retardant and fire extinguishing properties. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2019, vol. 28, no. 5, pp. 27–38 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2019.28.05.27-38.

✉ Valentina Vladimirovna Bogdanova, e-mail: bogdanova@bsu.by

Введение

Одним из наиболее опасных видов пожаров в жилом секторе и общественных зданиях являются пожары в кабельных шахтах, возникающие при перегрузке электросети и коротких замыканиях, приводящих к возгоранию кабельной изоляции. Линейная скорость распространения горения таких пожаров — 0,8–1,0 м/мин [1], при этом в силу расположения кабельных шахт на лестничных клетках и в коридорах блокируются эвакуационные пути. Существующие в настоящее время способы локализации и ликвидации пожаров в кабельных шахтах не являются эффективными из-за низкой смачивающей способности и контакта огнетушащего вещества (ОТВ) (воды, огнетушащих порошков) с материалом, образующим горящие капли. В связи с этим актуальной является разработка пассивной и активной защиты, способной обеспечить как герметичность заделки мест прохода кабельных линий и шахт для предотвращения распространения пожара, так и эффективность его тушения.

Решение данной задачи может быть реализовано применением полимерных органических быстротвердеющих конденсированных пен, способных принимать любую форму и изолировать зону горения от доступа воздуха, препятствуя тем самым разви-

тию процесса горения. Было предположено, что в качестве такого материала может быть использован жесткий напыляемый пенополиуретан (ППУ), образующий в течение короткого времени (до 5–10 с) твердую пену, обладающую, наряду с термоизолирующими свойствами, способностью прекращать доступ воздуха в зону горения. Однако применение ППУ для этих целей невозможно без придания ему огнестойких свойств.

Пенополиуретаны получают взаимодействием двух основных жидких компонентов — А и Б. Компонент А представляет собой полиэфир или полиол, а компонент Б имеет изоцианатную природу. Снижение горючести ППУ-полимеров достигается введением в один из компонентов (как правило, в компонент А) замедлителей горения [2–4], использованием реагентов, приводящих к образованию термостойких изоциануратных и карбонизованных структур [5–7], а также нанесением на ППУ термоизолирующих покрытий [8]. В качестве замедлителей горения ППУ используются как жидкие, так и твердые галоген-, азот- и фосфорсодержащие соединения: трихлорэтилфосфат, трис(1-хлор-2-пропил)фосфат и другие низковязкие продукты, а также порошкообразные вещества — полифосфат аммония, меламин, терморасширяющийся графит, нанодисперсные

оксиды титана и кремния, природные минералы и разнообразные неорганические и органические соединения [2–12].

Трудность решения задачи по созданию огнезащищенных вспененных материалов с требуемыми физико-механическими и физико-химическими свойствами заключается в многообразии исходных реагентов, используемых для синтеза ППУ различных марок (изоцианатов, полиолов, полиэфиров, отходов химических производств, модификаторов, катализаторов, вспенивающих агентов, регуляторов вязкости и других технологических добавок). Это не позволяет получать при экспериментах с реакционными компонентами другой химической природы данные, сопоставимые с литературными.

В настоящей работе для создания огнезащищенного конденсированного вспененного материала, способного принимать требуемую форму и надежно изолировать горючие материалы различной химической природы от окислительной среды и температуры, изучены физико-механические, физико-химические, огнезащитные и огнетушащие свойства напыляемого жесткого, широко представленного на рынке пенополиуретана марки “Изолан-125”. Одновременно определена огнетушащая эффективность ППУ-пены на стадии ее получения при тушении пожаров различных классов. В качестве замедлителей горения использованы аммонийные фосфаты двух- и трехвалентных металлов (АМФ) [13] общего катионного и анионного состава ($[\text{NH}_4]^+$; $[\text{Me}^{2+}/\text{Me}^{3+}]$; $[\text{HPO}_4^{2-}/\text{H}_2\text{PO}_4^-/\text{PO}_4^{3-}]$) с различным содержанием азота и фосфора, которые из-за высокой реакционной способности компонента Б вводили только в компонент А. Технологической добавкой, позволяющей снизить вязкость антипирированного компонента А в концентрации 3 %, являлся трихлорэтилфосфат (ТХЭФ) ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_4\text{Cl}_3\text{P}$).

Материалы и методы исследования

Введение замедлителей горения осуществляли за счет пропорционального снижения содержания компонентов реакционной смеси пенополиуретана. Массовое соотношение исходных компонентов составляло: А:Б = 1:1. Огнезащитную эффективность составов на основе АМФ определяли по ГОСТ 12.1.044–89 с установлением группы горючести и кислородного индекса (КИ). Огнетушащую эффективность ППУ определяли по методике [14], в соответствии с которой использовались геометрически подобные деревянные бруски и размеры очагов пожара класса А отличались от стандартных по ГОСТ Р 51057–2001 (были меньше в 2 раза). Очаг пожара класса В также отличался от стандартного по ГОСТ Р 51057–2001 в 2 раза, при этом соотношение воды и горючего в нем сохранялось. Термическое пове-

дение исходного и огнезащищенного ППУ исследовали на дифференциальном сканирующем калориметре (Netzsch STA 449 C) со скоростью подъема температуры 10 К/мин в интервале 20–600 °С. Мгновенные значения эффективной энергии активации $E_{\text{акт}}$ в координатах $\ln k - 1/(RT)$ определяли как тангенс угла наклона касательной к экспериментальной кривой ТГ в точках с шагом не более 1,5° (где k — константа скорости; R — газовая постоянная (8,314 кДж/(моль·К); T — температура, К). Значение эффективной энергии активации на определенной стадии процесса принималось равным среднему арифметическому мгновенных значений в интервале температур, соответствующем протеканию процесса термического разложения ППУ-композиций. Поступление азот- и фосфорсодержащих продуктов в газовую фазу устанавливали по разности содержания азота и фосфора в исходных образцах и образцах пенополиуретанового материала, прогретых в течение 10 мин в температурном интервале 200–500 °С, реализуемом в конденсированной фазе на различном расстоянии от поверхности горения. Остаточное содержание азота находили микрохромовым методом Тюрина [15], а фосфора — спектрофотометрическим методом [16]. Пересчет содержания азота и фосфора в анализируемых образцах проводили с учетом потери массы при термообработке. Чтобы получить сравнимые данные по содержанию анализируемых элементов в образцах, производили пересчет на единицу массы навески. Условную вязкость компонентов ППУ-композиции определяли вискозиметром ВЗ-246 по ГОСТ 9070–75. Сопоставительные исследования микроструктуры исходного и огнезащищенного ППУ проводили с использованием электронного сканирующего микроскопа LEO-1420. Прочность продуктов термолитиза исходного и огнезащищенного ППУ измеряли способом, аналогичным приведенному в ГОСТ 24622. В нем определялась масса нагрузки, при которой происходило разрушение термообработанных в течение одного и того же времени (10 мин) образцов одинакового размера.

Результаты и их обсуждение

На предварительном этапе работы для дальнейших исследований отобран замедлитель горения (АМФ5), имеющий массовое соотношение компонентов в пересчете на оксиды $\text{NH}_3:\text{P}_2\text{O}_5:\text{SO}_3:\text{CaO}:\text{MgO} = 0,44:2:1,67:1:2$. Введение его в концентрации 15 % позволяет получить трудногорючий ППУ. Однако применение данного замедлителя горения в такой концентрации оказалось проблематичным из-за технологических трудностей получения ППУ, так как вязкость антипирированного компонента А в присутствии такого количества АМФ5 увеличивалась

в 7 раз. Для снижения вязкости антипирированного компонента А использовали ряд модификаторов (трихлорэтилфосфат, трихлорпропилфосфат, гидрофобизирующие кремнийорганические жидкости — ГКЖ-10, Пента). В результате установлено, что лучшим модификатором в данном случае является ТХЭФ. При введении его в компонент А в 3 %-ной концентрации при одновременном снижении содержания АМФ5 до 12 % получаемая ППУ-композиция становилась трудногорючей, а вязкость антипирированного компонента А приближалась к вязкости компонента Б (78,7 с).

Сопоставительными исследованиями реакционных и физико-химических свойств исходного и огнезащитного ППУ показано, что найденная огнезамедлительная система (12 % АМФ5 и 3 % ТХЭФ) не влияет на реакционные параметры исследуемой композиции (время старта — 15–16 с, гелеобразования — 31–33 с, роста пены — 22–40 с), а также на физико-химические свойства вспененного материала (кажущаяся плотность — 43,8–48,3 кг/м³, влагопоглощение — 0,12–0,22 %, теплопроводность — 0,025–0,030 Вт/(м·К)).

За рубежом для характеристики огнестойких ППУ используют стандарты UL 94, VTM-1, ISO 1210 и другие, предусматривающие различную длительность огневого воздействия (10, 30 и 60 с) на вертикально или горизонтально закрепленные образцы с регистрацией времени самостоятельного горения и образования горящих капель. Этим методам в наибольшей степени соответствует ГОСТ 28157. В результате испытаний исходного и огнезащитного ППУ нами установлено [17], что из-за высокой склонности ППУ к карбонизации условия испытаний по данному стандарту не позволяют получить достоверные сопоставительные данные об уровне огнестойкости исходного и огнезащитного материала. Наиболее приемлемым методом экспериментального определения огнестойких свойств ППУ-материалов является метод, регламентированный ГОСТ 12.1.044 (п. 4.3 — определение группы горючести твердых горючих материалов, п. 4.14 — определение кислородного индекса (КИ)). Результаты сопоставительных исследований показали, что максимальное приращение температуры Δt (°C), потеря массы Δm (%) и кислородный индекс исходного и огнезащитного ППУ составляют соответственно 250 и 35,6 °C; 71,9 и 50,1 %; 23,3 и 26,2. Полученные данные позволили классифицировать исходный жесткий напыляемый ППУ как горючий, легковоспламеняемый материал, а огнезащитный ППУ — как трудногорючий.

Исследованием структуры и размера пор исходного и огнезащитного ППУ методом сканирующей электронной микроскопии установлено, что

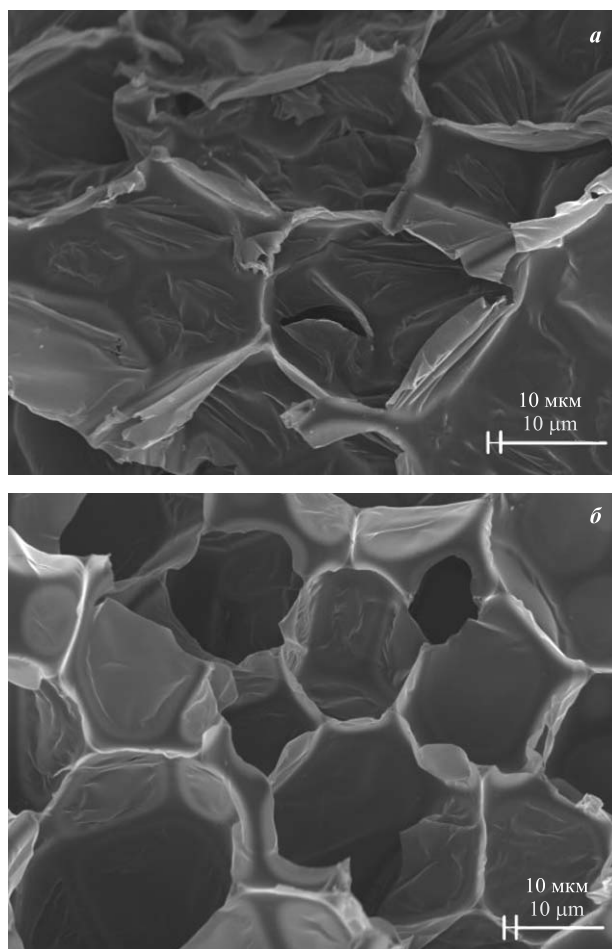


Рис. 1. Структура и размер пор исходного (а) и трудногорючего (б) пенополиуретана

Fig. 1. The structure and pore size of the original (a) and slow-burning (b) polyurethane foam

в последнем случае наблюдается утолщение стенок и уменьшение размера пор (рис. 1). Это свидетельствует о положительном влиянии используемой огнезамедлительной системы на пористую структуру термоизоляционного материала.

Горение ППУ, как и любого другого твердого горючего материала, включает в себя его термическое разложение в предпламенной зоне конденсированной фазы с образованием летучих горючих продуктов, сгорающих в пламенной зоне. На основе данных термического исследования исходного и огнезащитного ППУ можно сделать вывод, что в целом антипириновая система принципиально не изменяет характер кривых потери массы и дифференциального термического анализа ППУ [18, 19]. Однако при этом наблюдается значительное увеличение энергии активации для огнезащитного материала (41,2 кДж/моль) по сравнению с исходным (23,6 кДж/моль) на первой стадии термического разложения. В температурном интервале 240–325 °C, соответствующем распаду ППУ-структуры, обнаружено существенное снижение скорости потери

массы труднотгорючего материала по сравнению с исходным. На последней стадии термолитза исследуемых материалов (450–600 °С), когда происходит догорание коксового остатка, также заметно снижение скорости потери массы огнезащищенного ППУ. Тепловыделение на заключительной стадии термолитза для исходного ППУ составляет 2602 Дж/г, а для труднотгорючего — 1857 Дж/г. Следовательно, для огнезащищенного ППУ характерно ощутимое снижение скорости тепловыделения и повышение температуры начала термического разложения по сравнению с исходным образцом.

С данными термического анализа согласуются результаты по определению температурного профиля в исследуемых материалах при различном расстоянии от фронта и времени воздействия пламени. Независимо от расстояния до источника пламени в огнезащищенном образце регистрируются более низкие (от 2 до 7 раз) скорости подъема температуры по сравнению с исходным ППУ (табл. 1). Одновременно установлено, что при длительном огневом воздействии (100 с), когда скорости подъема температуры у обоих образцов сближаются, в труднотгорючем материале для всех исследуемых расстояний до фронта пламени регистрируются температуры на 50–60 °С ниже, чем в исходном ППУ (табл. 2).

Для установления причин более высокой термостойкости огнезащищенного ППУ по сравнению с исходным проведены электронно-микроскопические исследования морфологии обугленных структур, образующихся на различном расстоянии от фронта пламени. Как видно из полученных данных, для кокса труднотгорючего ППУ на всех исследованных расстояниях от поверхности горения характерна мелкопористая структура (рис. 2,б), тогда как для аналогичных структур исходного материала — крупночешуйчатая (рис. 2,а). Одновременно определена прочность обугленных каркасов исследуемых материалов в температурном интервале 300–500 °С. Из данных табл. 3 видно, что прочность обугленного каркаса труднотгорючего материала в указанном интервале температур в 4–8 раз выше по сравнению с исходным. Полученные данные свидетельствуют о более высоких физико-механических и термостойких свойствах труднотгорючего ППУ по сравнению с исходным после огневого воздействия.

До настоящего времени в литературе встречаются противоречивые суждения относительно факторов, оказывающих определяющее влияние на прекращение горения ППУ. Так, авторы [20] на основании масс-спектрометрических исследований продуктов термического разложения гибкого полиуретана в присутствии антипиренов пришли к выводу о газофазном механизме действия исследуемых замедлителей горения. Авторы [4, 21], напротив,

Таблица 1. Скорость подъема температуры в пенополиуретане на различном расстоянии от фронта пламени в зависимости от времени огневого воздействия

Table 1. The rate of temperature rise in the polyurethane foam at a different distance from the flame front, in dependence on the time of fire exposure

Время огневого воздействия, с Time of fire exposure, sec	Скорость подъема температуры в исходном/труднотгорючем ППУ, °С/с, на расстоянии от фронта пламени, мм The rate of temperature rise in the initial/slow-burning polyurethane foam, °C/sec, at a distance from the flame front, mm		
	5	25	45
25	11,52/6,72	11,54/2,72	7,32/1,00
50	6,78/5,00	4,88/1,76	2,78/1,00
75	4,61/4,00	3,00/1,84	2,00/0,90
100	3,50/3,18	2,22/1,75	1,50/0,75

Таблица 2. Максимальные температуры пенополиуретанового материала на различном расстоянии от фронта пламени при времени экспозиции пламени 100 с

Table 2. Maximal temperatures of polyurethane foam material at various distances from the flame front at a flame exposure time of 100 sec

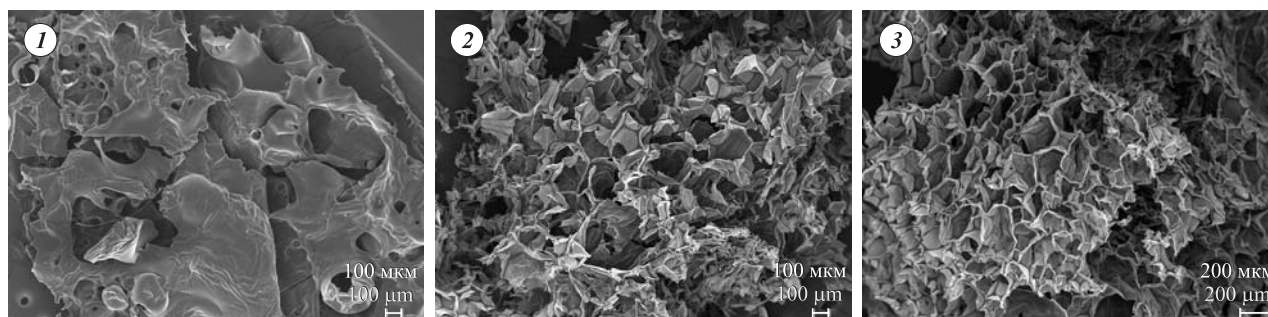
Расстояние от фронта пламени, мм Distance from flame front, mm	Максимальная температура, °С, ППУ Maximum temperature, °C, PPU	
	исходного источника source	труднотгорючего slow-burning
5	350	300
25	260	200
45	150	100

полагают, что пожароопасность модифицированных ППУ снижается в результате увеличения образования карбонизованного остатка в процессе его пиролиза и горения.

В связи с противоречивостью литературных данных относительно процессов, оказывающих определяющее влияние на прекращение горения пенополиуретановых полимеров, проведено количественное исследование распределения ингибирующих элементов (Cl, N, P) между газовой и конденсированной фазами в продуктах термической обработки исходного и огнезащищенного ППУ, прогретых в интервале температур 200–500 °С в течение 10 мин (табл. 4) [22–24]. Данный интервал температур соответствует температурам, реализуемым в предпламенной зоне конденсированной фазы на различном расстоянии от фронта пламени. Время термообработки выбрано исходя из того, что в этом интервале температур для исследуемых образцов наблюдается выход на плато кривых потери массы в зависимости от времени (см. табл. 4).

Как видно из полученных данных (см. табл. 4), при термообработке во всем исследованном темпе-

a



б

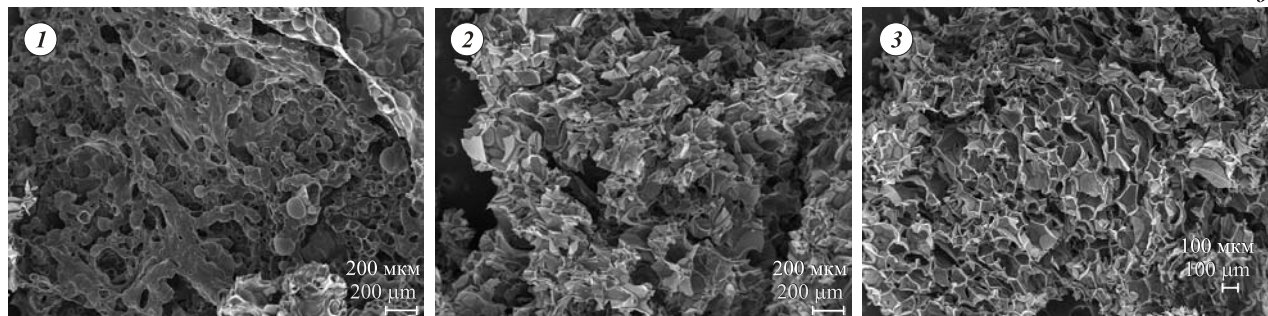


Рис. 2. Морфология поверхности коксовых каркасов исходного (а) и огнезащищенного (б) пенополиуретана на расстоянии от фронта пламени: 1 — 5 мм; 2 — 25 мм; 3 — 45 мм

Fig. 2. Surface morphology of the coke shells initial (a) and fireproof (b) polyurethane foam at a distance from the flame front: 1 — 5 mm; 2 — 25 mm; 3 — 45 mm

Таблица 3. Зависимость нагрузки разрушения продуктов термообработки пенополиуретановых композиций от температуры

Table 3. Dependence of the destruction load the products of heat treatment the polyurethane foam compositions from temperature

Температура термообработки ППУ, °C PPU heat treatment temperature, °C	Нагрузка разрушения ППУ, г Destruction load PPU, g	
	исходного source	трудногорючего slow-burning
300	400	3400
350	300	1250
400	200	300
450	100	150
500	50	125

ратурном интервале огнезащищенного ППУ, содержащего примерно одинаковое общее количество азота и фосфора, по сравнению с исходным полимером наблюдается поступление их в газовую фазу в меньшем объеме (в 1,4 раза). Этот факт свидетельствует об участии азота и фосфора, входящих в состав замедлителя горения, в образовании органоминерального каркаса. С другой стороны, для того чтобы определить вклад процессов, протекающих в твердой и газовой фазах, в ингибирование горения ППУ, необходимо, наряду с летучими азотфосфорсодержащими соединениями, учитывать и вклад галогенсодержащего продукта (ТХЭФ). Хлорсодержащие

Таблица 4. Сопоставительные данные по потерям азота (ΔN), фосфора (ΔP) и хлора (ΔCl) при термоллизе исходной и трудногорючей пенополиуретановых композиций [22–24]

Table 4. Comparative data about the loss of nitrogen (ΔN), phosphorus (ΔP) and chlorine (ΔCl) during the thermolysis of the initial and hardly combustible polyurethane foam compositions [22–24]

Температура, °C Temperature, °C	Потери для исходного/огнезащищенного ППУ Losses for source/fireproof foam			
	Δm , %	ΔN , г ΔN , g	ΔP , г ΔP , g	ΔCl , г ΔCl , g
200	9,7/8,4	1,76/0,90	0,37/0,35	–/1,11
300	35,8/32,9	2,20/1,59	2,94/1,69	–/1,11
400	41,8/39,5	2,40/1,75	3,63/2,78	–/1,11
500	59,6/54,2	2,89/2,28	4,74/3,64	–/1,11
Всего Total	–	9,25/6,52	11,68/8,46	–/4,44

Примечания: 1. Содержание азота и фосфора в исходном непрогретом ППУ: N — 5,5 г; P — 6,6 г.

2. Общее содержание ингибиторов горения в трудногорючем ППУ: N — 5,3 г; P — 6,9 г; Cl — 1,1 г.

Notes: 1. The content of nitrogen and phosphorus in the source unheated PPU: N — 5,5 g; P — 6,6 g.

2. The total content of combustion inhibitors in slow-burning polyurethane foam: N — 5,3 g; P — 6,9 g; Cl — 1,1 g.

летучие продукты разложения этой добавки также поступают в газовую фазу и принимают участие в ингибировании радикальных реакций, ответственных за развитие процесса горения. В этом случае

по сравнению с исходным материалом в газовую фазу при огневом воздействии на огнезащитный ППУ поступает большее количество азотгалогенсодержащих летучих ингибиторов горения. Одновременно в твердых продуктах термолитического разложения ППУ отмечается более высокое содержание фосфора. Отсутствие ингибирующего эффекта при использовании азот-, галоген- и фосфорсодержащих замедлителей горения по отдельности, а также полученные количественные данные о распределении азота, хлора и фосфора между конденсированной и газовой фазами позволяют установить механизм синергического действия азот-, галоген- и фосфорсодержащих антипиренов: фосфор преимущественно участвует в образовании конденсированных органоинеральных термоизолирующих структур, а азот и хлор являются ингибиторами радикальных процессов в пламенной зоне.

С использованием синтезированного аммонийфосфатного замедлителя горения АМФ5, взятого в различных концентрациях, индивидуального ТХЭФ и их смеси установлена зависимость нормативных параметров горючести от количественного содержания в исследуемой ППУ-композиции ингибирующих элементов. Найдено, что композиционный материал является трудногорючим, если содержание азота либо азота и хлора составляет не менее 0,7–1,6 г, а фосфора — не менее 1,25 г на 100 г ППУ-композиции. При более низких концентрациях элементов, способных образовать летучие ингибиторы горения, нормативный параметр приращения температуры отходящих газов не достигается. Нормативный параметр по потере массы ППУ наиболее чувствителен к содержанию фосфора.

На первом этапе исследования возможности практического использования трудногорючей быстротвердеющей ППУ-пены в качестве средства, препятствующего распространению горения, изучали эффективность ее применения для локализации пожаров в кабельных шахтах зданий, которые отличаются высокой скоростью распространения горения снизу-вверх и сверху-вниз из-за образования горящих капель расплава полимерных оболочек кабеля.

Предварительные сравнительные испытания эффективности локализации горения с применением исходного и трудногорючего ППУ проведены на экспериментальной установке, моделирующей реальные условия при пожаре в кабельной шахте [25]. При измерении температуры на необогреваемой поверхности термоизолирующих пробок установлено, что при 10-минутном горении кабелей с поливинилхлоридной изоляцией на необогреваемой поверхности пробки из трудногорючего ППУ зарегистрирована температура 20 °С, тогда как в аналогичных испытаниях исходного материала температура со-

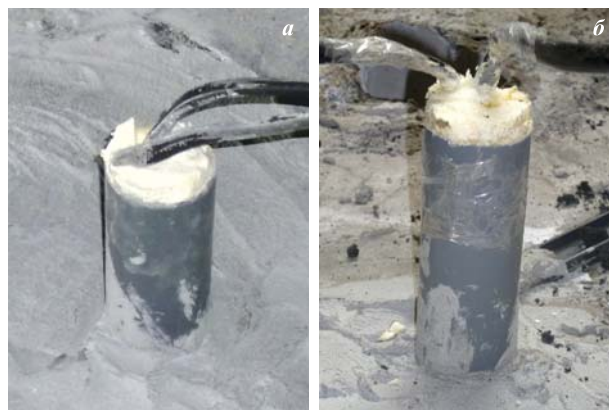


Рис. 3. Результат полигонных испытаний трудногорючего пенополиуретана по ГОСТ 30247.0–94 и ГОСТ 30247.1–94: а — до испытания; б — после испытания

Fig. 3. The result of ground tests of slow-burning polyurethane foam according to Interstate Standard 30247.0–94 and Interstate Standard 30247.1–94: a — before the test; b — after the test

ставляла 195 °С. Полученные результаты подтверждены проведением полигонных испытаний трудногорючего ППУ для огнезащиты кабельных проходок по ГОСТ 30247.0–94 и ГОСТ 30247.1–94. При 60-минутном испытании целостность кабеля не нарушалась (рис. 3), максимальная температура на необогреваемой поверхности ППУ-заделки кабеля составляла 62 °С, а на оболочке кабеля — 59,6 °С. Для сравнения согласно НПБ 237–97 критическая температура нагрева материала оболочки кабеля в необогреваемой зоне должна быть не выше 145 °С.

Для тушения лабораторных очагов пожара класса А и В пенополиуретановой пеной использовали оригинальную переносную установку [26], состоящую из двух емкостей и пистолета-распылителя. В первой емкости находилась смесь компонента А с замедлителем горения, во второй — компонент Б. Для определения расхода огнетушащего средства (ОС) на тушение очагов класса А и В использовали показатель удельного расхода ОС на 1 м² поверхности горения Q (дм³/м²) [27]:

$$Q = V_T / F_T,$$

где V_T — объем ОС, израсходованного на тушение, дм³;

F_T — площадь поверхности горения, м².

В табл. 5 представлены сопоставительные данные по огнетушащей эффективности ППУ при тушении очагов пожара класса А по сравнению с водой, водой с поверхностно-активным веществом (ПАВ) и специализированными жидкостными синтетическими средствами на основе аммонийных металлофосфатов [28].

Как следует из полученных сопоставительных данных (см. табл. 5), огнетушащая эффективность при тушении очага пожара класса А существенно выше по сравнению с водой и водой с ПАВ и сопо-

Таблица 5. Расход огнетушащих средств на тушение лабораторного очага пожара класса А [27, 29]**Table 5.** The extinguishing agents (EA) consumption to extinguish a laboratory fire site with class A [27, 29]

Огнетушащее средство Extinguishing agent	Концентрация ОС, % EA concentration, %	Объем ОС, израсходованного на тушение, $\text{l} \cdot 10^{-3}, \text{dm}^3$ The volume of EA spent on quenching, $\text{l} \cdot 10^{-3}, \text{dm}^3$	Наличие повторного воспламенения Reignition	Удельный расход ОС, dm^3/m^2 Specific EA consumption, dm^3/m^2
Вода Water	–	60,0	Нет No	0,50
ПО-6НСВ PO-6NSV	1	45,0		0,38
АН-60 AN-60	15	26,7		0,22
СиАНС SiANS	15	22,5		0,19
Труднотгнущий ППУ Slow-burn-ing PPU	–	19,6		0,16

ставима по удельному расходу со специализированными жидкостными средствами (АН-60, СиАНС), используемыми для тушения твердых горючих материалов [27, 29]. Лабораторный очаг пожара класса В представлял собой круглый противень из листовой стали объемом 120 dm^3 и площадью $0,02 \text{ m}^2$.

Сопоставительные данные по удельным расходам известных пенообразователей и труднотгнущего ППУ на тушение лабораторного очага класса В приведены в табл. 6.

Из данных табл. 6 следует, что удельный расход на тушение пожара В конденсированной трудно-

Таблица 6. Расходы огнетушащих средств на тушение очага пожара класса В [27, 29]**Table 6.** Costs of extinguishing facilities to extinguish a fire site with class B [27, 29]

Огнетушащее средство Extinguishing agent	Удельный расход ОС, $\text{dm}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{с})$ Specific EA consumption, $\text{dm}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{с})$
Тонкораспыленная вода Finely atomized water	0,30
Раствор пенообразователя с применением / Foaming agent solution using:	
фторсодержащих пленкообразующих ПО целевого назначения fluorinated film-forming software for special purposes	0,10
ПО-1 / PO-1	0,08
ПО-1Д / PO-1D	0,12
САМПО, ПО-6НП / SAMPO, PO-6NP	0,15
ПО-ЗАИ, ТЭАС, ПО-ЗНПЮ, ПО-6ТС / PO-ZAI, TEAS, PO-ZNPYu, PO-6TS	0,15
Огнезащищенный ППУ Fireproof PUF	0,06

горючей пены существенно меньше аналогичных расходов пенообразующих ПАВ.

На рис. 4 представлены результаты тушения лабораторных очагов пожаров классов А и В.

Конденсированная труднотгнущая ППУ-пена может представлять интерес для тушения оборудования, находящегося под напряжением. Установлено, что электрическое сопротивление исследуемого материала сопоставимо с аналогичным параметром



Рис. 4. Результаты тушения лабораторных очагов пожаров класса А (а, б) и класса В (в, г) до испытания (а, в) и после испытания (б, г)
Fig. 4. The results of extinguishing a laboratory fire site with class A (a, b) and B (v, g) before the test (a, v) and after the test (b, g)

для воздуха — $R > 1$ МОм. Для сравнения электрическое сопротивление воды — 300 КОм. Следовательно, трудногорючий ППУ является перспективным средством тушения электроустановок, находящихся под напряжением.

Таким образом, на базе компонентов напыляемого жесткого пенополиуретана марки “Изолан-125” разработана трудногорючая композиция, имеющая широкий диапазон применения (огнезащитные теплоизоляционные материалы, изделия, защита кабельных проходок от распространения огня). Впервые показана перспективность использования распыляемой пены в момент ее получения в качестве эффективного огнетушащего средства комплексного действия для тушения пожаров класса А и В, а также в электрических установках, находящихся под напряжением. Установлено, что такой эффект достигается за счет реализации нескольких механизмов прекра-

щения горения в присутствии N-, P-, Cl-содержащей антипиреновой системы: образование прочной закрытопористой термоизолирующей структуры, защищающей горючий материал от воздействия температуры, затрудняющей доступ воздуха в зону горения и препятствующей поступлению летучих горючих продуктов в пламенную зону. Одновременно в газовую фазу происходит выход летучих азот- и галогенсодержащих продуктов, нейтрализующих активные центры пламени, что приводит к изменению условий тепло- и массопереноса между пиролизующимся в конденсированной фазе полимером и пламенной зоной. Синергизм азот-, галоген- и фосфорсодержащих антипиренов обусловлен участием фосфора в образовании преимущественно расплавленных или вспененных органоминеральных продуктов в конденсированной фазе, а азот и галогены являются ингибиторами радикальных реакций в газовой фазе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванников В. П., Ключ П. П. Справочник руководителя тушения пожара. — М. : Стройиздат, 1987. — 288 с.
2. Weil E. D., Levchik S. V. Commercial flame retardancy of polyurethanes // Journal of Fire Sciences. — 2004. — Vol. 22, No. 3. — P. 183–210. DOI: 10.1177/0734904104040259.
3. Сучков В. П., Мольков А. А. Технология производства трудногорючего пенополиуретана с использованием фосфогипса // Известия высших учебных заведений. Строительство. — 2009. — № 6(606). — С. 25–29.
4. Dong Q., Chen K., Jin X., Sun S., Tian Y., Wang F., Liu P., Yang M. Investigation of flame retardant flexible polyurethane foams containing DOPO immobilized titanium dioxide nanoparticles // Polymers. — 2019. — Vol. 11, No. 1. — P. 75–86. DOI: 10.3390/polym11010075.
5. Chattopadhyay D. K., Webster D. C. Thermal stability and flame retardancy of polyurethanes // Progress in Polymer Science. — 2009. — Vol. 34, No. 10. — P. 1068–1133. DOI: 10.1016/j.progpolymsci.2009.06.002.
6. Vitkauskienė I., Makuška R., Stirna U., Cabulis U. Thermal properties of polyurethane-polyisocyanurate foams based on poly(ethylene terephthalate) waste // Materials Science. — 2011. — Vol. 17, No. 3. — P. 249–253. DOI: 10.5755/j01.ms.17.3.588.
7. Jin X., Gu X., Chen C., Tang W., Li H., Liu X., Bourbigot S., Zhang Z., Sun J., Zhang S. The fire performance of polylactic acid containing a novel intumescent flame retardant and intercalated layered double hydroxides // Journal of Materials Science. — 2017. — Vol. 52, No. 20. — P. 12235–12250. DOI: 10.1007/s10853-017-1354-5.
8. Kim Y. S., Davis R., Cain A. A., Grunlan J. C. Development of layer-by-layer assembled carbon nanofiber-filled coatings to reduce polyurethane foam flammability // Polymer. — 2011. — Vol. 52, No. 13. — P. 2847–2855. DOI: 10.1016/j.polymer.2011.04.023.
9. Singh H., Jain A. K., Sharma T. P. Effect of phosphorus-nitrogen additives on fire retardancy of rigid polyurethane foams // Journal of Applied Polymer Science. — 2008. — Vol. 109, No. 4. — P. 2718–2728. DOI: 10.1002/app.28324.
10. Лучкина Л. В., Рудь Д. А., Рудакова Т. А., Сухов А. В. Влияние концентрации антипирена и химической структуры жестких пенополиуретанов на их пожароопасность // Полимерные материалы пониженной горючести : тр. VI Международной конференции (Россия, г. Вологда, 14–18 марта 2011 г.). — Вологда : ВоГТУ, 2011. — С. 43–45.
11. Feske E. F., Brown W. R. Flame retardant pentane blown polyisocyanurate foams for roofing // Proceedings of Polyurethanes Expo 2002 (Salt Lake City, UT, 13–16 October, 2002). — Washington : American Plastics Council, 2002. — P. 32–40.
12. Thirumal M., Singha N. K., Khastgir D., Manjunath B. S., Naik Y. P. Halogen-free flame-retardant rigid polyurethane foams: Effect of alumina trihydrate and triphenylphosphate on the properties of polyurethane foams // Journal of Applied Polymer Science. — 2010. — Vol. 116, No. 4. — P. 2260–2268. DOI: 10.1002/app.31626.

13. Богданова В. В., Кобец О. И. Синтез и физико-химические свойства фосфатов двух- и трехвалентных металлов-аммония (обзор) // Журнал прикладной химии. — 2014. — Т. 87, №. 10. — С. 1385–1399.
14. Богданова В. В., Лахвич В. В., Врублевский А. В., Дмитриченко А. С. Огнетушащая эффективность жидкостных химических составов при тушении пожаров класса А распылительными устройствами пожаротушения // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. — 2008. — № 1. — С. 35–41.
15. Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : МГУ, 1970. — 488 с.
16. Марченко З. Фотометрическое определение элементов / Пер. с польского. — М. : Мир, 1971. — 501 с.
17. Тихонов М. М. Огнепреграждающая композиция на основе жесткого напыляемого пенополиуретана // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. — 2013. — № 1(33). — С. 50–60.
18. Allan D., Daly J., Liggat J. J. Thermal volatilisation analysis of TDI-based flexible polyurethane foam // Polymer Degradation and Stability. — 2013. — Vol. 98, No. 2. — P. 535–541. DOI: 10.1016/j.polymerdegradstab.2012.12.002.
19. Решетников С. М., Шиляев А. В., Зенитова Л. А. Термическое разложение пенополиуретанов с антипиренами // Полимерные материалы пониженной горючести : тр. VI Международной конференции (Россия, г. Вологда, 14–18 марта 2011 г.). — Вологда : ВоГТУ, 2011. — С. 23–27.
20. König A., Kroke E. Flame retardancy working mechanism of methyl-DOPO and MPPP in flexible polyurethane foam // Fire and Materials. — 2012. — Vol. 36, No. 1. — P. 1–15. DOI: 10.1002/fam.1077.
21. Jiao C., Wang H., Zhang Z., Chen X. Preparation and properties of an efficient smoke suppressant and flame-retardant agent for thermolastic polyurethane // Polymers for Advanced Technologies. — 2017. — Vol. 28, No. 12. — P. 1690–1698. DOI: 10.1002/pat.4041.
22. Богданова В. В., Кобец О. И., Бурая О. Н. Направленное регулирование огнезащитной и огнетушащей эффективности N–P-содержащих антипиренов в синтетических и природных полимерах // Горение и взрыв. — 2019. — Т. 12, № 2. — С. 106–115. DOI: 10.30826/CE19120214.
23. Богданова В. В., Тихонов М. М. Влияние замедлителей горения на термические и огнестойкие свойства жесткого пенополиуретана // Известия ЮФУ. Технические науки. — 2013. — № 8(145). — С. 49–53.
24. Богданова В. В., Кобец О. И., Тихонов М. М. Факторы, оказывающие доминирующее влияние на прекращение горения природных и синтетических материалов // Полимерные материалы пониженной горючести : тр. VIII Международной конференции (Республика Казахстан, г. Алматы, 5–10 июня 2017 г.). — Кокшетау : Кокшетауский технический институт Комитета по чрезвычайным ситуациям МВД Республики Казахстан, 2017. — С. 88–91.
25. Богданова В. В., Тихонов М. М. Исследование эксплуатационных и огнезащитных свойств пенополиуретановых конденсированных пен // Весці нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя фізіка-тэхнічных навук [Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия физико-технических наук]. — 2013. — № 1. — С. 24–28.
26. Пат. 10112 Республика Беларусь. МПК А 62С 15/00, А 62С 31/12, В 05В 7/02, В 01F 5/18, В 01F 3/14. Ранцевая установка для подачи трудногорючего ППУ / Тихонов М. М., Богданова В. В., Бурая О. Н. — № U 20130873; заявл. 30.10.2013; опубл. 30.06.2014, Бюл. № 3(98). — С. 183.
27. Богданова В. В., Тихонов М. М., Мамедов А. М. Быстротвердеющие полимерные пены для ограничения распространения и тушения пожаров // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. — 2016. — № 2(24). — С. 4–9.
28. Тихонов М. М., Богданова В. В. Трудногорючий пенополиуретан как огнетушащее средство // Полимерные композиты и трибология (Поликомтриб–2017) : тезисы докладов Международной научно-технической конференции (Республика Беларусь, г. Гомель, 27–30 июня 2017 г.). — Гомель : ИММС НАН Беларуси, 2017. — С. 75.
29. Богданова В. В., Тихонов М. М., Мамедов А. М. Полимерное огнетушащее средство для тушения пожаров в электроустановках, находящихся под напряжением // Строительство: новые технологии — новое оборудование. — 2017. — № 12. — С. 60–66.

REFERENCES

1. V. P. Ivannikov, P. P. Klyus. *Spravochnik rukovoditelya tusheniya pozhara* [Fire ground commander handbook]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1987. 288 p. (in Russian).
2. E. D. Weil, S. V. Levchik. Commercial flame retardancy of polyurethanes. *Journal of Fire Sciences*, 2004, vol. 22, no. 3, pp. 183–210. DOI: 10.1177/0734904104040259.

3. V. P. Suchkov, A. A. Molkov. The technology for the production of slow-burning polyurethane foam using phosphogypsum. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitelstvo / News of Higher Educational Institutions. Construction*, 2009, no. 6(606), pp. 25–29 (in Russian).
4. Q. Dong, K. Chen, X. Jin, S. Sun, Y. Tian, F. Wang, P. Liu, M. Yang. Investigation of flame retardant flexible polyurethane foams containing DOPO immobilized titanium dioxide nanoparticles. *Polymers*, 2019, vol. 11, no. 1, pp. 75–86. DOI: 10.3390/polym11010075.
5. D. K. Chattopadhyay, D. C. Webster. Thermal stability and flame retardancy of polyurethanes. *Progress in Polymer Science*, 2009, vol. 34, no. 10, pp. 1068–1133. DOI: 10.1016/j.progpolymsci.2009.06.002.
6. I. Vitkauskienė, R. Makuška, U. Stirna, U. Cabulis. Thermal properties of polyurethane-polyisocyanurate foams based on poly(ethylene terephthalate) waste. *Materials Science*, 2011, vol. 17, no. 3, pp. 249–253. DOI: 10.5755/j01.ms.17.3.588.
7. X. Jin, X. Gu, C. Chen, W. Tang, H. Li, X. Liu, S. Bourbigot, Z. Zhang, J. Sun, S. Zhang. The fire performance of polylactic acid containing a novel intumescent flame retardant and intercalated layered double hydroxides. *Journal of Materials Science*, 2017, vol. 52, no. 20, pp. 12235–12250. DOI: 10.1007/s10853-017-1354-5.
8. Y. S. Kim, R. Davis, A. A. Cain, J. C. Grunlan. Development of layer-by-layer assembled carbon nano-fiber-filled coatings to reduce polyurethane foam flammability. *Polymer*, 2011, vol. 52, no. 13, pp. 2847–2855. DOI: 10.1016/j.polymer.2011.04.023.
9. H. Singh, A. K. Jain, T. P. Sharma. Effect of phosphorus-nitrogen additives on fire retardancy of rigid polyurethane foams. *Journal of Applied Polymer Science*, 2008, vol. 109, no. 4, pp. 2718–2728. DOI: 10.1002/app.28324.
10. L. V. Luchkina, D. A. Rud, T. A. Rudakova, A. V. Sukhov. The effect of the concentration of flame retardant and the chemical structure of rigid polyurethane foams on their fire hazard. In: *Polimernyye materialy ponizhennoy goryuchesti. Trudy VI Mezhdunarodnoy konferentsii* [Low Combustibility Polymeric Materials. Proceedings of VI International Conference]. Vologda, Vologda State Technical University, 2011, pp. 43–45 (in Russian).
11. E. F. Feske, W. R. Brown. Flame retardant pentane blown polyisocyanurate foams for roofing. In: *Proceedings of Polyurethanes Expo 2002 (Salt Lake City, UT, 13–16 October, 2002)*. Washington, American Plastics Council, 2002, pp. 32–40.
12. M. Thirumal, N. K. Singha, D. Khastgir, B. S. Manjunath, Y. P. Naik. Halogen-free flame-retardant rigid polyurethane foams: Effect of alumina trihydrate and triphenylphosphate on the properties of polyurethane foams. *Journal of Applied Polymer Science*, 2010, vol. 116, no. 4, pp. 2260–2268. DOI: 10.1002/app.31626.
13. V. V. Bogdanova, O. I. Kobets. Synthesis and physicochemical properties of di- and trivalent metal-ammonium phosphates. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 2014, vol. 87, no. 10, pp. 1387–1401.
14. V. V. Bogdanova, V. V. Lakhvich, A. V. Vrublevskiy, A. S. Dmitrichenko. Fire extinguishing effectiveness of liquid chemical compounds in extinguishing Class A fires with spray extinguishing devices. *Vestnik Komandno-inzhenerenogo instituta MChS Respubliki Belarus / Vestnik of the Institute for Command Engineers of the MES of the Republic of Belarus*, 2008, no. 1, pp. 35–41 (in Russian).
15. E. V. Arinushkina. *Rukovodstvo po khimicheskomu analizu pochv* [Chemical soil analysis guide]. Moscow, Lomonosov Moscow State University Publ., 1970. 488 p. (in Russian).
16. Z. Marchenko. *Fotometricheskoye opredeleniye elementov* [Photometric determination of elements]. Moscow, Mir Publ., 1971. 501 p. (in Russian).
17. M. M. Tikhonov. The fire-retardant composition based on rigid sprayed polyurethane foam. *Chrezvychaynyye situatsii: preduprezhdeniye i likvidatsiya / Emergencies: Prevention and Elimination*, 2013, no. 1(33), pp. 50–60 (in Russian).
18. D. Allan, J. Daly, J. J. Ligat. Thermal volatilisation analysis of TDI-based flexible polyurethane foam. *Polymer Degradation and Stability*, 2013, vol. 98, no. 2, pp. 535–541. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2012.12.002.
19. Reshetnikov S. M., Shilyaev A. V., Zenitova L. A. Thermal decomposition of polyurethane foams with flame retardants. In: *Polimernyye materialy ponizhennoy goryuchesti. Trudy VI Mezhdunarodnoy konferentsii* [Low Combustibility Polymeric Materials. Proceedings of VI International Conference]. Vologda, Vologda State Technical University, 2011, pp. 23–27 (in Russian).
20. A. König, E. Kroke. Flame retardancy working mechanism of methyl-DOPO and MPPP in flexible polyurethane foam. *Fire and Materials*, 2012, vol. 36, no. 1, pp. 1–15. DOI: 10.1002/fam.1077.
21. C. Jiao, H. Wang, Z. Zhang, X. Chen. Preparation and properties of an efficient smoke suppressant and flame-retardant agent for thermolastic polyurethane. *Polymers for Advanced Technologies*, 2017, vol. 28, no. 12, pp. 1690–1698. DOI: 10.1002/pat.4041.

22. V. V. Bogdanova, O. I. Kobets, O. N. Buraja. Directional regulation of the fire-protective and extinguish efficiency of N–P-containing fire retardants in synthetic and natural polymers. *Gorenie i vzryv (Moskva) / Combustion and Explosion*, 2019, vol. 12, no. 2, pp. 106–115 (in Russian). DOI: 10.30826/CE19120214.
23. Bogdanova V. V., Tikhonov M. M. Effect on thermal retardants and flame retardant properties of rigid polyurethane foam. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskiye nauki / Izvestiya SFedU. Engineering Sciences*, 2013, no. 8(145), pp. 49–53 (in Russian).
24. V. V. Bogdanova, O. I. Kobets, M. M. Tikhonov. Factors that have a dominant effect on the cessation of combustion of natural and synthetic materials. In: *Polimernyye materialy ponizhennoy goryuchesti. Trudy VIII Mezhdunarodnoy konferentsii* [Low Combustibility Polymeric Materials. Proceedings of VIII International Conference]. Republic of Kazakhstan, Almaty, 5–10 June 2017. Kokshetau, Kokshetau Technical Institute, Committee of Emergency Situations of the Ministry of Internal Affairs of the Republic of Kazakhstan, 2017, pp. 88–91 (in Russian).
25. V. V. Bogdanova, M. M. Tikhonov. Research of performance and fireproof properties of condensed polyurethane foams. *Vestsi Natsyynalnay akademii navuk Belarusi. Seryya fizika-tekhnichnykh navuk / Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Physical-Technical Series*, 2013, no. 1, pp. 24–28 (in Russian).
26. M. M. Tikhonov, V. V. Bogdanova, O. N. Buraya. Knapsack installation for delivery of slow-burning polyurethane foam. Patent BY, no. 10112, publ. date 30 June 2014, Bull. No. 3(98) (in Russian).
27. V. V. Bogdanova, M. M. Tikhonov, A. M. Mamedov. Fast-curing polymer foams for the limit of spread and extinguishing of fires. *Vestnik Komandno-inzhenernogo instituta MChS Respubliki Belarus / Vestnik of the Institute for Command Engineers of the MES of the Republic of Belarus*, 2016, no. 2(24), pp. 4–9 (in Russian).
28. M. M. Tikhonov, V. V. Bogdanova. Refractory polyurethane foam as a fire extinguishing agent. In: *Polimernyye kompozity i tribologiya (Polikomtrib–2017). Tezisy dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Polymer Composites and Tribology (Polycomtrib–2017). Abstracts of International Scientific and Technical Conference]. Republic of Belarus, Gomel, 27–30 June 2017. Gomel, IMMS NAN Belarus Publ., 2017, p. 75 (in Russian).
29. V. V. Bogdanova, M. M. Tikhonov, A. M. Mamedov. Polymeric fire extinguishing agent for extinguishing fires in live electrical installations. *Stroitelstvo: novyye tekhnologii — novoye oborudovaniye / Construction: new technologies — new equipment*, 2017, no. 12, pp. 60–66 (in Russian).

Поступила 30.08.2019, после доработки 20.09.2019;
принята к публикации 04.10.2019

Received 30 August 2019; Received in revised form 20 September 2019;
Accepted 4 October 2019

Информация об авторах

БОГДАНОВА Валентина Владимировна, д-р хим. наук, профессор, заведующая лабораторией огнетушащих материалов, Учреждение Белорусского государственного университета “Научно-исследовательский институт физико-химических проблем”, г. Минск, Республика Беларусь; Author ID: 7005614283; ORCID: 0000-0002-8557-9925; e-mail: bogdanova@bsu.by

БУРАЯ Оксана Николаевна, научный сотрудник лаборатории огнетушащих материалов, Учреждение Белорусского государственного университета “Научно-исследовательский институт физико-химических проблем”, г. Минск, Республика Беларусь; ORCID: 0000-0002-6241-1281

ТИХОНОВ Максим Михайлович, канд. техн. наук, доцент, начальник кафедры гражданской защиты, Университет гражданской защиты МЧС Республики Беларусь, г. Минск, Республика Беларусь; ORCID: 0000-0001-7631-8750; e-mail: timax1978@gmail.com

Information about the authors

Valentina V. BOGDANOVA, Dr. Sci. (Chem.), Professor, Head of Extinguishing Materials Laboratory, Institution of the Belarusian State University “Research Institute of Physical and Chemical Problems”, Minsk, Republic of Belarus; Author ID: 7005614283; ORCID: 0000-0002-8557-9925; e-mail: bogdanova@bsu.by

Oksana N. BURAYA, Researcher, Extinguishing Materials Laboratory, Institution of the Belarusian State University “Research Institute of Physical and Chemical Problems”, Minsk, Republic of Belarus; ORCID: 0000-0002-6241-1281

Maxim M. TIKHONOV, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Head of Civil Protection Department, University of Civil Protection, Ministry of Emergency Situations of Belarus, Minsk, Republic of Belarus; ORCID: 0000-0001-7631-8750; e-mail: timax1978@gmail.com

Модификация тонкослойных огнезащитных покрытий многослойными углеродными нанотрубками: физико-технологические принципы и методика применения для объектов трубопроводного транспорта

© А. В. Иванов^{1✉}, А. А. Боева¹, Ф. А. Дементьев¹, А. А. Рябов²

¹ Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149)

² НПК "ОгнеХимЗащита" (Россия, 195279, г. Санкт-Петербург, ш. Революции, 69 А)

РЕЗЮМЕ

Введение. Целью исследования было физическое обоснование принципов модификации тонкослойных вспучивающихся покрытий за счет управления их электрофизическими характеристиками и разработка методики повышения огнезащитной эффективности современных огнезащитных составов при варьировании параметров объемной фракции функционализированных многослойных углеродных нанотрубок (MWCNT).

Материалы. В качестве материалов использовались огнезащитная вспучивающаяся краска "Термобарьер" производства НПК "ОгнеХимЗащита", модифицированная MWCNT.

Экспериментальная часть включала исследование методом синхронного термического анализа, измерение диэлектрической проницаемости, определение адгезии методом отрыва, исследование электризации при нанесении огнезащитного состава на металл.

Результаты и обсуждение. Модификация огнезащитных составов за счет внедрения MWCNT в концентрациях 0,1...1,25 % об. позволяет улучшить эксплуатационные характеристики наноматериалов за счет увеличения термической стабильности огнезащитных составов при концентрации наночастиц до 0,5 % об. При этом потеря массы модифицированного MWCNT образца происходит в среднем на 20–30 % медленнее в сравнении с немодифицированным образцом. Наблюдается повышение прочности огнезащитных вспучивающихся композиций (ОВК) до 40 %. При электрофизическом воздействии происходит упорядочивание MWCNT в материале, а также снижение напряженности электрического поля, возникающего при нанесении модифицированного состава, в среднем на 40–50 %.

Заключение. Модификация огнезащитного состава MWCNT ведет к увеличению адгезионной прочности и термической стойкости ОВК при условии обеспечения стабильности наноструктур в материале. Предложенная технология применения модифицированных вспучивающихся огнезащитных составов на объектах трубопроводного транспорта должна включать элементы подготовки модифицирующей добавки и ее стабилизации для улучшения качественных характеристик огнезащитных составов с MWCNT.

Ключевые слова: огнезащитные вспучивающиеся покрытия; углеродные наноструктуры; углеводороды; синхронный термический анализ; диэлектрическая проницаемость.

Для цитирования: 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 // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2019. — Т. 28, № 5. — С. 39–50. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.05.39-50.

✉ Иванов Алексей Владимирович, e-mail: spark002@mail.ru

Modification of intumescent coatings using multilayer carbon nanotubes: physico-technological principles and method of application on the pipeline transport facilities

© Alexei V. Ivanov^{1✉}, Alina A. Boeva¹, Fedor A. Dementyev¹, Alexander A. Ryabov²

¹ Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation)

² NPK "OgneHimZashchita" (Revol'yutsii Highway, 69 A, Saint Petersburg, 195279, Russian Federation)

ABSTRACT

Introduction. The aim of the study was to physically substantiate the principles of modification of thin-layer intumescent coatings by controlling their electrophysical characteristics and to develop a technique to improve the fire retardant efficiency of modern fire retardants with varying parameters of the volume fraction of functionalized multilayer carbon nanotubes (MWCNT).

Materials. The materials used in fire retardant intumescent paint “Thermal barrier”, the production of NPK “Ogne-HimZashchita” modified by MWCNT.

Experimental part. The experimental part included a study by the method of synchronous thermal analysis, the measurement of the dielectric constant, determination of adhesion and the study of electrification when applied, a fire retardant metal.

Results and discussion. Modification of fire retardants due to the introduction of MWCNT in concentrations of 0.1...1.25 % by vol. allows to improve the performance of nanomaterials by increasing the thermal stability of fire retardants at a concentration of nanoparticles up to 0.5 % by vol. In this case, the mass loss of the modified MWCNT sample occurs on average 20–30 % slower in comparison with the unmodified sample. There is an increase in the strength of intumescent fire retardant composition (IFRC) to 40 %. When electrophysical action occurs ordering MWCNT in the material, and also reduces the electric field generated by applying the modified composition on average by 40–50 %.

Conclusion. Modification of MWCNT fire retardants leads to an increase in adhesive strength and increase in thermal resistance of IFRC, provided the stability of nanostructures in the material. The proposed technology of application of modified intumescent fire retardants at pipeline transport facilities should include elements of preparation of the modifying additive and its stabilization to improve the quality characteristics of the fire retardants with MWCNT.

Keywords: fire retardant intumescent coating; carbon nanostructures; hydrocarbons; synchronous thermal analysis; dielectric constant.

For citation: A. V. Ivanov, A. A. Boeva, F. A. Dementyev, A. A. Ryabov. Modification of intumescent coatings using multilayer carbon nanotubes: physico-technological principles and method of application on the pipeline transport facilities. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2019, vol. 28, no. 5, pp. 39–50 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2019.28.05.39-50.

✉ Alexei Vladimirovich Ivanov, e-mail: spark002@mail.ru

Введение

Трубопроводный транспорт является важным звеном в нефтяной и газовой промышленности. В состав трубопроводного транспорта, помимо компрессорных установок, трубопроводов, запорно-регулирующих устройств, входят металлоконструкции, выполняющие несущие функции для его отдельных элементов. При авариях на трубопроводном транспорте наблюдаются взрывы, пожары, сопровождающиеся выбросами нефтепродуктов, а также факельное горение углеводородов. Потеря несущей функции металлоконструкций в условиях углеводородного пожара приводит к деформации и нарушению герметичности аппаратов, трубопроводов и другого технологического оборудования, что может повлечь за собой каскадный характер развития аварии (ГОСТ Р ЕН 1363-2-2014, [1]).

Для обеспечения требуемых пределов огнестойкости наружные коммуникации объектов транспортировки природного газа, нефти и нефтепродуктов, несущие металлические элементы (опоры и другие металлические конструкции) трубопроводного транспорта обрабатываются тонкослойными огнезащитными покрытиями. В нормативно-правовых документах (ГОСТ Р 57385-2017, [2]) обозначены требования к эксплуатационным характеристикам огнезащитных покрытий трубопроводного транспорта — адгезионной и механической прочности, водонепроницаемости, химической стойкости, электрохимической нейтральности, термостойкости и др. Одной из проблем обеспечения огнезащитного действия покрытий является их недостаточная термическая стойкость при факельном горении углеводородов, характерном для объектов нефтегазового комплекса [3].

Перспективным направлением улучшения эксплуатационных характеристик огнезащитных вспучивающихся композиций (ОВК) является использование в качестве модификаторов углеродных наноструктур (УНС). В отличие от неструктурированных углеродных материалов (терморасширяющийся графит, углеродистые сажи и др.) УНС и материалы на их основе обладают аномальными механическими [4], электрофизическими [5], теплофизическими [6] и сорбционными [7] свойствами. Модификация компонентов огнезащитных вспучивающихся составов многослойными углеродными нанотрубками (MWCNT) приводит к улучшению эксплуатационных характеристик сырья (табл. 1) и продукции на его основе [8–10].

До недавнего времени УНС являлись весьма дорогостоящими модификаторами, однако увеличение объемов их производства [11] позволяет уже сейчас применять их в достаточно больших объемах в строительной отрасли [12].

Применительно к огнезащите металлоконструкций трубопроводного транспорта существуют технологические ограничения по использованию УНС в качестве модификаторов ОВК. Существенной проблемой наномодификации является значительная агрегация УНС при получении, транспортировке и нанесении огнезащитных составов, что может привести к снижению их эксплуатационных характеристик, вплоть до отрицательных эффектов. В данных условиях технология стабилизации наноструктур посредством изменения электрофизических свойств [13, 14] представляется наиболее возможным вариантом решения проблемы, так как не требует изменения

Таблица 1. Влияние УНС на физико-химические свойства и эксплуатационные характеристики компонентов ОБК

Table 1. Effect of MWCNT on the physical and chemical properties and performance characteristics of the components of intumescent fire retardant composition (IFRC)

Компоненты ОБК IFRC component	Содержание компонента в ОБК, % масс. Component content in IFRC, % by mass	Назначение компонента Component assignment	Концентрация MWCNT, % масс. Concentration of MWCNT, % by mass	Влияние углеродных наноструктур Effect of carbon nanostructures	Источник Source
Акриловая смола Acrylic resin	8...14	Пленкообразователь Film former	0,1...1,0	Увеличение трещиностойкости, повышение прочности полимерной матрицы, повышение электропроводности, термической стойкости, адгезионной прочности Increased crack resistance, increased strength of the polymer matrix, electrical conductivity, thermal resistance, adhesive strength	[15–17]
Кремний-органическая смола Silica resin	1,0...1,5	То же Same	0,5...5,0	Снижение электрической сопротивляемости, повышение адгезионной прочности Reducing the electrical resistance, increasing the adhesive strength	[18, 19]
Стиролбутадиеновый каучук Styrene-butadiene rubber	1...2	»	0,1...1,0	Повышение механической прочности полимера Increasing the mechanical strength of the polymer	[16]
Диоксид титана Titanium dioxide	2...4,5	Способствует формированию ячеистой (вспененной) однородной пенококсовой структуры, укрепляет коксовый слой Contribute to the formation of a cellular (foamed) homogeneous foam coke structure, strengthens the foam layer	16...38	Улучшение поглощения световой энергии; каталитическое воздействие на диоксид титана Improved absorption of light energy; catalytic effect on titanium dioxide	[20]
Полифосфат аммония Ammonium polyphosphate	25...30	Образование пенококсового слоя, замедление распространения пламени, газообразующий элемент при пенообразовании The formation of the foam layer, slowing the spread of the flame, the gas-forming element during foaming	0,025...1,0	Повышение термической стабильности Increase thermal stability	[16, 21]
Меламин Melamine	~10	То же Same	16...38	Ускорение процесса окисления в полимерной матрице Acceleration of the oxidation process in the polymer matrix	[22, 23]
Пентаэритрит Pentaerythritol	~10	Пенообразователь, повышение огнезащитной стойкости покрытия A foaming agent, the fire retardant coating increases resistance	0,1	Повышение пластичности полимера Increased plasticity of the polymer	[22]

Компоненты ОВК IFRC component	Содержание компонента в ОВК, % масс. Component content in IFRC, % by mass	Назначение компонента Component assignment	Концентрация MWCNT, % масс. Concentration of MWCNT, % by mass	Влияние углеродных наноструктур Effect of carbon nanostructures	Источник Source
Гидроксид алюминия Aluminum hydroxide	~2	Образование негорючих газо- образных продуктов (например, CO ₂ , паров воды) и отведение тепла The formation of non-flammable gaseous products (for example CO ₂ , water vapor) and dissipate heat	0,5...5,0	Способствует формирова- нию обугленного слоя, по- вышению теплопроводности полимера, замедлению выделения воды Contributes to the formation of a charred layer, increase the thermal conductivity of the polymer, slow down the release of water	[19, 24]

химического состава и условий производства компонентов ОВК.

Целью исследования было физическое обоснование принципов модификации тонкослойных вспучивающихся покрытий за счет управления их электрофизическими характеристиками и разработка методики повышения огнезащитной эффективности современных огнезащитных составов при варьировании параметров объемной фракции MWCNT.

Материалы и методы исследования

В качестве материалов исследования использовались образцы модифицированных ОВК. Основой являлась огнезащитная вспучивающаяся краска для стальных конструкций “Термобарьер” (ТУ 2313-001-30642285–2011) с диспергированными многослойными углеродными нанотрубками (MWCNT), синтезированными в Санкт-Петербургском университете Государственной противопожарной службы МЧС России в концентрации 0,10...1,25 % об. в растворителе (о-ксилол по ГОСТ 9410–78) по методике, изложенной в [8], и стабилизированными в условиях электрофизического воздействия [25].

В исследовании использовались методы:

- синхронного термического анализа (СТА) для оценки вклада MWCNT в процесс термического разложения компонентов на приборе NETZSCH STA449F3 STA449F3A-0430-M с параметрами: среда — воздушная, диапазон температур — 30–1000 °C, скорость подъема температуры/режим — 10 K/мин [26];
- измерения диэлектрической проницаемости модифицированных ОВК методом плоского конденсатора на частоте 100 Гц [27] для оценки упорядоченности наноструктур в матрице полимера;

- определения адгезионной прочности ОВК методом отрыва по ГОСТ 32299–2013;
- исследования электризации модифицированного состава при нанесении на металл по методике, изложенной в [28].

Экспериментальная часть

Исследование методом синхронного термического анализа

При исследовании контрольного (немодифицированного) и модифицированного MWCNT в концентрации 0,5 % об. образцов ОВК выявлены незначительные потери массы у модифицированного образца в сравнении с контрольным в интервале температур 400–800 °C, с дальнейшим плавным снижением потери массы при повышении темпе-

ДСК, мВт/мг
DSC, mW/mg

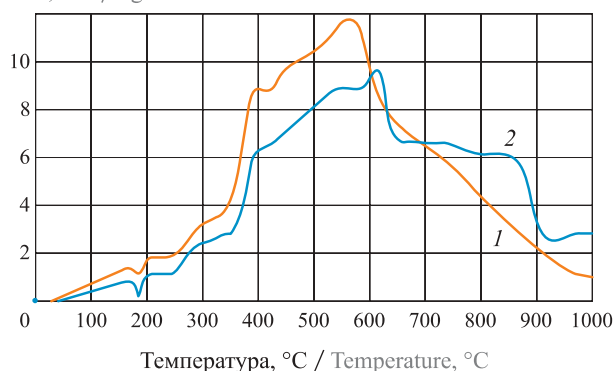


Рис. 1. Результаты исследования образцов ОВК методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК): 1 — немодифицированный образец; 2 — образец, модифицированный MWCNT в концентрации 0,5 % об.

Fig. 1. The results of the study of samples of intumescent fire retardant compositions (IFRC) by the method of differential scanning calorimetry (DSC): 1 — unmodified sample; 2 — sample modified by MWCNT with a concentration 0.5 % by vol.

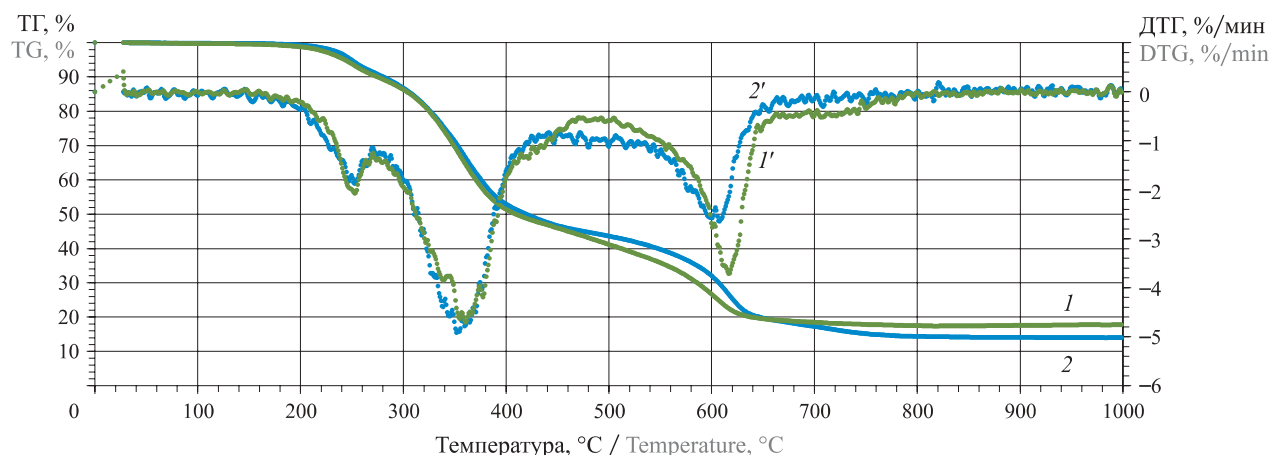


Рис. 2. Результаты исследования образцов ОВК методами термогравиметрического (ТГ) анализа (1, 2) и дифференциальной термогравиметрии (ДТГ) (1', 2'): 1, 1' — немодифицированный образец; 2, 2' — образец, модифицированный MWCNT в концентрации 0,5 % об.

Fig. 2. The results of the study of samples of IFRC by methods thermogravimetric (TG) analysis (1, 2) and differential thermogravimetry (DTG) (1', 2'): 1, 1' — unmodified sample; 2, 2' — sample modified by MWCNT with a concentration 0.5 % by vol.

ратуры до 900 °C. Для модифицированного образца ОВК происходит сдвиг максимального теплового эффекта в сторону увеличения (до 610 °C) с незначительным уменьшением его в интервале температур 630–850 °C. При дальнейшем повышении температур наблюдается скачкообразное снижение теплового эффекта при температуре выше 850 °C (рис. 1).

Процесс снижения массы для немодифицированного и модифицированного образцов ОВК начинается при температурах соответственно 220–271 и 228–271 °C. Наибольшее расхождение в потере массы образцов наблюдается в интервале температур 443–672 °C — на 1,19 %, при этом потеря массы модифицированного MWCNT образца происходит в среднем на 20–30 % медленнее в сравнении с контрольным образцом. Остаточная масса для немодифицированного образца ОВК составляет 17,76 %, для модифицированного — 14,02 % (рис. 2).

Исследование влияния условий модификаций на диэлектрическую проницаемость модифицированных ОВК

Относительное изменение диэлектрической проницаемости (ДП) при исследовании наномодифицированных материалов определялось по формуле

$$k_m = \varepsilon_{\text{мод}} / \varepsilon_{\text{нач}}, \quad (1)$$

где $\varepsilon_{\text{нач}}$, $\varepsilon_{\text{мод}}$ — полученные в ходе экспериментов значения диэлектрической проницаемости соответственно для немодифицированных и модифицированных образцов ОВК.

Наибольшее изменение диэлектрической проницаемости происходит при концентрации MWCNT 0,75 % об., а наименьшее — при концентрации 0,5 % об. (рис. 3). В условиях электрофизического воздействия наблюдаются более интенсивные изме-

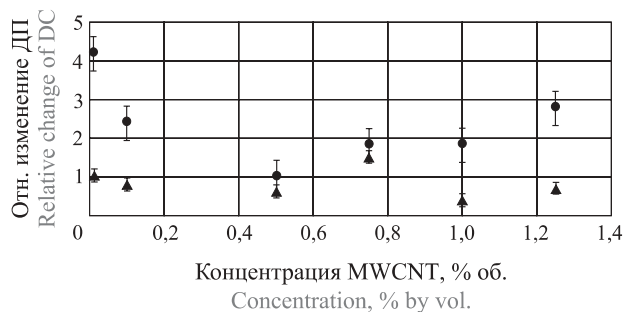


Рис. 3. Зависимость относительного изменения диэлектрической проницаемости ОВК от концентрации MWCNT (0,10–1,25 % об.) в условиях электрофизического воздействия (▲) и без него (●)

Fig. 3. The dependence of relative change in dielectric constant of IFRC on the concentration of MWCNT (0.10–1.25 % by vol.) in terms of electrophysical effects (▲) and without it (●)

нения значений диэлектрической проницаемости при концентрации 1,25 % об.

Исследование влияния MWCNT на теплофизические и адгезионные свойства

Обобщенные данные по адгезионной прочности, а также по времени начала деструкции и максимальной температуре модифицированных образцов [8] приведены в табл. 2.

Для образцов ОВК с немодифицированным грунтом ГФ-021 при увеличении адгезионной прочности с 38 до 72 МПа наблюдается увеличение значений максимальной температуры защищаемого металла до 540 °C, за исключением образца с концентрацией MWCNT 0,5 % об. Для образцов ОВК с модифицированным грунтом при росте адгезионной прочности с 34 до 60 МПа также происходит увеличение температуры образцов ОВК до 522 °C, за исключе-

Таблица 2. Обобщенные результаты испытаний образцов ОБК
Table 2. Generalized test data obtained samples IFRC

Концентрация MWCNT, % об. Concentration of MWCNT, % by vol.		Электрический потенциал при обработке грунта (56 В, 50 Гц) Electrical potential during processing in the ground (56 V, 50 Hz)	Адгезионная прочность покрытия (средняя), МПа Adhesive strength coating (average), MPa	Время начала разрушения состава <i>t</i> , мин Start time of destruction <i>t</i> , min	Максимальная температура металлической подложки, °С Maximum temperature of the metal plate, °C
в грунте ГФ-021 in the ground GF-021	в огнезащитном составе / in fire retardant composition				
0	0	–	48	10	540
0	0,1	–	72	10	492
0	0,5	–	54	13	238
0	0,75	–	46	11,5	523
0	1	–	44	11	472
0	1,25	–	38	11	438
1	0	–	34	10	450
1	0,1	–	36	9	403
1	0,5	–	45	11,5	430
1	0,75	–	48	7	514
1	1	–	60	11	478
1	1,25	–	39	7	522
0	0	+	64	14	500
0	0,1	+	51	6	467
0	0,5	+	50	5	508
0	0,75	+	60	5	457
0	1	+	62	7	276
0	1,25	+	49	6,5	364
1	0	+	42	17	529
1	0,1	+	34	4	319
1	0,5	+	47	6	480
1	0,75	+	60	11,6	470
1	1	+	54	12	473
1	1,25	+	46	12	320

нием образца с концентрацией MWCNT 0,5 % об. (рис. 4).

При электрофизическом воздействии для немодифицированного грунта ГФ-021 при росте адгезионной прочности с 49 до 64 МПа наблюдается снижение максимальной температуры образца, в то время как для модифицированного грунта наблюдается повышение адгезионной прочности с 34 до 60 МПа при максимальной температуре образца ОБК до 529 °C. Исключение составляет образец с концентрацией MWCNT в грунте 1,25 % об. (рис. 5).

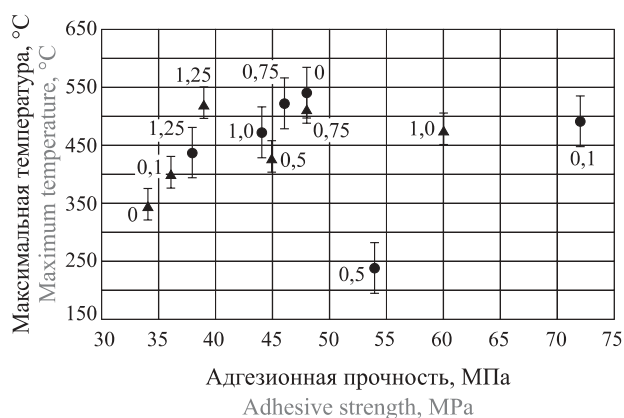


Рис. 4. Зависимость максимальной температуры защищаемого металла от адгезионной прочности ОБК с MWCNT (концентрации на графике в % об.) без электрофизического воздействия для образцов с немодифицированным грунтом (●) и с грунтом, модифицированным MWCNT 1,0 % об. (▲)

Fig. 4. Dependence of the maximum temperature of the protected metal on the adhesive strength of IFRC, with MWCNT (concentrations are shown in the graph, % by vol.) without electrophysical effects for samples with unmodified ground (●) and with modified ground MWCNT 1.0 % by vol. (▲)

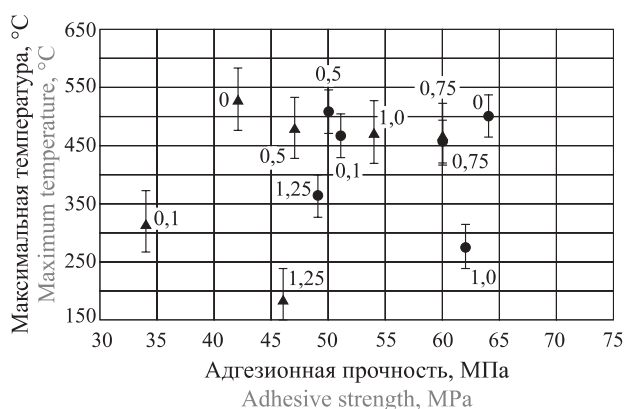


Рис. 5. Зависимость максимальной температуры защищаемого металла от адгезионной прочности ОБК с MWCNT (концентрации на графике в % об.) при электрофизическом воздействии для образцов с немодифицированным грунтом (●) и с грунтом, модифицированным MWCNT 1,0 % об. (▲)

Fig. 5. Dependence of the maximum temperature of the protected metal on the adhesive strength of IFRC with MWCNT (concentrations are shown in the graph, % by vol.) at electrophysical effects for samples with unmodified ground (●) with modified ground MWCNT 1.0 % by vol. (▲)

Исследование электризации состава при нанесении огнезащитной композиции на метал

Полученные в ходе исследования результаты свидетельствуют об увеличении напряженности электрического поля на 30–50 % при нанесении на металл модифицированного грунта ГФ-021 с концентрацией MWCNT 1,0 % об. и модифицированных огнезащитных составов с MWCNT в концентрации 0,10...1,25 % об. в сравнении с немодифицированными материалами. В условиях электрофизического

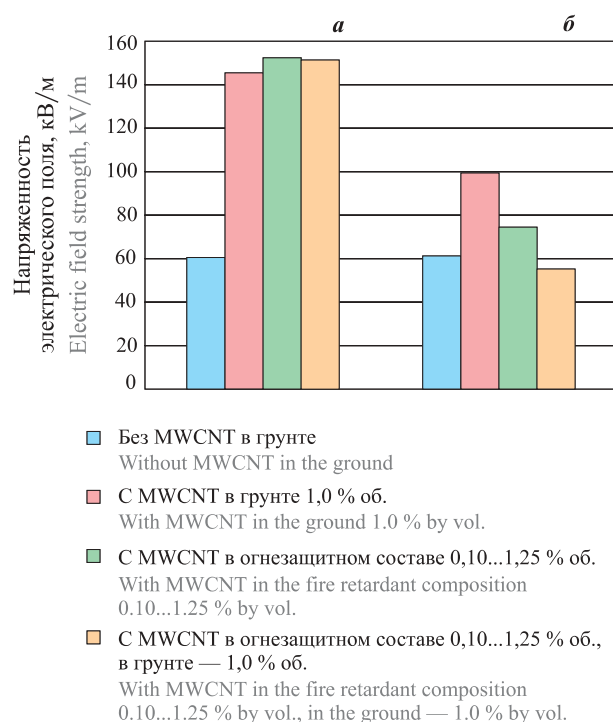


Рис. 6. Напряженность электрического поля при нанесении огнезащитного состава с MWCNT в концентрации 0,10...1,25 % об. при концентрации MWCNT в грунте 1,0 % об.: а — без электрофизического воздействия; б — при электрофизическом воздействии

Fig. 6. Electric field strength when applying fire retardant composition with MWCNT in concentrations of 0.10...1.25 % by vol., when the concentration of MWCNT in the ground of 1.0 % by vol.: а — without electrophysical effects; б — with electrophysical effects

го воздействия наблюдается снижение напряженности электрического поля на 40–50 % в сравнении с образцами, наносимыми без электрофизического воздействия (рис. 6).

Результаты и их обсуждение

Результаты СТА компонентов ОВК позволяют сделать вывод, что внедрение MWCNT в матрицу ОВК приводит к увеличению термической стабильности огнезащитного состава, что в целом согласуется с работами [14, 29–33]. Вместе с тем наличие заметного теплового эффекта для модифицированных ОВК в интервале температур 680–850 °С позволяет сделать предположение о сохранении большего количества горючих компонентов в сравнении с немодифицированными составами.

Результаты измерений диэлектрической проницаемости исследуемых образцов ОВК в условиях электрофизического воздействия свидетельствуют о более равномерном распределении УНС при концентрациях MWCNT свыше 0,5 % об. в сравнении с контрольным образцом за счет механизма взаимной ориентации MWCNT вдоль силовых линий внешнего электрического поля [34].

Сопоставляя данные по максимальной температуре и адгезионной прочности образцов ОВК, приведенные в работе [8], можно сделать вывод, что величина адгезионной прочности коррелирует со временем начала температурной деструкции ОВК. Более позднее начало термической деструкции компонентов ОВК приводит к более медленному росту температуры защищаемого металла.

В случае электрофизического воздействия при нанесении огнезащитного состава происходит снижение напряженности возникающего электрического поля, что связано с увеличением его электропроводности и меньшей агрегацией наночастиц при образовании слоя ОВК. При электрофизическом воздействии наблюдается уменьшение размера агрегаций MWCNT в растворителе на 60–70 % [35]. При этом уменьшается размер капель при распыле огнезащитной краски [34], что обеспечивает более равномерное распределение модифицированного состава на поверхности металла и позволяет улучшить адгезионные и прочностные характеристики огнезащитных покрытий. В большинстве случаев сравнительно более высокая термическая устойчивость ОВК наблюдается при концентрации УНС до 0,5 % об. Это объясняется тем, что при увеличении концентрации УНС за счет агрегации наночастиц уменьшается совокупная объемная поверхность наноструктур, в ОВК формируются микросоединения MWCNT — полимер-нанотрубки, за счет чего их огнезащитный эффект заметно снижается [36].

Увеличение термической стойкости ОВК с MWCNT также может быть связано с эффектом “наноармирования”, который препятствует распространению продуктов термического разложения из твердой фазы в газообразную [36], и химическим механизмом взаимодействия на границе металла и полимерной матрицы ОВК, что обеспечивает более высокую адгезионную прочность покрытий [37]. Это накладывает ограничение на тепловое движение молекул в полимерной матрице ОВК, что ведет к увеличению термической стойкости наноматериалов. Формирование и стабилизация термостабильных макрорадикалов MWCNT в объемной матрице ОВК приводят к увеличению термической стабильности состава [38], что обеспечивает большую сохранность вспененного теплоизолирующего слоя при пожаре.

Полученные результаты позволяют сформулировать физико-технологические принципы повышения огнезащитной эффективности тонкослойных вспучивающихся покрытий за счет применения УНС:

1. Эффект модификации с помощью MWCNT имеет комплексный характер и связан преимущественно с увеличением плотности ОВК за счет “наноармирования” и улучшенной адгезией к металлу

и в меньшей степени — с повышением термической стабильности компонентов состава.

2. Эксплуатационные характеристики модифицированных составов зависят не только от концентрации MWCNT, но и от размера агломераций наночастиц и диэлектрических свойств компонентов ОВК. Использование исследуемых MWCNT с концентрацией более 1,0 % об. неэффективно ввиду снижения адгезионной прочности ОВК.

Методика повышения огнезащитной эффективности тонкослойных вспучивающихся покрытий основана на внедрении очищенных от примесей MWCNT в растворитель [38]. Нанесение модифицированного состава на объекте защиты должно проводиться в соответствии с действующими технологическими регламентами на базовые составы, но при этом необходимо использовать оборудование для дополнительного диспергирования MWCNT в краске перед ее распылением. Определение элект-

рофизических свойств наномодификатора и оценка размеров агломераций наночастиц в материале должны проводиться на стадиях нанесения ОВК и контроля качества покрытия.

Выводы

1. Физико-технологические принципы модификации ОВК позволят повысить огнезащитную эффективность тонкослойных вспучивающихся покрытий и тем самым обеспечить устойчивость функционирования объектов нефтегазового комплекса в условиях возможных аварийных ситуаций и пожаров.

2. Технология применения ОВК с MWCNT на объектах трубопроводного транспорта, как правило, характеризующихся удаленностью от производств огнезащитных составов, должна включать элементы подготовки модифицирующей добавки и ее стабилизации для сохранения качественных характеристик наноматериалов на объекте применения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдрахманов Н. Х. Научно-методические основы обеспечения безопасной эксплуатации опасных производственных объектов нефтегазового комплекса на основе управления системными рисками : дис. ... д-ра техн. наук. — Уфа, 2014. — 266 с.
2. СП 245.1325800.2015. Защита от коррозии линейных объектов и сооружений в нефтегазовом комплексе. Правила производства и приемки работ. — М. : Минстрой России, 2016. — 51 с.
3. Цой А. А. Методика определения эффективности огнезащитных покрытий для стальных конструкций в условиях факельного углеводородного горения : дис. ... канд. техн. наук. — СПб., 2017. — 134 с.
4. Елецкий А. В. Механические свойства углеродных наноструктур и материалов на их основе // Успехи физических наук. — 2007. — Т. 177, № 3. — С. 233–274.
5. Пономарев А. Н., Юдович М. Е., Груздев М. В., Юдович В. М. Неметаллическая наночастица во внешнем электромагнитном поле. Топологические факторы взаимодействия мезоструктур // Вопросы материаловедения. — 2009. — № 4(60). — С. 59–64.
6. Терехов В. И., Калинина С. В., Леманов В. В. Механизм теплопереноса в наножидкостях: современное состояние проблемы (обзор). Часть 1. Синтез и свойства наножидкостей // Теплофизика и аэромеханика. — 2010. — Т. 17, № 1. — С. 1–15.
7. Елецкий А. В. Сорбционные свойства углеродных наноструктур // Успехи физических наук. — 2004. — Т. 174, № 11. — С. 1191–1231.
8. Иванов А. В., Боева А. А., Ивахнюк Г. К., Терехин С. Н., Пророк В. Я. Исследование эксплуатационных характеристик наномодифицированных огнезащитных вспучивающихся композиций в условиях углеводородного пожара на объектах транспортировки нефтепродуктов // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2017. — Т. 26, № 10. — С. 5–19. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.10.5-19.
9. Завьялов Д. Е., Зыбина О. А., Чернова Н. С., Варламов А. В., Мнацаканов С. С. Огнезащитные вспучивающиеся композиции на основе интеркалированного графита // Химическая промышленность. — 2009. — Т. 86, № 8. — С. 414–417.
10. Нечаев К. В., Зыбина О. А., Завьялов Д. Е., Бабкин О. Э., Мнацаканов С. С. Реакции, проходящие в огнезащитных вспучивающихся красках в присутствии углеродных нанотел // Лакокрасочные материалы и их применение. — 2012. — № 10. — С. 38–39.
11. Hanus M. J., Harris A. T. Nanotechnology innovations for the construction industry // Progress in materials science. — 2013. — Vol. 58, No. 7. — P. 1056–1102. DOI: 10.1016/j.pmatsci.2013.04.001.
12. Lee J., Mahendra S., Alvarez P. J. J. Nanomaterials in the construction industry: a review of their applications and environmental health and safety considerations // ACS Nano. — 2010. — Vol. 4, No. 7. — P. 3580–3590. DOI: 10.1021/nn100866w.

13. Yu W., France D. M., Routbort J. L., Choi S. U. S. Review and comparison of nanofluid thermal conductivity and heat transfer enhancements // *Heat Transfer Engineering*. — 2008. — Vol. 29, No. 5. — P. 432–460. DOI: 10.1080/01457630701850851.
14. Ganguli S., Aglan H., Dennig P., Irvin G. Effect of loading and surface modification of MWCNTs on the fracture behavior of epoxy nanocomposites // *Journal of Reinforced Plastics and Composites*. — 2006. — Vol. 25, No. 2. — P. 175–188. DOI: 10.1177/0731684405056425.
15. Ormsby R., McNally T., Mitchell C., Dunne N. Influence of multiwall carbon nanotube functionality and loading on mechanical properties of PMMA/MWCNT bone cements // *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*. — 2010. — Vol. 21, No. 8. — P. 2287–2292. DOI: 10.1007/s10856-009-3960-5.
16. Gu L., Qiu J., Yao Y., Sakai E., Yang L. Functionalized MWCNTs modified flame retardant PLA nanocomposites and cold rolling process for improving mechanical properties // *Composites Science and Technology*. — 2018. — Vol. 161. — P. 39–49. DOI: 10.1016/j.compscitech.2018.03.033.
17. Kugler S., Kowalczyk K., Spychar T. Hybrid carbon nanotubes/graphene modified acrylic coats // *Progress in Organic Coatings*. — 2015. — Vol. 85. — P. 1–7. DOI: 10.1016/j.porgcoat.2015.02.019.
18. Chiolerio A., Castellino M., Jagdale P., Giorcelli M., Bianco S., Tagliaferro A. Electrical properties of CNT-based polymeric matrix nanocomposites // *Carbon nanotubes — polymer nanocomposites* / S. Yellampalli (ed.). — Croatia : InTech Open Access Publisher, 2011. — P. 215–230. DOI: 10.5772/18900.
19. Zhang Y., Xiao S., Wang Q., Liu S., Qiao Z., Chi Z., Xu J., Economy J. Thermally conductive, insulated polyimide nanocomposites by AlO(OH)-coated MWCNTs // *Journal of Materials Chemistry*. — 2011. — Vol. 21, No. 38. — P. 14563–14568. DOI: 10.1039/C1JM12450A.
20. Li Z., Gao B., Chen G. Z., Mokaya R., Sotiropoulos S., Li Puma G. Carbon nanotube/titanium dioxide (CNT/TiO₂) core-shell nanocomposites with tailored shell thickness, CNT content and photocatalytic/photoelectrocatalytic properties // *Applied Catalysis B: Environmental*. — 2011. — Vol. 110. — P. 50–57. DOI: 10.1016/j.apcatb.2011.08.023.
21. Vahabi H., Gholami F., Karaseva V., Laoutid F., Mangin R., Sonnier R., Saeb M. R. Novel nanocomposites based on poly (ethylene-co-vinyl acetate) for coating applications: The complementary actions of hydroxyapatite, MWCNTs and ammonium polyphosphate on flame retardancy // *Progress in Organic Coatings*. — 2017. — Vol. 113. — P. 207–217. DOI: 10.1016/j.porgcoat.2017.08.009.
22. Li Y., Gao Y., Cao Y., Li H. Electrochemical sensor for bisphenol A determination based on MWCNT/melamine complex modified GCE // *Sensors and Actuators B: Chemical*. — 2012. — Vol. 171–172. — P. 726–733. DOI: 10.1016/j.snb.2012.05.063.
23. Guo Z., Xu X.-F., Li J., Liu Y.-W., Zhang J., Yang C. Ordered mesoporous carbon as electrode modification material for selective and sensitive electrochemical sensing of melamine // *Sensors and Actuators B: Chemical*. — 2014. — Vol. 200. — P. 101–108. DOI: 10.1016/j.snb.2014.04.031.
24. Im J. S., Bai B. C., Bae T.-S., In S. J., Lee Y.-S. Improved anti-oxidation properties of electrospun polyurethane nanofibers achieved by oxyfluorinated multi-walled carbon nanotubes and aluminum hydroxide // *Materials Chemistry and Physics*. — 2011. — Vol. 126, No. 3. — P. 685–692. DOI: 10.1016/j.matchemphys.2010.12.061.
25. Пат. 2479005 Российская Федерация. МПК G05B 24/02 (2006.01), H03B 28/00 (2006.01). Способ и устройство управления физико-химическими процессами в веществе и на границе раздела фаз / Ивахнюк Г. К., Матюхин В. Н., Ключков В. А., Шевченко А. О., Князев А. С., Ивахнюк К. Г., Иванов А. В., Родионов В. А. — № 2011118347/08; заявл. 21.01.2010; опубл. 10.04.2013, Бюл. № 10.
26. Альмяшев В. И., Гусаров В. В. Термические методы анализа : учеб. пособие. — СПб. : СПбГЭТУ (ЛЭТИ), 1999. — 40 с.
27. von Hippel A. R. Dielectrics and waves. — NY : John Wiley and Sons, 1954. — 284 p.
28. Иванов А. В., Скрипник И. Л., Воронин С. В. Исследование процессов электризации при обращении с модифицированными наножидкостями и лакокрасочными материалами // *Проблемы управления рисками в техносфере*. — 2018. — № 3(47). — С. 110–119.
29. Николайчик А. В., Прокопчук Н. Р., Шпигель Т. А., Николайчик И. В. Новые грунтовочные лакокрасочные материалы, содержащие углеродные нанотрубки // *Труды БГТУ. Серия 4: Химия, технология органических веществ и биотехнология*. — 2010. — Т. 1, № 4. — С. 139–142.
30. Shen J., Huang W., Wu L., Hu Y., Ye M. The reinforcement role of different amino-functionalized multi-walled carbon nanotubes in epoxy nanocomposites // *Composites Science and Technology*. — 2007. — Vol. 67, No. 15-16. — P. 3041–3050. DOI: 10.1016/j.compscitech.2007.04.025.
31. Jin Z., Pramoda K. P., Xu G., Goh S. H. Dynamic mechanical behavior of melt-processed multi-walled carbon nanotube/poly(methyl methacrylate) composites // *Chemical Physics Letters*. — 2001. — Vol. 337, No. 1-3. — P. 43–47. DOI: 10.1016/S0009-2614(01)00186-5.

32. Кондрашов С. В., Дьячкова Т. П., Богатов В. А., Мансурова И. А., Мараховский П. С., Мокрецова И. А., Фокин А. С. Использование углеродных нанотрубок для увеличения теплостойкости эпоксидных связующих // Перспективные материалы. — 2013. — № 2. — С. 17–23.
33. Яковлев Г. И., Михалкина Т. М., Багимов А. М., Евсягина А. В. Модификация огнезащитного силикатного покрытия углеродными нанотрубками // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. — 2012. — № 8(163). — С. 44–45.
34. Боева А. А., Иванов А. В., Шидловский Г. Л. Исследование компонентов модифицированных огнезащитных вспучивающихся композиций методом атомно-силовой микроскопии // Природные и техногенные риски (Физико-математические и прикладные аспекты). — 2018. — № 1(25). — С. 33–41.
35. Иванов А. В., Мифтахутдинова А. А., Ивахнюк Г. К., Башаричев А. В. Физико-технологические принципы и методика управления пожароопасными процессами при обращении с жидкими углеводородами в условиях стабилизации наноструктур // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 12. — С. 7–18. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.12.7-18.
36. Bikiaris D. Can nanoparticles really enhance thermal stability of polymers? Part II: An overview on thermal decomposition of polycondensation polymers // Thermochemica Acta. — 2011. — Vol. 523, No. 1-2. — P. 25–45. DOI: 10.1016/j.tca.2011.06.012.
37. Зыбина О. А. Теоретические принципы и технология огнезащитных вспучивающихся материалов : дис. ... д-ра техн. наук. — СПб., 2015. — 260 с.
38. Chrissafis K., Bikiaris D. Can nanoparticles really enhance thermal stability of polymers? Part I: An overview on thermal decomposition of addition polymers // Thermochimica Acta. — 2011. — Vol. 523, No. 1-2. — P. 1–24. DOI: 10.1016/j.tca.2011.06.010.

REFERENCES

1. N. Kh. Abdrakhmanov. *Scientific and methodical bases of ensuring safe operation of hazardous production facilities of an oil and gas complex based on management of system risks*. Abstr. Dr. Sci. (Eng.) Diss. Ufa, 2014. 266 p. (in Russian).
2. Set of rules 245.1325800.2015. *Corrosion protection of the main and field pipelines. Building and acceptance*. Moscow, Ministry of Russia Publ., 2015. 51 p. (in Russian).
3. A. A. Tsoy. *Method for determining the effectiveness of flame retardant coatings for steel structures under flare hydrocarbon combustion conditions*. Cand. Sci. (Eng.) Diss. Saint Petersburg, 2017. 134 p. (in Russian).
4. A. V. Eletskii. Mechanical properties of carbon nanostructures and related materials. *Physics-Uspekhi (Advances in Physical Sciences)*, 2007, vol. 50, no. 3, pp. 225–261. DOI: 10.1070/PU2007v050n03ABEH006188.
5. A. N. Ponomarev, M. E. Yudovitch, M. V. Gruzdev, V. M. Yudovitch. A nonmetallic nanoparticles in a superficial electromagnetic field. Topological factor of mesostructures interference. *Voprosy materialovedeniya / Problems of Materials Science*, 2009, no. 4(60), pp. 59–64 (in Russian).
6. V. I. Terekhov, S. V. Kalinina, V. V. Lemanov. The mechanism of heat transfer in nanofluids: State of the art (review). Part 1. Synthesis and properties of nanofluids. *Thermophysics and Aeromechanics*, 2010, vol. 17, no. 1, pp. 1–14. DOI: 10.1134/s0869864310010014.
7. A. V. Eletskii. Sorption properties of carbon nanostructures. *Physics-Uspekhi (Advances in Physical Sciences)*, 2004, vol. 47, no. 11, pp. 1119–1154. DOI: 10.1070/PU2004v047n11ABEH002017.
8. A. V. Ivanov, A. A. Boeva, G. K. Ivakhnyuk, S. N. Terekhin, V. Ya. Prorok. Research of operational characteristics of nanomodified fire-resistant intumescent compositions in the conditions of hydrocarbon fire at oil transportation facilities. *Pozharovzryvobezопасnost/Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 10, pp. 5–19 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.10.5-19.
9. D. E. Zavyalov, O. A. Zyбина, N. S. Chernova, A. V. Varlamov, S. S. Mnatsakanov. Fire-retardant intumescent composition based on intercalated graphite. *Khimicheskaya promyshlennost' / Russian Chemical Industry*, 2009, vol. 86, no. 8, p. 414–417 (in Russian).
10. K. V. Nechaev, O. A. Zyбина, D. E. Zavyalov, O. E. Babkin, S. S. Mnatsakanov. Reaction, which take place in the intumescent fire-retardant paints in the presence of carbon nanobodies. *Lakokrasochnie materialy i ikh primeneniye / Russian Coatings Journal*, 2012, no. 10, pp. 38–39 (in Russian).
11. M. J. Hanus, A. T. Harris. Nanotechnology innovations for the construction industry. *Progress in materials science*, 2013, vol. 58, no. 7, pp. 1056–1102. DOI: 10.1016/j.pmatsci.2013.04.001.
12. J. Lee, S. Mahendra, P. J. J. Alvarez. Nanomaterials in the construction industry: a review of their applications and environmental health and safety considerations. *ACS Nano*, 2010, vol. 4, no. 7, pp. 3580–3590. DOI: 10.1021/nn100866w.

13. W. Yu, D. M. France, J. L. Routbort, S. U. S. Choi. Review and comparison of nanofluid thermal conductivity and heat transfer enhancements. *Heat Transfer Engineering*, 2008, vol. 29, no. 5, pp. 432–460. DOI: 10.1080/01457630701850851.
14. S. Ganguli, H. Aglan, P. Denning, G. Irvin. Effect of loading and surface modification of MWCNTs on the fracture behavior of epoxy nanocomposites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 2006, vol. 25, no. 2, pp. 175–188. DOI: 10.1177/0731684405056425.
15. R. Ormsby, T. McNally, C. Mitchell, N. Dunne. Influence of multiwall carbon nanotube functionality and loading on mechanical properties of PMMA/MWCNT bone cements. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 2010, vol. 21, no. 8, pp. 2287–2292. DOI: 10.1007/s10856-009-3960-5.
16. L. Gu, J. Qiu, Y. Yao, E. Sakai, L. Yang. Functionalized MWCNTs modified flame retardant PLA nanocomposites and cold rolling process for improving mechanical properties. *Composites Science and Technology*, 2018, vol. 161, pp. 39–49. DOI: 10.1016/j.compscitech.2018.03.033.
17. S. Kugler, K. Kowalczyk, T. Spychaj. Hybrid carbon nanotubes/graphene modified acrylic coats. *Progress in Organic Coatings*, 2015, vol. 85, pp. 1–7. DOI: 10.1016/j.porgcoat.2015.02.019.
18. A. Chiolerio, M. Castellino, P. Jagdale, M. Giorcelli, S. Bianco, A. Tagliaferro. Electrical properties of CNT-based polymeric matrix nanocomposites. In: S. Yellampalli (ed.). *Carbon nanotubes — polymer nanocomposites*. Croatia, InTech Open Access Publisher, 2011, pp. 215–230. DOI: 10.5772/18900.
19. Y. Zhang, S. Xiao, Q. Wang, S. Liu, Z. Qiao, Z. Chi, J. Xu, J. Economy. Thermally conductive, insulated polyimide nanocomposites by AIO(OH)-coated MWCNTs. *Journal of Materials Chemistry*, 2011, vol. 21, no. 38, pp. 14563–14568. DOI: 10.1039/C1JM12450A.
20. Z. Li, B. Gao, G. Z. Chen, R. Mokaya, S. Sotiropoulos, G. Li Puma. Carbon nanotube/titanium dioxide (CNT/TiO₂) core-shell nanocomposites with tailored shell thickness, CNT content and photocatalytic/photocatalytic properties. *Applied Catalysis B: Environmental*, 2011, vol. 110, pp. 50–57. DOI: 10.1016/j.apcatb.2011.08.023.
21. H. Vahabi, F. Gholami, V. Karaseva, F. Laoutid, R. Mangin, R. Sonnier, M. R. Saeb. Novel nanocomposites based on poly (ethylene-co-vinyl acetate) for coating applications: The complementary actions of hydroxyapatite, MWCNTs and ammonium polyphosphate on flame retardancy. *Progress in Organic Coatings*, 2017, vol. 113, pp. 207–217. DOI: 10.1016/j.porgcoat.2017.08.009.
22. Y. Li, Y. Gao, Y. Cao, H. Li. Electrochemical sensor for bisphenol A determination based on MWCNT/melamine complex modified GCE. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2012, vol. 171–172, pp. 726–733. DOI: 10.1016/j.snb.2012.05.063.
23. Z. Guo, X.-F. Xu, J. Li, Y.-W. Liu, J. Zhang, C. Yang. Ordered mesoporous carbon as electrode modification material for selective and sensitive electrochemical sensing of melamine. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2014, vol. 200, pp. 101–108. DOI: 10.1016/j.snb.2014.04.031.
24. J. S. Im, B. C. Bai, T.-S. Bae, S. J. In, Y.-S. Lee. Improved anti-oxidation properties of electrospun polyurethane nanofibers achieved by oxyfluorinated multi-walled carbon nanotubes and aluminum hydroxide. *Materials Chemistry and Physics*, 2011, vol. 126, no. 3, pp. 685–692. DOI: 10.1016/j.matchemphys.2010.12.061.
25. G. K. Ivakhnjuk, V. N. Matjukhin, V. A. Klachkov, A. O. Shevchenko, A. S. Knjazev, K. G. Ivakhnjuk, A. V. Ivanov, V. A. Rodionov. *Method and apparatus for controlling physical-chemical processes in substance and on a phase boundary*. Patent RU, no. 2479005, publ. date 10 April 2013, Bull. No. 10 (in Russian).
26. V. I. Almyashev, V. V. Gusarov. *Termicheskiye metody analiza* [Thermal analysis methods]. Saint Petersburg, Saint Petersburg Electrotechnical University “LETI” Publ., 1999. 40 p. (in Russian).
27. A. R. von Hippel. *Dielectrics and waves*. NY, John Wiley and Sons, 1954. 284 p.
28. A. V. Ivanov, I. L. Skrypnik, S. V. Voronin. Investigation of electrification processes in handling modified nanofluids and paintwork materials. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere / Problems of Technosphere Risk Management*, 2018, no. 3(47), pp. 110–119 (in Russian).
29. A. V. Nikolaychik, N. R. Prokopchuk, T. A. Shpigel, I. V. Nikolaychik. New priming coating materials containing carbon nanotubes. *Trudy BGTU. Seriya 4: Khimiya, tekhnologiya organicheskikh veshchestv i biotekhnologiya / Proceedings of BSTU. Series 4: Chemistry, Organic Substances Technology and Biotechnology*, 2010, vol. 1, no. 4, pp. 139–142 (in Russian).
30. J. Shen, W. Huang, L. Wu, Y. Hu, M. Ye. The reinforcement role of different amino-functionalized multi-walled carbon nanotubes in epoxy nanocomposites. *Composites Science and Technology*, 2007, vol. 67, no. 15–16, pp. 3041–3050. DOI: 10.1016/j.compscitech.2007.04.025.
31. Z. Jin, K. P. Pramoda, G. Xu, S. H. Gog. Dynamic mechanical behavior of melt-processed multi-walled carbon nanotube/poly(methyl methacrylate) composites. *Chemical Physics Letters*, 2001, vol. 337, no. 1–3, pp. 43–47. DOI: 10.1016/S0009-2614(01)00186-5.

32. S. V. Kondrashev, N. P. Dyachkova, V. A. Bogatov, I. A. Mansurova, P. S. Marakhovskii, I. A. Mokretsova, A. S. Fokin. Use of carbon nanotubes for epoxy binders heat resistance increase. *Perspektivnyye materialy / Journal of Advanced Materials*, 2013, no. 2, pp. 17–23 (in Russian).
33. G. I. Yakovlev, T. M. Mikhalkina, A. M. Bagimov, A. V. Evsyagina. Modification of silicate coating fire-protection by carbon nanotubes. *Stroitelnyye materialy, oborudovaniye, tekhnologii XXI veka / Construction Materials, Equipment, Technologies of XXI Century*, 2012, no. 8(163), pp. 44–45 (in Russian).
34. A. A. Boyeva, A. V. Ivanov, G. L. Shidlovsky. Investigation of components of modified fire-protective recovery composition by the atom-force microscopy method. *Prirodnyye i tekhnogennyye riski (Fiziko-matematicheskiye i prikladnyye aspekty) / Natural and Technological Risks (Physics-Mathematical and Applied Aspects)*, 2018, no. 1(25), pp. 33–40 (in Russian).
35. A. V. Ivanov, A. A. Miftakhutdinova, G. K. Ivakhnyuk, A. V. Basharichev. Physical and technological principles and methodology for the management of fire protection processes when treating liquid hydrocarbon in the conditions of stabilization of nanostructures. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 12, pp. 7–18 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.12.7-18.
36. D. Bikiaris. Can nanoparticles really enhance thermal stability of polymers? Part II: An overview on thermal decomposition of polycondensation polymers. *Thermochimica Acta*, 2011, vol. 523, no. 1-2, pp. 25–45. DOI: 10.1016/j.tca.2011.06.012.
37. O. A. Zyбина. *Theoretical principles and technology of intumescent materials*. Dr. Sci. (Eng.) Diss. Saint Petersburg, 2015. 260 p. (in Russian).
38. K. Chrissafis, D. Bikiaris. Can nanoparticles really enhance thermal stability of polymers? Part I: An overview on thermal decomposition of addition polymers. *Thermochimica Acta*, 2011, vol. 523, no. 1-2, pp. 1–24. DOI: 10.1016/j.tca.2011.06.010.

Поступила 06.06.2019, после доработки 23.08.2019;
принята к публикации 16.09.2019

Received 6 June 2019; Received in revised form 23 August 2019;
Accepted 16 September 2019

Информация об авторах

Алексей Владимирович ИВАНОВ, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры пожарной безопасности технологических процессов и производств, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, г. Санкт-Петербург, Россия; Researcher ID: S-9000-2019; ORCID: 0000-0002-4854-9321; e-mail: spark002@mail.ru

Алина Алексеевна БОЕВА, менеджер по персоналу, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, г. Санкт-Петербург, Россия; ORCID: 0000-0001-9390-1761; e-mail: silina.2015@mail.ru

Федор Алексеевич ДЕМЕНТЬЕВ, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, г. Санкт-Петербург, Россия; ORCID: 0000-0003-1863-3001; e-mail: demafa@mail.ru

Александр Александрович РЯБОВ, главный технолог, НПК “ОгнеХимЗащита”, г. Санкт-Петербург, Россия; ORCID: 0000-0002-8171-8350; e-mail: mail@OgneHimZashita.ru

Information about the authors

Alexei V. IVANOV, Cand. Sci. (Eng.), Docent, Associate Professor of Department of Fire Safety of Technological Processes and Production, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia, Saint Petersburg, Russian Federation; Researcher ID: S-9000-2019; ORCID: 0000-0002-4854-9321; e-mail: spark002@mail.ru

Alina A. BOEVA, HR manager, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia, Saint Petersburg, Russian Federation; ORCID: 0000-0001-9390-1761; e-mail: silina.2015@mail.ru

Fedor A. DEMENTEV, Cand. Sci. (Eng.), Docent, Associate Professor of Criminalistics and Engineering Expertise Department, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia, Saint Petersburg, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-1863-3001; e-mail: demafa@mail.ru

Alexander A. RYABOV, Chief Technologist, NPK “OgneHimZashchita”, Saint Petersburg, Russian Federation; e-mail: mail@OgneHimZashita.ru

Информационные ресурсы поддержки управления безопасностью работ в непригодной для дыхания среде

© Б. Б. Гринченко^{1✉}, Н. Г. Топольский², Д. В. Тараканов¹

¹ Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России (Россия, 153040, г. Иваново, просп. Строителей, 33)

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

РЕЗЮМЕ

Введение. Современное информационное обеспечение пожарных, выполняющих работы в непригодной для дыхания среде (НДС), и техническое оснащение средствами мониторинга контроля параметров безопасности при работе газодымозащитников позволяют разработать автоматизированную информационно-управляющую систему, математической основой которой является стохастический подход. Разработана модульная структура вероятностной модели управления с описанием каждого модуля. Специфика и многообразие работ, выполняемых в непригодной для дыхания среде, требуют формирования базы данных, в которой в рамках объектно-ориентированного подхода будет осуществляться синтез информационных ресурсов поддержки управления. Представлен метод формирования информационных ресурсов, а также структура интерфейса базы данных.

Формальная постановка задачи и метод решения. Формально задача поддержки управления безопасностью при работах в непригодной для дыхания среде сводится к формированию базы данных информационных ресурсов параметров безопасности газодымозащитников, представленных как в детерминированной, так и в вероятностной постановке. Для решения данной задачи сформирована модульная структура вероятностной модели управления, где каждый модуль на различных этапах работ выполняет определенные функции. Синтез информационных ресурсов основан на мониторинге показателей безопасности работы газодымозащитников. Получаемые при этом данные поступают в аналитический блок, в котором происходит сопоставление обработанных ресурсов с запланированными показателями.

Выводы. Разработанные информационные ресурсы поддержки управления безопасностью работ в непригодной для дыхания среде построены на теоретических основах управления рисками реализации деструктивного события, состоящего в нехватке дыхательных ресурсов в баллоне дыхательного аппарата. Информационные ресурсы поддержки управления безопасностью позволяют использовать в качестве исходных данных как сохраненные результаты мониторинга показателей безопасности, так и результаты, полученные в режиме реального времени при выполнении работ в НДС от телеметрических систем. Достоинством информационных ресурсов является возможность получения, сохранения и цифровой обработки данных, принадлежащих определенному виду работ, что в дальнейшем позволит синтезировать большой объем данных в единую информационно-управляющую систему безопасной работы газодымозащитников.

Ключевые слова: пожар; управление безопасностью пожарных; деструктивные события; анализ рисков; вероятностная модель.

Работа выполнена при поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (№ 12589 ГУ/2017).

Для цитирования: Гринченко Б. Б., Топольский Н. Г., Тараканов Д. В. Информационные ресурсы поддержки управления безопасностью работ в непригодной для дыхания среде // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2019. — Т. 28, № 5. — С. 51–58. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.05.51-58.

✉ Борис Борисович Гринченко, e-mail: grinchenko.borya@mail.ru

Information resources to support safety management of work in unsuitable for breathing environment

© Boris B. Grinchenko^{1✉}, Nikolay G. Topolskiy², Denis V. Tarakanov¹

¹ Ivanovo Fire Rescue Academy of State Fire Service of Emercom of Russia (Stroiteley Avenue, 33, Ivanovo, 153040, Russian Federation)

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

ABSTRACT

Introduction. Modern information support for firefighters performing work in unsuitable for breathing environment and technical equipment monitoring means controls the safety parameters of gas and smoke protection makes

it possible to develop an automated information and control system, the mathematical basis of which is the stochastic approach. The modular structure of the probabilistic management model with the description of each module is developed. The specificity and diversity of work performed in unsuitable for breathing environment requires the formation of a database in which the management information resources will be synthesized within an object-oriented approach. The method of formation of information resources is presented, as well as the structure of the database interface is presented.

Formal task description and solution method. Formally, the task of supporting safety management during work in unsuitable for breathing environment is reduced to the formation of a database of information resources of the safety parameters of gas and smoke protection, presented in both deterministic and probabilistic formulation. To solve this problem, a modular structure of the safety management model is formed, where each module performs certain functions at different stages of work. The synthesis of information resources is based on the monitoring of gas and smoke protection safety indicators, the data from which are received in the analytical unit, which compares the processed resources with the planned indicators.

Conclusions. The developed information resources to support the safety management of work in unsuitable for breathing environment is based on the theoretical foundations of risk management for the implementation of a destructive event consisting in the lack of respiratory resources in the cylinder of breathing apparatus. The information resources of safety management support make it possible to use as source data both stored results of monitoring of safety indicators and those obtained in real time when working in unsuitable for breathing environment from telemetry systems. The advantage of information resources is the possibility of obtaining, storing and digital processing of data belonging to a certain type of work, which will further allow synthesizing a large amount of data into a single information management system for the safe operation of gas and smoke protection.

Keywords: fire; fire fighters safety management; destructive events; risk analysis; probabilistic model.

The work was supported by the Fund for assistance to the development of small enterprises in the scientific and technical field (No. 12589 GU/2017).

For citation: Boris B. Grinchenko, Nikolay G. Topolskiy, Denis V. Tarakanov. Information resources to support safety management of work in unsuitable for breathing environment. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2019, vol. 28, no. 5, pp. 51–58 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2019.28.05.51-58.

✉ Boris Borisovich Grinchenko, e-mail: grinchenko.borya@mail.ru

Введение

Безопасность пожарно-спасательных подразделений на пожарах и в других чрезвычайных ситуациях (ЧС) обеспечивается техническими решениями — использованием средств защиты от опасных факторов пожара (ОФП) и мониторингом параметров работ, проводимых в средствах индивидуальной защиты органов дыхания и зрения (СИЗОД). Предусмотренные способы системы защиты должны предотвращать воздействие на пожарных ОФП, значения которых выше критических. Все эти факторы приводят к дестабилизации системы управления в постоянно меняющейся обстановке, поэтому управление безопасностью работ, проводимых в условиях непригодной для дыхания среды (НДС), требует новых решений с учетом формирования новых информационных ресурсов, получаемых от систем мониторинга параметров средств защиты [1–3].

При ведении работ в НДС участники тушения пожара ограничены временными ресурсами. Данное ограничение напрямую связано с временем защитного действия СИЗОД (ГОСТ Р 53255–2009), а критерием управления безопасностью в данном случае является количественная оценка допустимого времени пребывания и выполнения работ в непригодной для дыхания среде. В положениях [4] при управлении безопасностью используются детерминированные процедуры, которые основаны на качественном анализе критериев [4–6]. Однако в современных условиях методологическая основа управления

безопасностью нуждается в совершенствовании по причине внедрения в практику борьбы с пожарами современных телеметрических систем мониторинга параметров безопасности работ, проводимых участниками тушения пожара, и перехода от качественного анализа цифровых данных к количественному. Метрологическая структура данных, получаемых от телеметрических систем, имеет вероятностную природу, а применение детерминированных методов при цифровой обработке данных не во всех случаях обеспечивает адекватный результат при управлении [7, 8].

Таким образом, целью настоящей работы является синтез информационных ресурсов для поддержки управления безопасностью при работах в непригодной для дыхания среде на основе общих теоретических положений управления рисками.

Анализ теоретической модели поддержки управления безопасностью при работах в непригодной для дыхания среде

Анализ непрерывных случайных величин [7–11] с учетом методологических основ позволил разработать модель управления безопасностью для участников тушения пожаров, которая в свою очередь обеспечивает контроль условий безопасной работы их в НДС на основе сопоставления реальных (текущих) и плановых значений риска наступления деструктивного события, связанного с нехваткой запасов дыхательных ресурсов. В теории управления

рисками эта модель получила широкое развитие как в отечественных [11–13], так и в зарубежных [14–21] работах. Практическая реализация предложенной модели в информационной системе поддержки управления позволит обеспечить выполнение современных требований к управлению силами и средствами пожарно-спасательных подразделений в части реализации цифровой обработки данных, получаемых от дистанционных систем мониторинга уровня безопасности для участников тушения пожара, ведущих работы в НДС. Основным достоинством предложенной информационной системы является возможность варьирования интервальными значениями критериев безопасности, что позволяет использовать их плановые и фактические характеристики и осуществлять управление как в режиме реального времени, так и на стадии планирования.

Для определения значений риска $Q(S)$ и $Q_i(S)$ выполняется расчет обобщенного показателя Z_i двух случайных величин с параметрами $\langle T_i, D_i \rangle$ и $\langle T_{3i}, D_{3i} \rangle$ по формуле

$$Z_i = \frac{T_{3i} - T_i}{\sqrt{D_{3i} + D_i}}, \quad (1)$$

где $\langle T_i, D_i \rangle$ — среднее время работы, выполняемой в НДС, и его дисперсия;

$\langle T_{3i}, D_{3i} \rangle$ — среднее время защитного действия СИЗОД и дисперсия этого времени.

Величина риска $Q_i(S)$ для случая, когда $Q \in [0,01; 0,05]$, будет определяться экспоненциальным приближением:

$$Q_i(S) = a \exp(-bZ_i^n), \quad (2)$$

где a, b, n — константы модели;

$\langle a = 0,5; b = 1,2; n = 1,25 \rangle$.

Величина риска $Q(S)$ для комплекса работ R рассчитывается по формуле

$$Q(S) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - Q_i(S)). \quad (3)$$

Общая структура вероятностной модели управления риском реализации события S при выполнении комплекса работ R в НДС представлена на рис. 1.

Методы проектирования и практической реализации автоматизированных систем для решения задач предусматривают применение декомпозиционного подхода, позволяющего представить структуру системы в виде совокупности подсистем — модулей. Исходя из специфики задач, стоящих перед автоматизированной системой, можно определить три основных модуля: информационный модуль контролируемыми ресурсами газодымозащитников; модуль структурирования и цифровой обработки информационных ресурсов; аналитический модуль уровня риска наступления деструктивного события S . Информационный модуль включает в себя средства сбора данных о текущих (реальных) значениях дыхательных ресурсов газодымозащитников в баллоне дыхательного аппарата (ДА). Синтез информационных ресурсов позволяет хранить, накапливать и обобщать поступающие данные, а также использовать их как в совокупности, так и в виде фрагментов при анализе риска наступления деструктивного события в рамках объектно-ориентированного подхода. В свою очередь, аналитический модуль оценки уровня риска позволяет проводить анализ фрагментов данных о текущих значениях дыхательных ресурсов в баллоне ДА, сравнивая их с приемлемыми (плановыми) значениями риска, зависящими от специфики реализации работ, выполняемых в НДС.

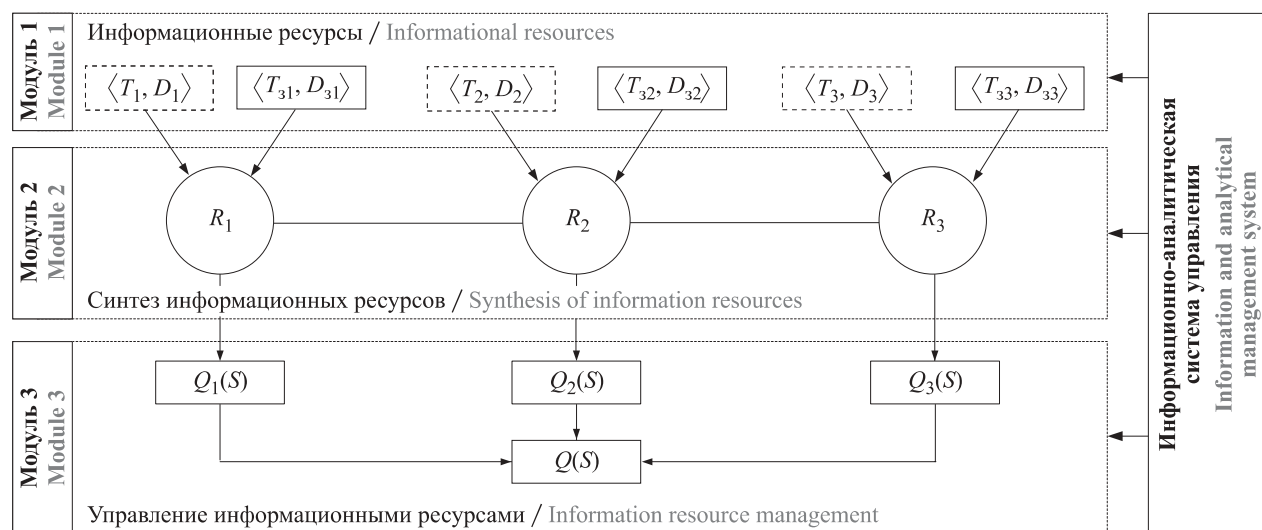


Рис. 1. Структура вероятностной модели управления риском / Fig. 1. Structure of probabilistic risk management model

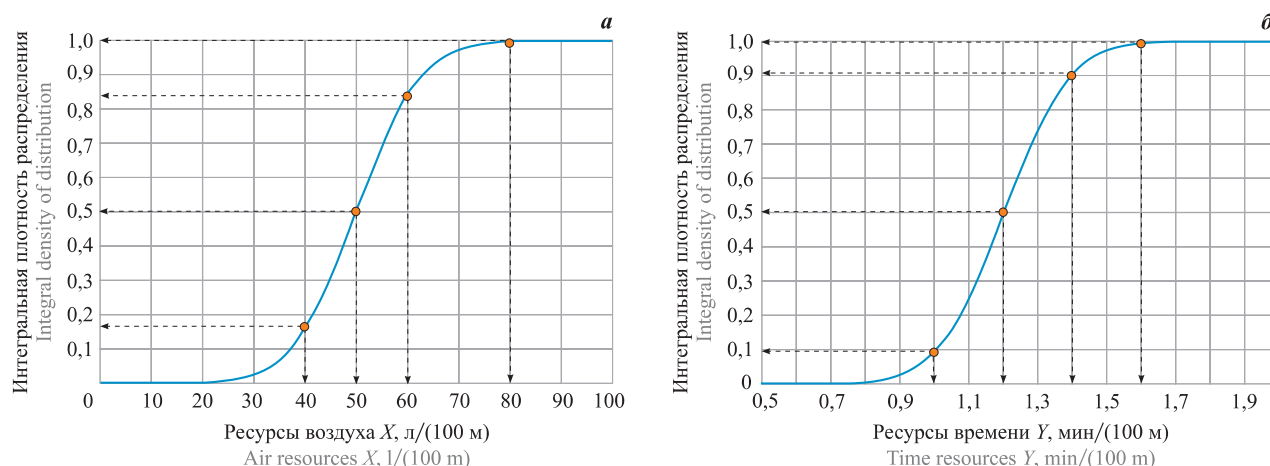


Рис. 2. Интегральные плотности распределения ресурсов воздуха X (а) и времени Y (б)

Fig. 2. The integral density of the distribution of air X (a) and time Y (b) resources

Метод получения информационных ресурсов

Для синтеза плановых значений параметров безопасности разработан метод, включающий в себя дискретную модель двух случайных величин данных X и Y . Атрибутами метода являются счетные множества:

$$\langle R, Ran, \langle X, Y \rangle \rangle, \quad (4)$$

где R — множество элементарных работ с элементами $\langle R_1; R_2; R_n \rangle$;

Ran — множество случайных равномерно распределенных чисел; $Ran \in (0, 1)$;

$\langle X, Y \rangle$ — множество дискретных значений исследуемых случайных величин.

Покажем применение метода на примере анализа простейшей элементарной работы — движения звена ГДЗС на дистанцию 100 м [22]. На основе результатов экспериментального исследования при выполнении элементарной работы распределения ресурсов воздуха X и ресурсов времени Y оценены интегральные плотности распределения ресурсов (рис. 2).

На рис. 2 показано формирование информационных ресурсов поддержки управления с использованием полученных в ходе экспериментального исследования данных. Информационные ресурсы для поддержки управления при выполнении звеном газодымозащитной службы элементарной работы — движения на расстояние 100 м представлены в таблице.

Таким образом, распределения вероятностей значений потребления воздуха и времени при выполнении элементарной работы, представленные в таблице, являются информационными ресурсами для принятия решений при управлении безопасностью работ, проводимых в НДС. Очевидно, что учесть весь перечень работ, выполняемых в НДС, не представ-

Информационный ресурс для решения задач управления
Information resource for management tasks

X	X_1	X_2	X_3	X_4	X_{cp} X_{aver}
Ресурс, л/(100 м) Resource, l/(100 m)	40	50	60	80	50
Распределение вероятностей Probability distribution	0,16	0,50	0,84	1,00	
Y	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	X_{cp} X_{aver}
Ресурс, мин/(100 м) Resource, min/(100 m)	1,0	1,2	1,4	1,6	1,2
Распределение вероятностей Probability distribution	0,09	0,50	0,91	1,00	

ляется возможным, поэтому необходимо предложить структуру информационных ресурсов для их эффективного наполнения и уточнения.

Структура информационных ресурсов

На основе синтеза эмпирических и теоретических параметров работ в непригодной для дыхания среде [7–9, 22] составляется архитектура базы данных, которая включает в себя интерфейс базы данных (рис. 3,а), фрагменты информационных ресурсов (рис. 3,б) и схему данных (рис. 3,в). Основная часть базы данных позволяет произвести выбор работ (см. рис. 3,б). После формирования запроса выполняется вывод данных в вероятностном и детерминированном виде (см. рис. 3,а).

Разработанная схема данных дает возможность добавлять новые виды работ с указанием вероятностей распределения значений анализируемых видов ресурсов. Итоговый запрос позволяет выводить необходимые данные для работы системы поддержки

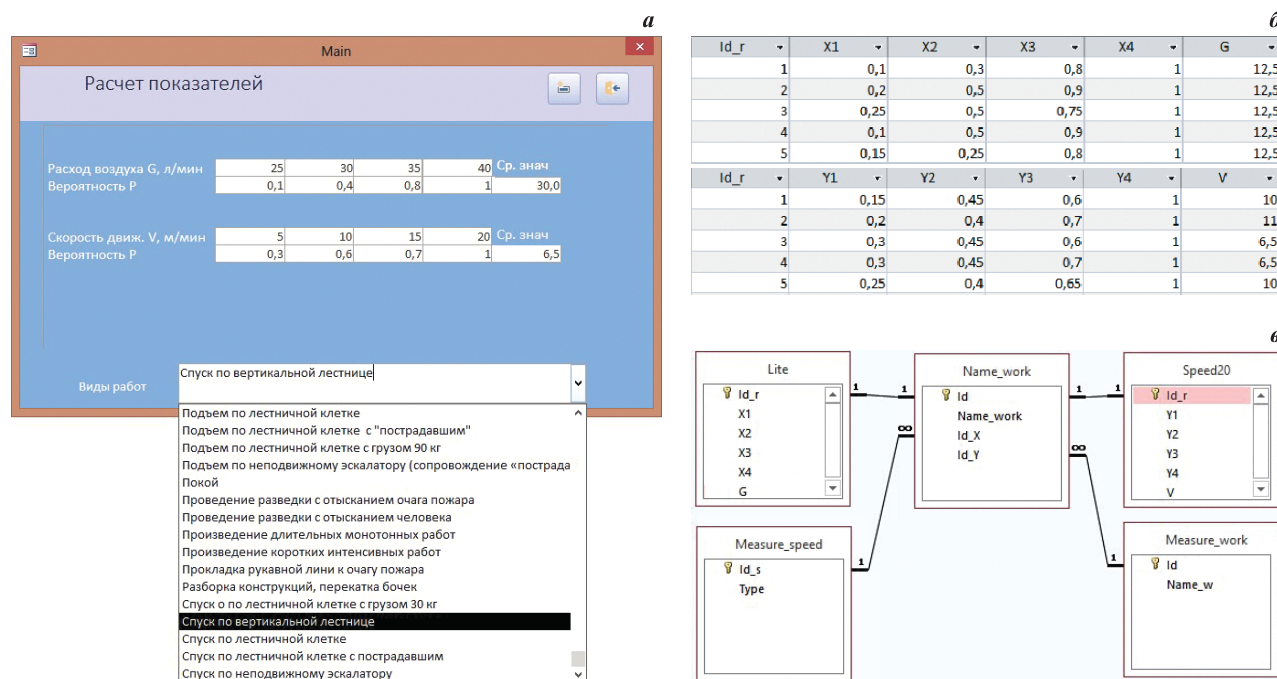


Рис. 3. База данных информационных ресурсов поддержки управления: *а* — интерфейс базы данных; *б* — фрагменты информационных ресурсов; *в* — схема данных

Fig. 3. Management support information resources Database: *a* — Database interface; *b* — fragments of information resources; *v* — Data scheme

управления безопасностью при работе газодымозащитников на пожарах в техногенных чрезвычайных ситуациях, применяемой для повышения эффективности пожарных подразделений при тушении пожаров и ликвидации чрезвычайных ситуаций.

Заключение

Деструктивные события, возникающие при работе в НДС, имеют вероятностную природу, поэтому планирование безопасной работы необходимо проводить с использованием теории управления рисками. При решении задач планирования важным аспектом является оценка необходимого запаса воздуха и его нормирование для безопасной работы в

непригодной для дыхания среде. Для решения данной задачи может быть использована разработанная в [23] модель управления безопасностью. Однако обоснованное применение этой модели возможно только в том случае, если входящие параметры модели являются непрерывными случайными величинами с нормальным распределением [7–11]. Таким образом, разработана база данных [24], содержащая информационные ресурсы системы поддержки управления безопасностью газодымозащитников, включающая в себя вероятностные модели потребления воздуха при различной производительности работ в непригодной для дыхания среде на пожарах в техногенных чрезвычайных ситуациях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Терещев В. В., Семенов А. О., Смирнов В. А., Тараканов Д. В. Анализ и поддержка решений при тушении крупных пожаров // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2010. — Т. 19, № 9. — С. 51–57.
2. Терещев В. В., Семенов А. О., Тараканов Д. В. Теоретические основы принятия решений при управлении силами и средствами на пожаре // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2012. — Т. 21, № 10. — С. 14–17.
3. Топольский Н. Г., Хабибуллин Р. Ш., Рыженко А. А., Бедило М. В. Адаптивная система поддержки деятельности центров управления в кризисных ситуациях: монография. — М.: Академия ГПС МЧС России, 2014. — 151 с.
4. Методика проведения расчетов параметров работы в средствах индивидуальной защиты органов дыхания и зрения: письмо МЧС России от 19.08.2013 № 18-4-3-3158. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456044595> (дата обращения: 06.05.2019).
5. Ногин В. Д. Принятие решений в многокритериальной среде. Количественный подход: монография. — 2-е изд. — М.: Физматлит, 2004. — 176 с.

6. Минаев В. А., Топольский Н. Г., Фаддеев А. О., Бондарь К. М., Мокшанцев А. В. Геодинамические риски и строительство. Математические модели : монография. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2017. — 208 с.
7. Стрілець В. М., Бородин П. Ю., Росоха С. В. Закономірності діяльності рятувальників при проведенні аварійно-рятувальних робіт на станціях метрополітену : монографія [Закономерности деятельности спасателей при проведении аварийно-спасательных работ на станциях метрополитена : монография]. — Харків : НУЦЗХ, КП “Міська друкарня”, 2012. — 119 с.
8. Стрелец В. М. Сравнительный анализ закономерностей расхода запаса воздуха при работе спасателей в аппаратах на сжатом воздухе // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. — 2014. — № 4(41). — С. 136–141.
9. Терехнев В. В. Расчет параметров развития и тушения пожаров. Методика. Примеры. Задания. — Екатеринбург : Калан, 2011. — 460 с.
10. Присадков В. И., Мусласова С. В., Хатунцева С. Ю., Костерин И. В., Фадеев В. Е., Шамаев А. М. Расчетные оценки эффективности тушения пожара в очаге внутренним противопожарным водоснабжением // Пожарная безопасность. — 2017. — № 1. — С. 49–53.
11. Гринченко Б. Б. Вероятностная оценка необходимого запаса воздуха в дыхательных аппаратах при работе на пожаре // Технологии техносферной безопасности. — 2017. — № 4(74). — С. 155–162.
12. Холицевников В. В. Проблема беспрепятственной эвакуации людей из зданий, пути ее решения и оценки // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2006. — Т. 15, № 1. — С. 30–35.
13. Брушлинский Н. Н., Соколов С. В., Вагнер П. Человечество и пожары (краткий очерк). — М. : Маска, 2007. — 143 с.
14. Lee E. W. M. Application of artificial neural network to fire safety engineering // Handbook on Decision Making. Intelligent Systems Reference Library / L. C. Jain, C. P. Lim (eds.). — Berlin, Heidelberg : Springer, 2010. — Vol. 4. — P. 369–395. DOI: 10.1007/978-3-642-13639-9_15.
15. Lee E. W. M., Lau P. C., Yuen K. K. Y. Application of artificial neural network to building compartment design for fire safety // Intelligent Data Engineering and Automated Learning — IDEAL 2006. Lecture Notes in Computer Science / Corchado E., Yin H., Botti V., Fyfe C. (eds.). — Berlin, Heidelberg : Springer, 2006. — Vol. 4224. — P. 265–274. DOI: 10.1007/11875581_32.
16. Mendonça D., Beroggi G. E. G., van Gent D., Wallace W. A. Designing gaming simulations for the assessment of group decision support systems in emergency response // Safety Science. — 2006. — Vol. 44, Issue 6. — P. 523–535. DOI: 10.1016/j.ssci.2005.12.006.
17. Lee J.-Y., Park J., Park H., Coca A., Kim J.-H., Taylor N. A. S., Son S.-Y., Tochiara Y. What do firefighters desire from the next generation of personal protective equipment? Outcomes from an international survey // Industrial Health. — 2015. — Vol. 53, Issue 5. — P. 434–444. DOI: 10.2486/indhealth.2015-0033.
18. Scholz M., Gordon D., Ramirez L., Sigg S., Dyrks T., Beigl M. A concept for support of firefighter front-line communication // Future Internet. — 2013. — Vol. 5, Issue 2. — P. 113–127. DOI: 10.3390/fi5020113.
19. Xing Z.-X., Gao W.-L., Zhao X.-F., Zhu D.-Z. Design and implementation of city fire rescue decision support system // Procedia Engineering. — 2013. — Vol. 52. — P. 483–488. DOI: 10.1016/j.proeng.2013.02.172.
20. Kim J. Cooperative exploration and protection of a workspace assisted by information networks // Annals of Mathematics and Artificial Intelligence. — 2014. — Vol. 70, Issue 3. — P. 203–220. DOI: 10.1007/s10472-013-9383-5.
21. Khorram-Manesh A., Berlin J., Carlström E. Two validated ways of improving the ability of decision-making in emergencies. Results from a literature review // Bulletin of Emergency and Trauma. — 2016. — Vol. 4, No. 4. — P. 186–196.
22. Гринченко Б. Б., Тараканов Д. В. Экспериментальное исследование параметров работ по устранению аварий с выбросом АХОВ на элементах транспортной инфраструктуры // Пожарная и аварийная безопасность : сб. матер. XIII Международной научно-практической конференции, посвященной году культуры безопасности (Иваново, 29–30 ноября 2018 г.). — Иваново : Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2018. — Ч. I. — С. 341–344.
23. Гринченко Б. Б., Тараканов Д. В. Модель управления безопасностью при работах на пожарах в непригодной для дыхания среде // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 6. — С. 45–51. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.06.45-51.
24. А. с. 2019620566. Информационные ресурсы системы поддержки управления газодымозащитниками / Б. Б. Гринченко. — № 2019620413; заявл. 28.03.2019, опубл. 11.04.2019, Бюл. № 4.

REFERENCES

1. V. V. Terebnev, A. O. Semenov, V. A. Smirnov, D. V. Tarakanov. Analysis and support solutions that arise when putting out large fires. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2010, vol. 19, no. 9, pp. 51–57 (in Russian).
2. V. V. Terebnev, A. O. Semenov, D. V. Tarakanov. Decision making theoretical basis of management on fire. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 10, pp. 14–17 (in Russian).
3. N. G. Topolskiy, R. Sh. Khabibulin, A. A. Ryzhenko, M. V. Bedilo. *Adaptivnaya sistema podderzhki deyatel'nosti tsentrov upravleniya v krizisnykh situatsiyakh. Monografiya* [Adaptive system of support of activities of crisis management centers. Monograph]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., Moscow, 2014. 151 p. (in Russian).
4. *Methods of calculations of parameters of work in means of individual protection of respiratory organs and sight*. Letter of Emecrom of Russia on 19 August 2013 No. 18-4-3-3158 (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/456044595> (Accessed 6 May 2019).
5. V. D. Nogin. *Prinyatiye resheniy v mnogokriterialnoy srede. Kolichestvennyy podkhod. Monografiya* [Decision-making in multi-criteria environment. Quantitative approach. Monograph]. 2nd ed. Moscow, Fizmatlit Publ., 2004. 176 p. (in Russian).
6. V. A. Minaev, N. G. Topolskiy, A. O. Faddeev, K. M. Bondar, A. V. Mokshantsev. *Geodinamicheskiye riski i stroitel'stvo. Matematicheskiye modeli. Monografiya* [Geodynamic risks and construction. Mathematical models. Monograph]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2017. 208 p. (in Russian).
7. V. M. Strelec, P. Yu. Borodich, S. V. Rosokha. *Zakonomirnosti diyalnosti ryatuvalnikov pri provedenni avariynno-ryatuvalnikh robot na stantsiyakh metropolitenу. Monografiya* [Operating procedures of rescuers during emergency rescue and salvage operations at underground stations. Monograph]. Kharkov, Miska dvukarnya Publ., 2012. 119 p. (in Ukrainian).
8. V. M. Strelec. Comparative analysis of the flow patterns of air reserve for rescuers in SCBA. *Zbirnik naukovikh prats Kharkivskogo natsionalnogo universitetu Povitryanikh Sil / Scientific Works of Kharkiv National Air Force University*, 2014, no. 4(41), pp. 136–141 (in Russian).
9. V. V. Terebnev. *Raschet parametrov razvitiya i tusheniya pozharov. Metodika. Primery. Zadaniya* [Calculation of fire development and extinguishing parameters. Methodology. Examples. Tasks]. Yekaterinburg, Kalan Publ., 2011. 460 p. (in Russian).
10. V. I. Prisadkov, S. V. Muslakova, S. Yu. Hatuntseva, I. V. Kosterin, V. E. Fadeev, A. M. Shamaev. Design assessment of the efficiency of fire fighting in the seat by the in-building fire pipeline. *Pozharnaya bezopasnost / Fire Safety*, 2017, no. 1, pp. 49–53 (in Russian).
11. B. B. Grinchenko. Probability estimation an required supply of air breathing apparatus at working on fire. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti / Technology of Technosphere Safety*, 2017, no. 4(74), pp. 155–162 (in Russian).
12. V. V. Kholshchevnikov. Variety of decisions and valuation of problem of unimpeded people evacuation from buildings. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2006, vol. 15, no. 1, pp. 30–35 (in Russian).
13. N. N. Brushlinskiy, S. V. Sokolov, P. Wagner. *Chelovechestvo i pozhary (kratkiy ocherk)* [Humanity and fires (short essay)]. Moscow, Maska Publ., 2007. 143 p. (in Russian).
14. E. W. M. Lee. Application of artificial neural network to fire safety engineering. In: L. C. Jain, C. P. Lim (eds.). *Handbook on Decision Making. Intelligent Systems Reference Library*. Berlin, Heidelberg, Springer, 2010, vol. 4, pp. 369–395. DOI: 10.1007/978-3-642-13639-9_15.
15. E. W. M. Lee, P. C. Lau, K. K. Y. Yuen. Application of artificial neural network to building compartment design for fire safety. In: E. Corchad, H. Yin, V. Botti, C. Fyfe (eds.). *Intelligent Data Engineering and Automated Learning — IDEAL 2006. Lecture Notes in Computer Science*. Berlin, Heidelberg, Springer, 2006, vol. 4224, pp. 265–274. DOI: 10.1007/11875581_32.
16. D. Mendonça, G. E. G. Beroggi, D. van Gent, W. A. Wallace. Designing gaming simulations for the assessment of group decision support systems in emergency response. *Safety Science*, 2006, vol. 44, issue 6, pp. 523–535. DOI: 10.1016/j.ssci.2005.12.006.
17. J.-Y. Lee, J. Park, H. Park, A. Coca, J.-H. Kim, N. A. S. Taylor, S.-Y. Son, Y. Tochihara. What do fire-fighters desire from the next generation of personal protective equipment? Outcomes from an international survey. *Industrial Health*, 2015, vol. 53, issue 5, pp. 434–444. DOI: 10.2486/indhealth.2015-0033.
18. M. Scholz, D. Gordon, L. Ramirez, S. Sigg, T. Dyrks, M. Beigl. A concept for support of firefighter frontline communication. *Future Internet*, 2013, vol. 5, issue 2, pp. 113–127. DOI: 10.3390/fi5020113.

19. Z.-X. Xing, W.-L. Gao, X.-F. Zhao, D.-Z. Zhu. Design and implementation of city fire rescue decision support system. *Procedia Engineering*, 2013, vol. 52, pp. 483–488. DOI: 10.1016/j.proeng.2013.02.172.
20. J. Kim. Cooperative exploration and protection of a workspace assisted by information networks. *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence*, 2014, vol. 70, issue 3, pp. 203–220. DOI: 10.1007/s10472-013-9383-5.
21. A. Khorram-Manesh, J. Berlin, E. Carlström. Two validated ways of improving the ability of decision-making in emergencies. Results from a literature review. *Bulletin of Emergency and Trauma*, 2016, vol. 4, no. 4, pp. 186–196.
22. B. B. Grinchenko, D. V. Tarakanov. Research of parameters of work of gas rescuers associated with the removal of accidents on components of transport infrastructure. In: *Pozharnaya i avariynaya bezopasnost. Sbornik materialov XIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy godu kultury bezopasnosti (Ivanovo, 29–30 noyabrya 2018 g.)* [Fire and Emergency Safety. Collection of Materials of the XIII International Scientific and Practical Conference Dedicated to the Year of Safety Culture (Ivanovo, November 29–30, 2018)]. Ivanovo, Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of Emercom of Russia Publ., 2018, part I, pp. 341–344 (in Russian).
23. B. B. Grinchenko, D. V. Tarakanov. Safety management model for firefighting in unsuitable for breathing environment. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 6, pp. 45–51 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.06.45-51.
24. B. B. Grinchenko. *Information resources of gas and smoke protection control support system*. Inventor's Certificate RU, no. 2019620566, publ. date 11.04.2019, Bull. No. 4 (in Russian).

Поступила 24.05.2019, после доработки 10.07.2019;

принята к публикации 30.08.2019

Received 24 May 2019; Received in revised form 10 July 2019;

Accepted 30 August 2019

Информация об авторах

ГРИНЧЕНКО Борис Борисович, адъюнкт, Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, г. Иваново, Российская Федерация; ORCID: 0000-0003-1759-2308; e-mail: grinchenko.borya@mail.ru

ТОПОЛЬСКИЙ Николай Григорьевич, д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, профессор кафедры информационных технологий, Академия ГПС МЧС России, г. Москва, Российская Федерация; Author ID: 6602393869; ORCID: 0000-0002-0921-4764; e-mail: ntopolskii@mail.ru

ТАРАКАНОВ Денис Вячеславович, д-р техн. наук, старший преподаватель кафедры пожарной тактики и основ аварийно-спасательных и других неотложных работ в составе УНК “Пожаротушение”, Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, г. Иваново, Российская Федерация; ORCID: 0000-0002-5811-7397; e-mail: den-pgsm@mail.ru

Information about the authors

Boris B. GRINCHENKO, Adjunct, Ivanovo Fire and Rescue Academy of State Fire Service of Emercom of Russia, Ivanovo, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-1759-2308; e-mail: grinchenko.borya@mail.ru

Nikolay G. TOPOLSKIY, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Honoured Science Worker of Russian Federation, Professor of Department of Information Technology, State Fire Academy of Emercom of Russia, Moscow, Russian Federation; Author ID: 6602393869; ORCID: 0000-0002-0921-4764; e-mail: ntopolskii@mail.ru

Denis V. TARAKANOV, Dr. Sci. (Eng.), Senior Lecturer of Fire Tactics and Bases of Emergency Rescue and Other Urgent Works Department within the Academic and Research Complex (ARC) “Fire Extinguishing”, Ivanovo Fire and Rescue Academy of State Fire Service of Emercom of Russia, Ivanovo, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-5811-7397; e-mail: den-pgsm@mail.ru



САХАПРОМЭКСПО-2019

НЕДРА ЯКУТИИ. ГОРНОЕ ДЕЛО.
УГОЛЬ МАЙНИНГ. ЗОЛОТОДОБЫЧА.
СПЕЦТЕХНИКА. ЭКОЛОГИЯ.

30 - 31 октября г.ЯКУТСК

Организаторы:



**Выставочная компания
Сибэкспосервис**
г. Новосибирск



**Выставочная компания
СахаЭкспоСервис**
г. Якутск

Тел: (383) 3356350

E-mail: vk ses@yandex.ru

www.ses.net.ru

Огнестойкость железобетонных тубингов подземных сооружений с полипропиленовой фиброй

© В. И. Голованов✉, А. В. Пехотиков,
Н. С. Новиков, В. В. Павлов, Е. В. Кузнецова

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

РЕЗЮМЕ

Введение. Железобетонные конструкции из тяжелого бетона повышенной влажности (более 3,5 %) имеют склонность к взрывообразному разрушению, которое может привести к преждевременному наступлению предела огнестойкости таких конструкций и частичному или полному обрушению зданий и сооружений. Повышенная влажность железобетонных конструкций обычно встречается в подземных сооружениях и во вновь возводимых зданиях. Огнестойкость железобетонных тубингов подземных сооружений в значительной степени зависит от взрывообразного (хрупкого) разрушения бетона при воздействии высоких температур пожара на поверхность отделки тоннеля.

Материалы и методы. В качестве объекта исследования были выбраны железобетонные тубинги из тяжелого бетона влажностью 6 % с добавкой полипропиленовой фибры в количестве 1 кг/м³. Проведены крупномасштабные огневые испытания на специально изготовленном стенде при нагружении образцов вертикальной и горизонтальной нагрузкой.

Результаты и обсуждение. Представлены основные результаты экспериментального исследования огнестойкости железобетонных тубингов с добавкой полипропиленовой фибры и без нее. По результатам установлено, что предел огнестойкости железобетонного тубинга с добавкой полипропиленовой фибры согласно ГОСТ 30247.0–94 составил не менее 125 мин (REI 120). Разработана аналитическая модель оценки огнестойкости. Для решения теплотехнической задачи проведен численный эксперимент с помощью программного комплекса “ANSYS”. Предложена аналитическая зависимость определения дополнительного температурного прогиба для геометрически нелинейного элемента. Расчет предела огнестойкости железобетонного тубинга с добавкой полипропиленовой фибры по разработанной аналитической модели с учетом ранее полученных прочностных и теплотехнических характеристик подтвердил результаты огневых испытаний: предел огнестойкости составил REI 120.

Заключение. Использование для ограждающих конструкций тоннеля железобетонных тубингов из фибробетона с полипропиленовой фиброй позволит значительно снизить затраты на устройство огнезащиты и сократить сроки строительства.

Ключевые слова: стандартный температурный режим пожара; теплотехническая задача; статическая (прочностная) задача; взрывообразное (хрупкое) разрушение бетона; отделка тоннеля.

Для цитирования: Голованов В. И., Пехотиков А. В., Новиков Н. С., Павлов В. В., Кузнецова Е. В. Огнестойкость железобетонных тубингов подземных сооружений с полипропиленовой фиброй // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2019. — Т. 28, № 5. — С. 60–70. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.05.60-70.

✉ Голованов Владимир Ильич, e-mail: pavelgol1@yandex.ru

Fire resistance of reinforced concrete tubings of underground structures with polypropylene fiber

© Vladimir I. Golovanov✉, Andrey V. Pekhotikov,
Nikolay S. Novikov, Vladimir V. Pavlov, Elena V. Kuznetsova

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

ABSTRACT

Introduction. Reinforced concrete structures made of heavy concrete of high humidity (more than 3.5 %) are prone to explosive destruction. This phenomenon can lead to premature onset of the fire resistance of such structures and the partial or complete collapse of buildings and structures. The increased humidity of reinforced concrete structures is usually found in underground structures and newly constructed buildings. The fire resistance of reinforced concrete tubes of underground structures largely depends on the explosive (brittle) destruction of concrete when exposed to high temperatures of fire on the surface of the tunnel lining.

Materials and methods. As the object of the study were selected reinforced concrete tubes of heavy concrete with a moisture content of 6 % with the addition of polypropylene fiber in the amount of 1 kg/m³. Large-scale fire tests were carried out on a specially manufactured test bench when loading samples with vertical and horizontal loads.

Results and discussion. The main results on the study of fire resistance of reinforced concrete tubes with the addition of polypropylene fiber and without additives are presented. According to the results of experimental studies, it was established that the fire resistance limit of reinforced concrete tubing with the addition of polypropylene fiber according to GOST 30247.0–94 was at least 125 minutes (REI 120). The analytical model of fire resistance assessment is developed. To solve the thermal engineering problem, a numerical experiment was performed in the ANSYS software package. An analytical dependence is proposed for determining an additional temperature deflection for a geometrically nonlinear element. The calculation of the fire resistance limit of reinforced concrete tubing with the addition of polypropylene fiber according to the developed analytical model, considering the previously obtained strength and thermal characteristics, confirmed the results of fire tests, and amounted to REI 120.

Conclusion. The use of reinforced concrete tubing made of fiber-reinforced concrete with polypropylene fiber for building envelopes will significantly reduce the cost of a fire protection device and shorten the construction time.

Keywords: standard temperature fire; thermal engineering problem; static (strength) problem; explosive (brittle) concrete destruction; tunnel lining.

For citation: V. I. Golovanov, A. V. Pekhotikov, N. S. Novikov, V. V. Pavlov, E. V. Kuznetsova. Fire resistance of reinforced concrete tubings of underground structures with polypropylene fiber. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2019, vol. 28, no. 5, pp. 60–70 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2019.28.05.60-70.

✉ Vladimir Ilich Golovanov, e-mail: pavelgol1@yandex.ru

Введение

Железобетонные конструкции из тяжелого бетона повышенной влажности (более 3,5 %) имеют склонность к взрывообразному разрушению. Данное явление может привести к преждевременному наступлению предела огнестойкости несущих железобетонных конструкций и, как следствие, к частичному или полному обрушению зданий и сооружений. Повышенная влажность таких конструкций обычно встречается в подземных сооружениях и во вновь возводимых зданиях.

Исследования по защите железобетонных конструкций от взрывообразного разрушения бетона [1–6] проводились в ряде европейских стран. Добавка в бетонную смесь полипропиленовой фибры [7–13] является наиболее эффективным способом защиты железобетонных конструкций от взрывообразного разрушения.

Однако при добавке фибры в состав бетонной смеси изменяются физико-механические и тепло-технические характеристики бетона, которые очень важны при оценке огнестойкости железобетонных конструкций расчетными методами. Значения этих характеристик были получены в ранее проведенных исследованиях.

Так как полипропиленовая фибра предотвращает взрывообразное разрушение бетона, целесообразно применять данный материал на таких объектах, как подземные сооружения, влажность конструкций которых может превышать пороговые значения. Основными конструкциями подобных сооружений являются железобетонные туннели, которые образуют обделку тоннеля и используются для прокладки в грунте автодорожных тоннелей и метрополитена. Обеспечение пожарной безопасности таких объектов — важная народнохозяйственная задача, целью которой является обеспечение достаточной

несущей способности конструкций при воздействии пожара, а актуальность этих исследований обуславливается перевозкой большого количества людей, пожароопасных грузов и т. д. [14, 15]. Несущая способность конструкций при воздействии пожара обеспечивается достаточными пределами огнестойкости железобетонных конструкций, которые оцениваются как экспериментальными, так и расчетными методами.

Экспериментальные методы позволяют посредством крупномасштабных огневых испытаний оценить огнестойкость конструкции и наглядно рассмотреть ее поведение в условиях пожара. Однако данный метод является трудоемким и экономически затратным.

При рассмотрении существующих расчетных методов установлено, что ни один из них не позволяет производить расчет огнестойкости железобетонных туннелей.

В то же время в соответствии с ГОСТ 30247.0–94 (Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования) расчетные методы для оценки огнестойкости конструкций должны быть подтверждены результатами экспериментов для конструкций, аналогичных по форме, материалам и конструктивному исполнению. В соответствии с этим были проведены крупномасштабные огневые эксперименты с туннелями тоннельной обделки.

Целью исследований является:

- 1) определение влияния добавки полипропиленовой фибры в бетонную смесь железобетонного туннеля тоннельной обделки на предотвращение взрывообразного разрушения бетона с влажностью 6 %;
- 2) установление предела огнестойкости железобетонного туннеля с добавкой полипропиленовой фибры;

3) разработка методики расчета огнестойкости железобетонных тубингов с добавкой полипропиленовой фибры с учетом полученных ранее физико-механических и теплотехнических характеристик фибробетона.

Материалы и методика проведения эксперимента

Образцы железобетонных тубингов для проведения эксперимента изготавливались из тяжелого бетона на заводе ОАО “Моспромжелезобетон”. Состав бетона: портландцемент марки ПЦ I-500-Н, мелкий заполнитель — кварцевый песок, крупный заполнитель — гранитный щебень (фракции 5–15 мм), пластификатор — Glenium 51. Размеры тубингов — 2984×1400×300 мм. В состав железобетонных тубингов вводилась полипропиленовая фибра “Pro-ZASK IGS” с длиной волокон 6 мм, диаметром 18 мкм в количестве 1 кг/м³. Армирование: 28 Ø12 мм, класс стали B500C. Арматурные каркасы изготавливались с применением точечной сварки. Толщина защитного слоя от обогреваемой поверхности до края арматуры составляла 34 мм. Общий вид испытуемых образцов представлен на рис. 1.

Испытания на огнестойкость проводились по ГОСТ 30247.0–94 и ГОСТ 30247.1–94, в которых установлены требования к оборудованию, размещению термопреобразователей и регистрации необходимых параметров.

В ходе испытаний на огнестойкость тубингов необходимо воспроизвести нагрузку, которая воздействует на конструкцию при эксплуатации объекта с максимальным моментом и продольной силой в сечении обделки тоннеля. Эксперименты проводили во ВНИИПО МЧС России. Так как на данную конструкцию в процессе ее эксплуатации действуют как вертикальные, так и горизонтальные нагрузки, необходимо было усовершенствовать систему опи-



Рис. 1. Общий вид исследуемых железобетонных тубингов
Fig. 1. General view of the tested reinforced concrete tubings

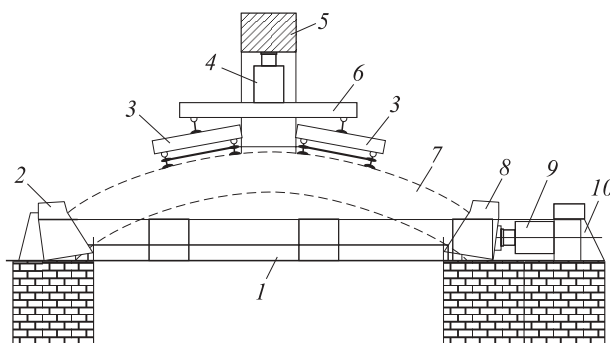


Рис. 2. Усовершенствованная система нагружения для исследования огнестойкости железобетонных тубингов: 1 — горизонтальная рама; 2 — неподвижная опора домкрата; 3 — рамы для создания вертикальной нагрузки; 4 — гидравлический домкрат для вертикальной нагрузки; 5 — вертикальная рама; 6 — упор домкрата; 7 — испытуемый образец; 8 — подвижная опора; 9 — гидравлический домкрат для горизонтальной нагрузки; 10 — опора гидравлического домкрата

Fig. 2. The advanced loading system for the study of fire resistance of reinforced concrete tubings: 1 — horizontal frame; 2 — fixed jack support; 3 — vertical load frames; 4 — hydraulic jack for vertical load; 5 — vertical frame; 6 — jack rest; 7 — test sample; 8 — movable support; 9 — hydraulic jack for horizontal load; 10 — hydraulic jack support

рования и нагружения на новой установке для испытаний на огнестойкость перекрытий, покрытий и балок дополнительной системой нагружения. На рис. 2 представлена схема усовершенствованной системы нагружения, которая во время огневых испытаний находилась вне зоны нагрева.

Перед началом проведения эксперимента согласно ГОСТ 30247.1–94 рассчитывали максимальные значения прогиба (99,5 мм) и предельной скорости деформации (0,33 см/мин), превышение которых характеризует наступление предельного состояния по несущей способности. В ходе эксперимента прогиб фиксировали с помощью прибора “Прогибомер МП-3”. Для установления предельного состояния по теплоизолирующей способности на необогреваемой поверхности размещали термопреобразователи для измерения температур.

Нагрузка в эксперименте рассчитывалась ОАО “Мосинжпроект” для тубингов тоннельной обделки диаметром 6,0 м.

За 30 мин до начала огневых испытаний конструкция нагружалась расчетной нагрузкой, которая составляла: вертикальная — 50 тс (490,5 кН), горизонтальная — 30 тс (294,3 кН). После этого испытуемый образец тубинга подвергался воздействию температурного режима стандартного пожара.

В результате экспериментальных исследований были построены графики изменения температуры в огневой камере и прогиба (рис. 3), а также температуры на необогреваемой поверхности (рис. 4).



Рис. 3. Результаты испытаний на огнестойкость железобетонного тубинга с полипропиленовой фиброй

Fig. 3. The test results on the fire resistance of reinforced concrete tubing with polypropylene fiber

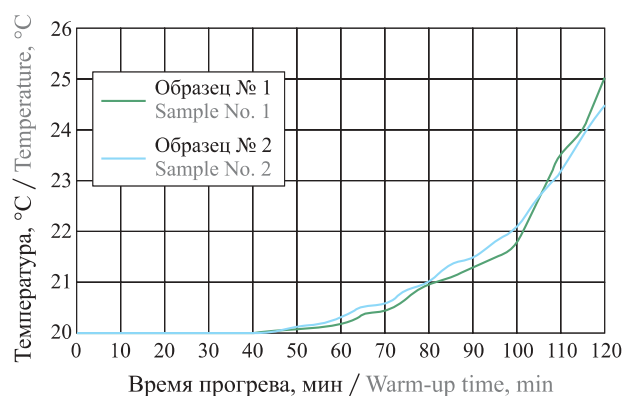


Рис. 4. Зависимость температуры на необогреваемой поверхности тубинга от времени при огневых испытаниях

Fig. 4. The time dependence of the temperature on the unheated surface of the tubing during fire tests

Нормативный предел огнестойкости тубингов составлял REI 120, поэтому огневые испытания проводились в течение 125 мин.

По результатам эксперимента с тубингами без добавки полипропиленовой фибры отмечено взрывообразное разрушение бетона при воздействии высоких температур, которое сопровождалось сильными хлопками. Это привело к отслаиванию защитного слоя бетона и быстрому прогреву арматуры до критических значений. Образец после огневых испытаний с разрушенным защитным слоем бетона представлен на рис. 5, а.

В ходе огневых испытаний тубингов с добавкой полипропиленовой фибры взрывообразного разрушения бетона не отмечено. Предельная деформация составила 7 мм, что не превышает предельно допустимого прогиба (99,5 мм). Средняя температура по пяти термопарам в интервале 0–120 мин составила 25 °С, что значительно меньше допустимой температуры (160 °С). В ходе испытаний визуально определено, что выпаривание влаги на необогреваемой поверхности образцов происходит на 30–37-й ми-



Рис. 5. Железобетонные тубинги после испытаний без добавки (а) и с добавкой полипропиленовой фибры (б)

Fig. 5. Reinforced concrete tubings after testing without the addition of polypropylene fiber (a) and with the addition of polypropylene fiber (b)

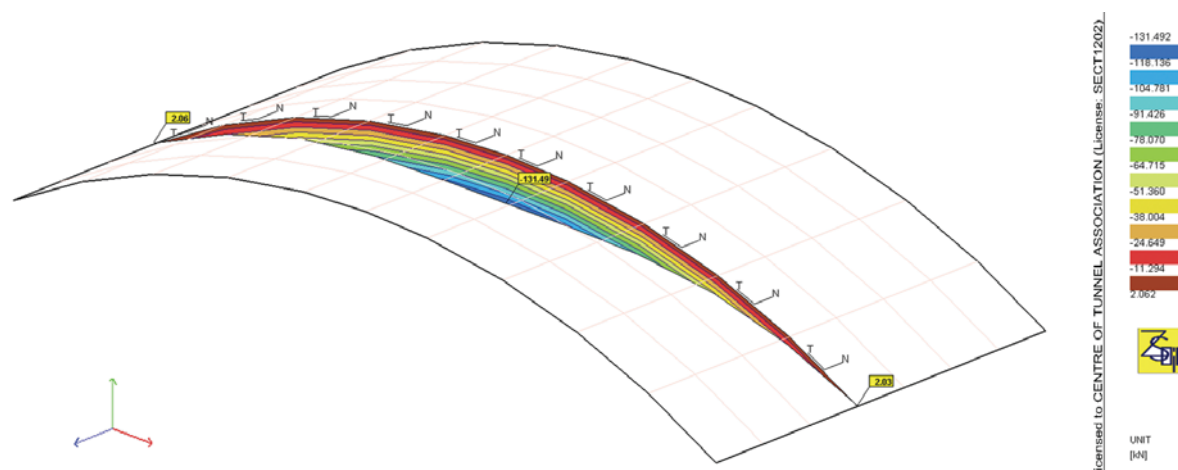


Рис. 6. Зависимость изгибающего момента от расстояния между опорами тьюбинга при расчете в программном комплексе *Z_Soil*
Fig. 6. The dependence of the bending moment on the distance between the supports of tubing in the calculation in the software package *Z_Soil*

нута и продолжается до момента завершения испытаний.

По окончании испытаний и демонтажа образца с установки на обогреваемой стороне обнаружены две поперечные трещины шириной 1–3 мм и глубиной 20–30 мм и многочисленные нитевидные трещины (рис. 5,б).

При визуальном осмотре после огневых испытаний обогреваемой поверхности тьюбинга с добавкой полипропиленовой фибры (см. рис. 5,б) повреждений защитного слоя бетона не отмечено. Обнаружены лишь незначительные отколы защитного слоя бетона, образовавшиеся в результате демонтажа образца с опор установки. Это свидетельствует об отсутствии взрывообразного разрушения бетона на поверхности исследуемого образца.

В результате экспериментальных исследований железобетонных тьюбингов с полипропиленовой фиброй установлено, что предел огнестойкости тьюбингов составил REI 120, что соответствует нормируемому пределу огнестойкости. Эксперимент был прекращен на 125-й минуте.

Аналитическая оценка огнестойкости железобетонного тьюбинга

Для установления предела огнестойкости расчетным методом необходимо решить две задачи — теплотехническую и статическую (прочностную).

Совместно с ООО “Научно-инженерный центр тоннельной ассоциации” проводился расчет момен-

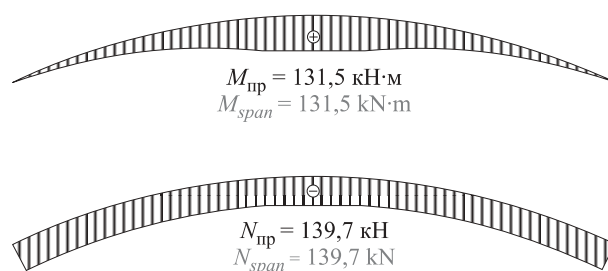


Рис. 7. Эпюры моментов и сжимающих усилий железобетонного тьюбинга: $M_{пр}$, $N_{пр}$ — расчетные усилия в поперечном сечении в середине пролета тьюбинга

Fig. 7. Plot of moments and compressive forces of reinforced concrete tubing: M_{span} , N_{span} — calculated forces in the cross section in the middle of the tubing span

тов и сжимающих усилий, возникающих в исследуемом блоке от внешней нагрузки при нормальной температуре (до огневых испытаний). С помощью метода конечных элементов (МКЭ) решалась задача на базе программно-вычислительного комплекса (ПВК) *Z_Soil*.

В результате вычислений получены максимальные моменты и сжимающие усилия от внешних нагрузок, образующиеся в поперечных сечениях блока (рис. 6 и 7).

Кроме того, определено расчетное сечение с максимальным положительным моментом $M_{пр} = 131,5$ кНм и продольной силой $N_{пр} = 139,7$ кН, где растянутая зона располагается с обогреваемой стороны образца.

Таблица 1. Коэффициенты γ_{bt} условия работы бетона при нагреве с добавкой полипропиленовой фибры ProZASK IGS

Table 1. The coefficients γ_{bt} of the working conditions of concrete when heated with the addition of polypropylene fibers ProZASK IGS

Температура, °C Temperature, °C	20	100	200	300	400	500	600	700	800
Коэффициент γ_{bt} Coefficient γ_{bt}	1	1	1	0,99	0,96	0,82	0,72	0,5	0,21

Таблица 2. Свойства бетона с полипропиленовой фиброй и арматуры**Table 2.** Properties of concrete with polypropylene fiber and reinforcement

Характеристика Property	Значение Value
<i>Бетон с полипропиленовой фиброй</i> <i>Concrete with polypropylene fiber</i>	
Коэффициент теплопроводности λ_t , Вт/(м·К) Thermal conductivity λ_t , W/(m·K)	1,3 – 0,0006t
Коэффициент теплоемкости c_t , Дж/(кг·К) Heat capacity c_t , J/(kg·K)	481 + 0,92t
Плотность, кг/м ³ / Density, kg/m ³	2400
Влажность W , % Humidity W , %	6
<i>Арматура / Reinforcement</i>	
Коэффициент теплопроводности λ_t , Вт/(м·К) Thermal conductivity λ_t , W/(m·K)	78 – 0,048t
Коэффициент теплоемкости c_t , Дж/(кг·К) Heat capacity c_t , J/(kg·K)	310 + 0,48t
Плотность, кг/м ³ / Density, kg/m ³	7800

Состав образцов для исследования прочностных показателей фибробетона соответствовал составу, из которого были изготовлены блоки.

Исследованиями установлено, что призмная прочность бетона с добавкой полипропиленовой фибры $R_{bn} = 33,7$ МПа, что согласно СП 63.13330.2012 (Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 51-01–2003) соответствует классу бетона В45. Экспериментальные данные по изменению прочности фибробетона от температуры при нагреве представлены в табл. 1.

Для решения теплотехнической задачи использовались показатели теплопроводности λ_t и теплоемкости c_t , полученные в ходе исследований бетона с добавкой полипропиленовой фибры [16, 17]:

$$\lambda_t = 1,2 - 0,0006t; \quad (1)$$

$$c_t = 710 + 0,92t. \quad (2)$$

Основной целью теплотехнической части расчета является определение температуры по сечению тубинга в процессе огневого воздействия. Изменение температуры в железобетонном элементе рассчитывают путем решения дифференциального уравнения теплопроводности Фурье [15].

Поскольку задача такого рода является трудоемкой из-за наличия большого количества переменных и нелинейных граничных условий, для ее решения использовался программный комплекс ANSYS [18–21].

При подготовке к расчету моделировалась объемная конструкция (расчетная область) в виде железобетонного тубинга; бетону и арматуре присваивались свойства, представленные в табл. 2 (начальные условия). Модель разбивалась на конечные элементы.

Для расчета в программном комплексе задавались граничные условия 3-го рода. Для обогреваемой поверхности задавались характеристики, приведенные в табл. 3.

На необогреваемой поверхности в табличном виде задавался коэффициент теплоотдачи α' :

$$\alpha' = 1,5 \sqrt[3]{t_i - t_n} + 5,77 \varepsilon_{np} \left(\frac{\left(\frac{t_i}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_n}{100} \right)^4}{t_i - t_n} \right), \quad (3)$$

где α' — коэффициент теплоотдачи от необогреваемой поверхности к среде, Вт/(м²·К);

t_i — температура необогреваемой поверхности, К;

t_n — начальная температура конструкции, К;

ε_{np} — приведенная степень черноты конструкции.

Так как бетон является гигроскопичным материалом, учитывалось выпаривание свободной влаги из пор бетона за счет увеличения коэффициента теплоемкости в интервале температур 100–140 °С.

Расчет выполнялся при воздействии стандартного температурного режима пожара в течение 120 мин. Результаты расчета представлены на рис. 8 и 9.

По окончании теплотехнического расчета проводилась обработка результатов численного эксперимента в целях определения основных параметров, необходимых для решения прочностной задачи.

Таблица 3. Граничные условия для обогреваемой поверхности / **Table 3.** Boundary conditions for heated surface

Характеристика / Property	Значение / Value
Коэффициент передачи тепла конвекцией α_k , Вт/(м ² ·°С) Convection heat transfer coefficient α_{conv} , W/(m ² ·°C)	29
Приведенная степень черноты системы <i>огневая камера – бетонная поверхность</i> ε_{np} The degree of blackness of the system <i>fire chamber – concrete surface</i> ε_{ref}	0,67 – 0,0004t
Зависимость стандартного температурного режима пожара (t_n — начальная температура конструкции, °С) The temperature dependence of the standard mode of fire (t_{in} — initial temperature of construction, °C)	345 lg (0,133t + 1) + t_n 345 lg (0,133t + 1) + t_{in}

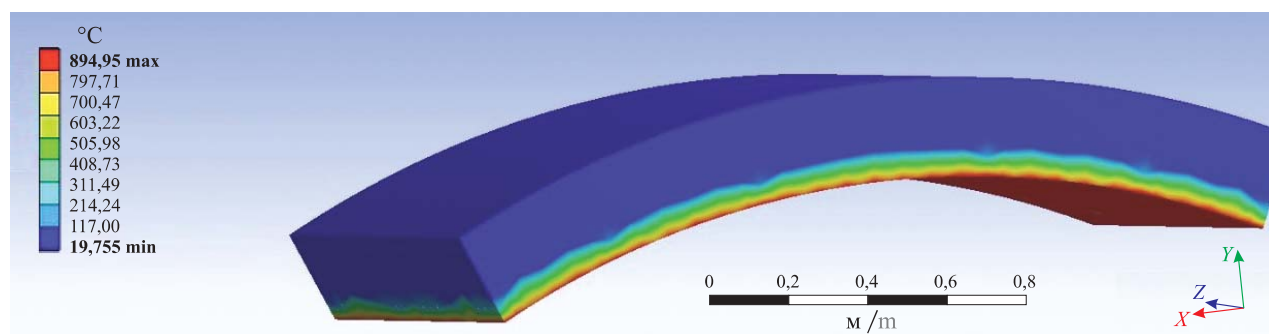


Рис. 8. Результаты расчета температурных полей для железобетонного туннеля в программном комплексе ANSYS

Fig. 8. The results of the calculation of temperature fields for reinforced concrete tubing in the software package ANSYS

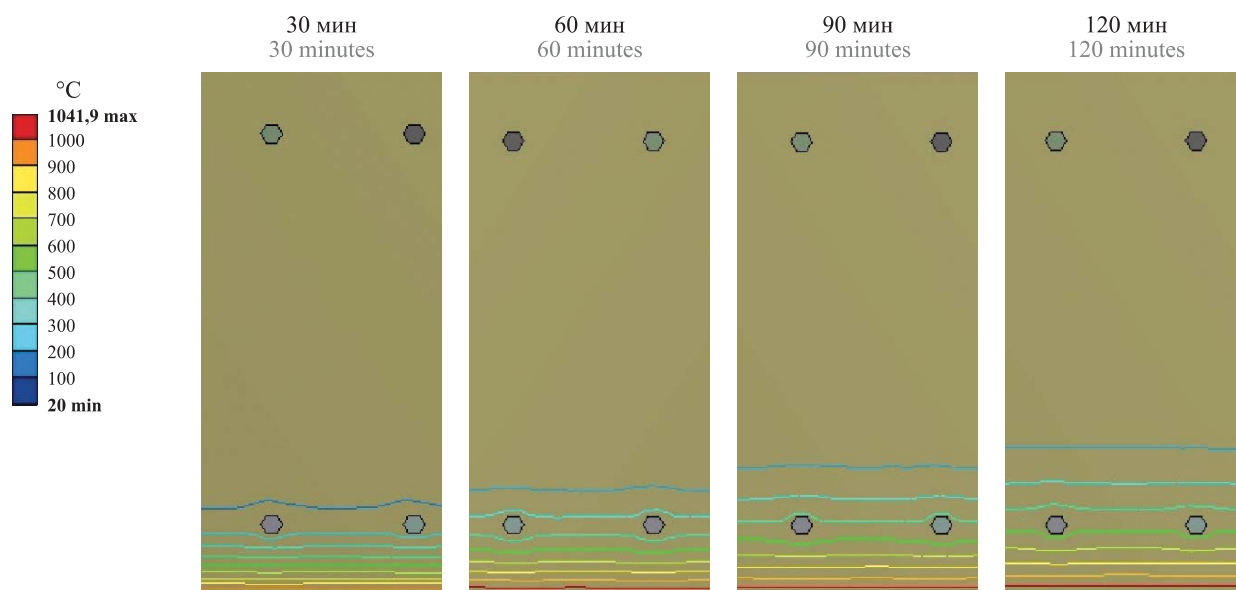


Рис. 9. Изотермы прогрева для железобетонного туннеля с полипропиленовой фиброй

Fig. 9. Heating isotherms for reinforced concrete tubing with polypropylene fiber

При этом для определения достоверности полученных результатов сравнивались расчетные и экспериментальные кривые роста температуры на необогреваемой поверхности туннеля (рис. 10). Сравнение показало, что расхождение расчетных и экспериментальных данных не превышает 10 %.

В результате теплотехнического расчета определены: температура растянутой арматуры на 120-й минуте прогрева 475,1 °C; коэффициент снижения нормативного сопротивления арматурной стали $\gamma_{s,t} = 0,662$; коэффициент снижения модуля упругости $\beta_{s,t} = 0,812$.

Расчет несущей способности туннеля проводился для наиболее напряженного поперечного сечения, расположенного в середине пролета.

От неравномерного нагрева по толщине блока образуется дополнительный температурный прогиб [15, 22, 23], который увеличивает эксцентриситет продольной силы.

Железобетонный туннель является геометрически нелинейным элементом, поэтому использование

для его расчета приведенных в справочной литературе формул для колонн и стен не представляется возможным.

В процессе исследования получена расчетная схема (рис. 11) и формула для определения дополнительного температурного прогиба e_t (м) железобетонного туннеля при огневом воздействии:

$$e_t = \frac{3(\alpha_{t_s} t_s + \alpha_{t_b} t_b) r^2 \sin^2 \varphi}{2h_{0,t}} = 0,00612 \text{ м}, \quad (4)$$

где α_{t_s} — коэффициент температурного расширения арматуры растянутой зоны при нагреве до t_s (475,1 °C);

α_{t_b} — коэффициент температурного расширения бетона сжатой грани при нагреве до t_b (25 °C);

r — длина от опоры туннеля до середины конструкции по нейтральной оси элемента, м;

φ — угол между r и осью OX;

$h_{0,t}$ — рабочая высота сечения, м.

Эксцентриситет e (м) внешней продольной силы N относительно центра тяжести сечения арматуры

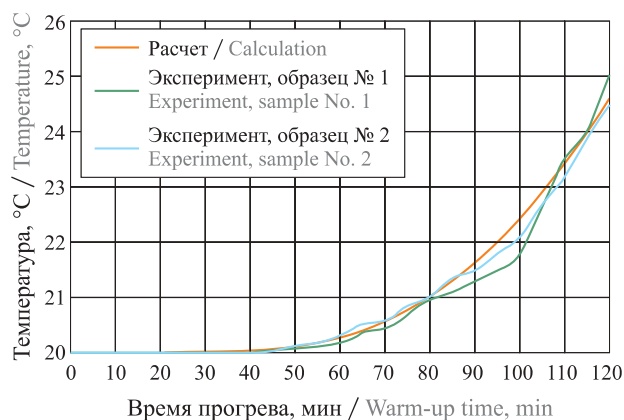


Рис. 10. Зависимость температуры на необогреваемой поверхности тубинга от времени при огневых испытаниях и теплотехническом расчете

Fig. 10. The time dependence of the temperature on the unheated surface of the tubing during fire tests and thermal engineering calculation

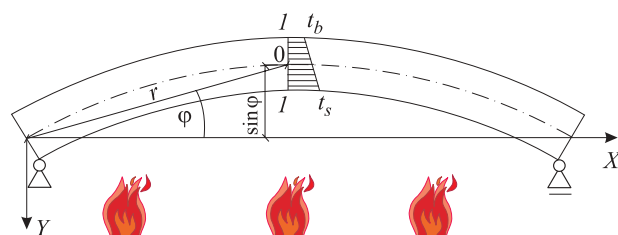


Рис. 11. Железобетонный тубинг с линейным характером изменения температуры по высоте сечения

Fig. 11. Reinforced concrete tubing with a linear character of temperature variation along the section height

тубинга при огневом воздействии рассчитывался по формуле

$$e = e_0 \eta + 0,5 (h_{0,t} - a') + e_t = 1,1 \text{ м}, \quad (5)$$

где e_0 — эксцентриситет продольной силы, м;
 η — коэффициент, учитывающий влияние продольного изгиба блока на его несущую способность;

a' — расстояние от равнодействующей усилий в сжатой арматуре до ближайшей грани сечения, м.

Несущая способность $M_{p,t}$ сечения тубинга рассчитывалась с учетом изменения свойств бетона и арматуры при одностороннем воздействии в течение 120 мин температурного режима стандартного пожара:

$$M_{p,t} = R_{bn,t} b x \left(h_{0,t} - \frac{x}{2} \right) + R_{sn,t} A'_s (h_{0,t} - a') = 341,8 \text{ кНм}, \quad (6)$$

где $R_{bn,t}$ — нормативное сопротивление бетона осевому сжатию с учетом коэффициента γ_{bt} , МПа;
 b — ширина прямоугольного сечения тубинга, м;
 x — высота сжатой зоны бетона, м;

$R_{sn,t}$ — нормативное сопротивление арматуры с учетом коэффициента $\gamma_{s,t}$, МПа;

A'_s — площадь сечения сжатой арматуры, м².

Момент внешнего усилия от нагрузки относительно центра тяжести сечения арматуры

$$N_{np} e = 153,7 \text{ кНм}. \quad (7)$$

Таким образом, условие $N_{np} e \leq M_{p,t}$ выполнено. Предел огнестойкости тубинга по потере несущей способности R 120 будет обеспечен. Проведенные огневые испытания подтверждают результаты расчетов по теплоизолирующей способности (I 120).

Закключение

В результате огневых испытаний железобетонных тубингов с добавкой полипропиленовой фибры в количестве 1 кг/м³ взрывообразного разрушения бетона не происходило, что подтверждает положительное влияние добавки на огнестойкость конструкции из тяжелого бетона с повышенной влажностью.

Значения допустимого максимального прогиба (99,5 мм) и температуры на необогреваемой поверхности конструкции (160 °C) не достигнуты, следовательно, предельные состояния по потере несущей и теплоизолирующей способности в течение 125 мин воздействия температурного режима пожара на образцах не наступили.

В результате экспериментальных исследований установлено, что предел огнестойкости конструкции составил REI 120.

Решена теплотехническая задача в программном комплексе *ANSYS*, в результате чего получены данные по прогреву арматуры и бетона, а также проведено сравнение экспериментальных и расчетных температур на необогреваемой поверхности конструкции. Расхождение их составило не более 10 %, что говорит о достоверности численного эксперимента. Получена формула для определения дополнительного температурного прогиба при огневом воздействии для геометрически нелинейного элемента, каковым является железобетонный тубинг.

Разработана аналитическая модель оценки огнестойкости железобетонных тубингов с полипропиленовой фиброй и определен фактический предел огнестойкости данной конструкции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Moore D. B., Lennon T. Fire engineering design of steel structures // Progress in Structural Engineering and Materials. — 1997. — Vol. 1, No. 1. — P. 4–9. DOI: 10.1002/pse.2260010104.

2. *Maraveas C., Vrakas A. A.* Design of concrete tunnel linings for fire safety // *Structural Engineering International*. — 2014. — Vol. 24, No. 3. — P. 319–329. DOI: 10.2749/101686614X13830790993041.
3. *Бартелеми Б., Крюнна Ж.* Огнестойкость строительных конструкций / Пер. с фр. — М.: Стройиздат, 1985. — 216 с.
4. *Голованов В. И., Кузнецова Е. В.* Эффективные средства огнезащиты для стальных и железобетонных конструкций // *Промышленное и гражданское строительство*. — 2015. — № 9. — С. 82–90.
5. *Голованов В. И., Павлов В. В., Пехотики А. В.* Защита железобетонных туннелей от хрупкого разрушения при пожаре // *Пожарная безопасность*. — 2008. — № 2. — С. 50–55.
6. *Фёдоров В. С., Левитский В. Е., Молчадский И. С., Александров А. В.* Огнестойкость и пожарная опасность строительных конструкций. — М.: АСВ, 2009. — 408 с.
7. *Neo Y.-S., Sanjayan J. G., Han C.-G., Han M.-C.* Synergistic effect of combined fibers for spalling protection of concrete in fire // *Cement and Concrete Research*. — 2010. — Vol. 40, No. 10. — P. 1547–1554. DOI: 10.1016/j.cemconres.2010.06.011.
8. *Werther N.* Brandversuche an Tunnelinnenschalenbetonen für den M 30-Nordtunnel in Madrid // *Beton- und Stahlbetonbau*. — 2006. — Vol. 101, No. 9. — P. 729–731 (in German). DOI: 10.1002/best.200608187.
9. *Dutta Dey S., Winterberg R., Korulla M., Gharpure A. D.* Steel fibre reinforced concrete for underground structures // 6th Asian Rock Mechanics Symposium. — 2010. — 8 p.
10. *Rodrigues J. P. C., Laím L., Correia A. M.* Behaviour of fiber reinforced concrete columns in fire // *Composite Structures*. — 2010. — Vol. 92, Issue 5. — P. 1263–1268. DOI: 10.1016/j.compstruct.2009.10.029.
11. *Кузнецова И. С., Рябенкова В. Г., Корнюшина М. П., Саврасов И. П., Востров М. С.* Полипропиленовая фибра — эффективный способ борьбы со взрывообразным разрушением бетона при пожаре // *Строительные материалы*. — 2018. — № 11. — С. 15–20. DOI: 10.31659/0585-430X-2018-765-11-15-20.
12. *Dehn F., Werther N., Knitl J.* Großbrandversuche für den City-Tunnel Leipzig // *Beton- und Stahlbetonbau*. — 2006. — Vol. 101, Issue 8. — P. 631–636 (in German). DOI: 10.1002/best.200608186.
13. *Kordina K.* Brände in unterirdischen Verkehrsanlagen // *Bautechnik*. — 2003. — Vol. 80, No. 5. — P. 327–338 (in German). DOI: 10.1002/bate.200302620.
14. *Ройтман В. М., Голованов В. И.* Необходимость технического регулирования огнестойкости зданий с учетом возможности комбинированных особых воздействий с участием пожара // *Пожарная безопасность*. — 2014. — № 1. — С. 86–93.
15. *Яковлев А. И.* Расчет огнестойкости строительных конструкций. — М.: Стройиздат, 1988. — 144 с.
16. *Голованов В. И., Новиков Н. С., Павлов В. В., Кузнецова Е. В.* Прочностные и теплофизические свойства бетона с полипропиленовой фиброй в условиях температурного режима стандартного пожара // *Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety*. — 2017. — Т. 26, № 5. — С. 37–44. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.05.37-44.
17. *Голованов В. И., Новиков Н. С., Павлов В. В., Антонов С. П.* Прочностные характеристики фибробетона для тоннельных сооружений в условиях высоких температур // *Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация*. — 2017. — № 2. — С. 63–67.
18. *Волков А. А., Ройтман В. М., Приступок Д. Н., Федоров В. Ю.* Влияние влажности строительных материалов на точность расчетов прогрева конструкций при оценке их огнестойкости // *Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании: сб. матер. VI Международной научной конференции*. — М.: НИУ МГСУ, 2018. — С. 207–212.
19. *Камлюк А. Н., Ширко А. В., Янковский А. Г.* Теплотехнический и прочностной расчет железобетонных колонн в программной среде ANSYS // *Техносферная безопасность*. — 2014. — № 2(3). — С. 26–33.
20. *Ширко А. В., Камлюк А. Н., Полевода И. И., Зайнудинова Н. В.* Прочностной расчет железобетонных плит при пожаре с использованием программной среды ANSYS // *Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь*. — 2014. — № 1(19). — С. 48–58.
21. *Камлюк А. Н., Полевода И. И., Ширко А. В.* Модели материалов арматуры и бетона для теплотехнических и прочностных расчетов на примере Российского стандарта // *Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь*. — 2013. — № 1(17). — С. 104–116.
22. *Kordina K., Meyer-Ottens C.* Beton brandschutz. Handbuch. 2 Auflage. — Düsseldorf: Verlag Bau + Technik, 1999. — 284 p. (in German).
23. *Nause P.* Brandschutztechnische Bewertung tragender Bauteile im Bestand. — Brandschutz-Forum-München, 21.06.2013. — 47 p. URL: <https://docplayer.org/2762246-Brandschutztechnische-bewertung-tragender-bauteile-im-bestand.html> (дата обращения: 15.05.2019).

REFERENCES

1. D. B. Moore, T. Lennon. Fire engineering design of steel structures. *Progress in Structural Engineering and Materials*, 1997, vol. 1, no. 1, pp. 4–9. DOI: 10.1002/pse.2260010104.
2. C. Maraveas, A. A. Vrakas. Design of concrete tunnel linings for fire safety. *Structural Engineering International*, 2014, vol. 24, no. 3, pp. 319–329. DOI: 10.2749/101686614X13830790993041.
3. Barthélèmy B., Kruppa J. *Résistance au feu des structures béton – acier – bois*. Paris, Editions Eyrolles, 1978. 216 p. (in French) (Russ. ed.: Barthélèmy B., Kruppa J. Ognestoykost stroitelnykh konstruksiy. Moscow, Stroyizdat Publ., 1985. 216 p.).
4. V. I. Golovanov, E. V. Kuznetsova. Effective means of fire protection for steel and concrete structures. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo / Industrial and Civil Engineering*, 2015, no. 9, pp. 82–90 (in Russian).
5. V. I. Golovanov, V. V. Pavlov, A. V. Pekhotikov. Protection of concrete tubing highway tunnels by brittle fracture during a fire. *Pozharnaya bezopasnost / Fire Safety*, 2008, no. 2, pp. 50–55 (in Russian).
6. V. S. Fedorov, V. E. Levitskiy, I. S. Molchadskiy, A. V. Aleksandrov. *Ognestoykost i pozharnaya opasnost stroitelnykh konstruksiy* [Fire behavior and fire danger of building designs]. Moscow, ASV Publ., 2009. 408 p. (in Russian).
7. Y.-S. Heo, J. G. Sanjayan, C.-G. Han, M.-C. Han. Synergistic effect of combined fibers for spalling protection of concrete in fire. *Cement and Concrete Research*, vol. 40, no. 10, pp. 1547–1554. DOI: 10.1016/j.cemconres.2010.06.011.
8. N. Werther. Brandversuche an Tunnelinnenschalenbetonen für den M 30-Nordtunnel in Madrid. *Beton- und Stahlbetonbau*, 2006, vol. 101, issue 9, pp. 729–731 (in German). DOI: 10.1002/best.200608187.
9. S. Dutta Dey, R. Winterberg, M. Korulla, A. D. Gharpure. Steel fibre reinforced concrete for underground structures. In: 6th Asian Rock Mechanics Symposium, 2010. 8 p.
10. J. P. C. Rodrigues, L. Laím, A. M. Correia. Behaviour of fiber reinforced concrete columns in fire. *Composite Structures*, 2010, vol. 92, issue 5, pp. 1263–1268. DOI: 10.1016/j.compstruct.2009.10.029.
11. I. S. Kuznetsova, V. G. Ryabchenkova, M. P. Korniyushina, I. P. Savrasov, M. S. Vostrov. Polypropylene fiber is an effective way to struggle with the explosion — like destruction of concrete in case of fire. *Stroitel'nye Materialy / Construction Materials*, 2018, no. 11, pp. 15–20. DOI: 10.31659/0585-430X-2018-765-11-15-20.
12. F. Dehn, N. Werther, J. Knitl. Großbrandversuche für den City-Tunnel Leipzig. *Beton- und Stahlbetonbau*, 2006, vol. 101, issue 8, pp. 631–636 (in German). DOI: 10.1002/best.200608186.
13. K. Kordina. Brände in unterirdischen Verkehrsanlagen. *Bautechnik*, 2003, vol. 80, no. 5, pp. 327–338 (in German). DOI: 10.1002/bate.200302620.
14. V. M. Roytman, V. I. Golovanov. Need for technical regulation of the buildings fire resistance taking into account the possible combined hazardous fire exposure. *Pozharnaya bezopasnost / Fire Safety*, 2014, no. 1, pp. 86–93 (in Russian).
15. A. I. Yakovlev. *Raschet ognestoykosti stroitelnykh konstruksiy* [Calculation of fire resistance of building structures]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1988. 143 p. (in Russian).
16. V. I. Golovanov, N. S. Novikov, V. V. Pavlov, E. V. Kuznetsova. Strength and thermo-physical properties of concrete with polypropylene fiber under standard temperature regimes. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 5, pp. 37–44 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.05.37-44.
17. Golovanov V. I., Novikov N. S., Pavlov V. V., Antonov S. P. Strength characteristics of fiber reinforced concrete for tunnel structures in high temperatures. *Pozhary i chrezvychaynyye situatsii: predotvrashcheniye, likvidatsiya / Fire and Emergencies: Prevention, Elimination*, 2017, no. 2, pp. 63–67 (in Russian).
18. A. A. Volkov, V. M. Roytman, D. N. Pristupyuk, V. Yu. Fedorov. The influence of humidity of construction materials on the accuracy of calculations of the heating of structures in assessing their fire resistance. In: *Integratsiya, partnerstvo i innovatsii v stroitel'noy nauke i obrazovanii. Sbornik materialov VI Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii* [Partnership and Innovation in Construction Science and Education. Proceedings of VI International Scientific Conference]. 2018, pp. 207–212 (in Russian).
19. A. N. Kamlyuk, A. V. Shirko, A. G. Yankovskiy. The thermal and strength calculation of concrete columns in a software environment ANSYS. *Tekhnosfernaya bezopasnost / Technosphere Safety*, 2014, no. 2(3), pp. 26–33 (in Russian).
20. A. V. Shirko, A. N. Kamlyuk, I. I. Polevoda, N. V. Zaynudinova. The strength calculation of concrete slabs in a soft-ware environment ANSYS. *Vestnik Komandno-inzhenernogo instituta MChS Respubliki Belarus / Vestnik of the Institute for Command Engineers of the MES of the Republic of Belarus*, 2014, no. 1(19), pp. 48–58 (in Russian).

21. A. N. Kamlyuk, I. I. Polevoda, A. V. Shirko. Models of reinforcement and concrete materials for thermal engineering and strength calculations on the example of the Russian standard. *Vestnik Komandno-inzhenerenogo instituta MChS Respubliki Belarus / Vestnik of the Institute for Command Engineers of the MES of the Republic of Belarus*, 2013, no. 1(17), pp. 104–116 (in Russian).
22. K. Kordina, C. Meyer-Ottens. *Beton brandschutz. Handbuch*. 2 Auflage. Düsseldorf, Verlag Bau + Technik, 1999. 284 p. (in Germany).
23. P. Nause. *Brandschutztechnische Bewertung tragender Bauteile im Bestand*. Brandschutz-Forum, München, 21.06.2013. 47 p. (in German). Available at: <https://docplayer.org/2762246-Brandschutztechnische-bewertung-tragender-bauteile-im-bestand.html> (Accessed 15 May 2019).

Поступила 28.05.2019, после доработки 19.07.2019;
принята к публикации 25.08.2019

Received 28 May 2019; Received in revised form 19 July 2019;
Accepted 25 August 2019

Информация об авторах

ГОЛОВАНОВ Владимир Ильич, д-р техн. наук, главный научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России, г. Балашиха Московской обл., Российская Федерация; ORCID: 0000-0001-6043-0537; e-mail: pavelgol1@yandex.ru

ПЕХОТИКОВ Андрей Владимирович, канд. техн. наук, начальник отдела, Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России, г. Балашиха Московской обл., Российская Федерация; ORCID: 0000-0003-2396-3136; e-mail: pekhotikov.a@mail.ru

НОВИКОВ Николай Сергеевич, научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России, г. Балашиха Московской обл., Российская Федерация; ORCID: 0000-0002-2945-663X; e-mail: agps.nick182@gmail.com

ПАВЛОВ Владимир Валерьевич, начальник сектора, Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России, г. Балашиха Московской обл., Российская Федерация; ORCID: 0000-0001-5131-7401; e-mail: vv.pavlov@mail.ru

КУЗНЕЦОВА Елена Вячеславовна, старший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России, г. Балашиха Московской обл., Российская Федерация; ORCID: 0000-0002-4711-0210; e-mail: lenkus01@mail.ru

Information about the authors

Vladimir I. GOLOVANOV, Dr. Sci. (Eng), Main Researcher, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia, Balashikha, Moscow Region, Russian Federation; ORCID: 0000-0001-6043-0537; e-mail: pavelgol1@yandex.ru

Andrey V. PEKHOTIKOV, Cand. Sci. (Eng.), Head of Department, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia, Balashikha, Moscow Region, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-2396-3136; e-mail: pekhotikov.a@mail.ru

Nikolay S. NOVIKOV, Researcher, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia, Balashikha, Moscow region, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-2945-663X; e-mail: agps.nick182@gmail.com

Vladimir V. PAVLOV, Head of Sector, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia, Balashikha, Moscow region, Russian Federation; ORCID: 0000-0001-5131-7401; e-mail: vv.pavlov@mail.ru

Elena V. KUZNETSOVA, Senior Researcher, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia, Balashikha, Moscow region, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-4711-0210; e-mail: lenkus01@mail.ru

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*

© **Л. М. Мешман**¹, **В. А. Былинкин**¹, **Ю. И. Горбань**^{2✉},
М. Ю. Горбань², **К. Ю. Фокичева**²

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны
МЧС России (Россия, 143903, г. Балашиха Московской обл., мкр. ВНИИПО, 12)

² ООО «Инженерный центр пожарной робототехники «ЭФЭР» (Россия, 185031,
Республика Карелия, г. Петрозаводск, ул. Заводская, 4)

РЕЗЮМЕ

В третьей части рассмотрены особенности навигации ПРС в режиме сканирования; сформулированы определения основных параметров тушения сканирующими струями в угловых координатах и линейных размерах; предложены расчетные выражения для определения области сканирования ПРС относительно очага загорания. Для разработки алгоритмов тушения струйными струями рассмотрены растры сканирования по площади и графики угловых перемещений ствола ПРС в горизонтальной и вертикальной плоскостях при сканировании, которые вместе со скоростями перемещения составляют основу программы тушения. Рассмотрены варианты орошения защищаемой площади навесными или фронтальными сканирующими струями. Представлены эпюры орошения плоских поверхностей сканирующими струями под разными углами атаки. Приведены исходные требования по проведению гидравлических и огневых испытаний ПРС.

Ключевые слова: сканирующие струи; угол атаки; эффективная дальность; извещатель наведения; угловые координаты; площадь орошения; фронтальная поверхность.

Для цитирования: 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 // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2019. — Т. 28, № 5. — С. 71–81. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.05.71-81.

✉ Горбань Юрий Иванович, e-mail: frgroup@firerobots.ru

Actual problems of positioning of the robotic monitors to fire area in robotic fire suppression systems. Part 3. RFM operating programs for fire extinguishing with scanning streams considering RFMs positioning to fire area*

© **Leonid M. Meshman**¹, **Vladimir A. Bylinkin**¹, **Yuriy I. Gorban**^{2✉},
Mikhail Yu. Gorban², **Kristina Yu. Fokicheva**²

¹ All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia
(VNIIPPO, 12, Balashikha, Moscow Region, 143903, Russian Federation)

² Engineering Centre of Fire Robots Technology "FR" LLC (Zavodskaya St., 4,
Petrozavodsk, Republic of Karelia, 185031, Russian Federation)

ABSTRACT

The third part describes the features of RFM positioning in scanning mode; definitions of the main parameters of extinguishing by scanning streams in angular coordinates and linear dimensions are formulated; design calculations are proposed to determine the RFM scanning area relative to fire area.

* Окончание. Начало см. журнал «Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety» № 3 и 4 за 2019 г.
It is end. See the beginning of this article in *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2019, no. 3 and 4.

To develop line streams' extinguishing procedure, the scanning rasters by area and graphs of RFM angular movements in horizontal and vertical planes during scanning were considered, which together with the movement rates are the basis for extinguishing program. Options for protected area coverage with high-angled or frontal scanning streams were considered. Coverage diagrams of flat surfaces by scanning streams at different angles of attack were presented. The initial requirements to RFM hydraulic and fire tests were presented.

Keywords: scanning streams; angle of attack; effective range; targeting detectors; angular coordinates; coverage area; frontal surface.

For citation: L. M. Meshman, V. A. Bylinkin, Yu. I. Gorban, M. Yu. Gorban, K. Yu. Fokicheva. Actual problems of positioning of the robotic monitors to fire area in robotic fire suppression systems. Part 3. RFM operating programs for fire extinguishing with scanning streams considering RFMs positioning to fire area. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2019, vol. 28, no. 5, pp. 71–81. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.05.71-81.

✉ Yuriy Ivanovich Gorban, e-mail: frgroup@firerobots.ru

3.1. Особенности навигации ПРС при тушении строчными сканирующими струями

Строчное сканирование используется в тех случаях, когда необходимо увеличить эффективную дальность струи или обеспечить тушение пожара на большей площади очага пожара по сравнению с площадью пятна соприкосновения струи с защищаемой поверхностью.

Угловые перемещения струи ОТВ, формируемой стволом ПРС, при сканировании строками в горизонтальной плоскости приведены на рис. 18,а, а при сканировании строками в вертикальной плоскости — на рис. 18,б.

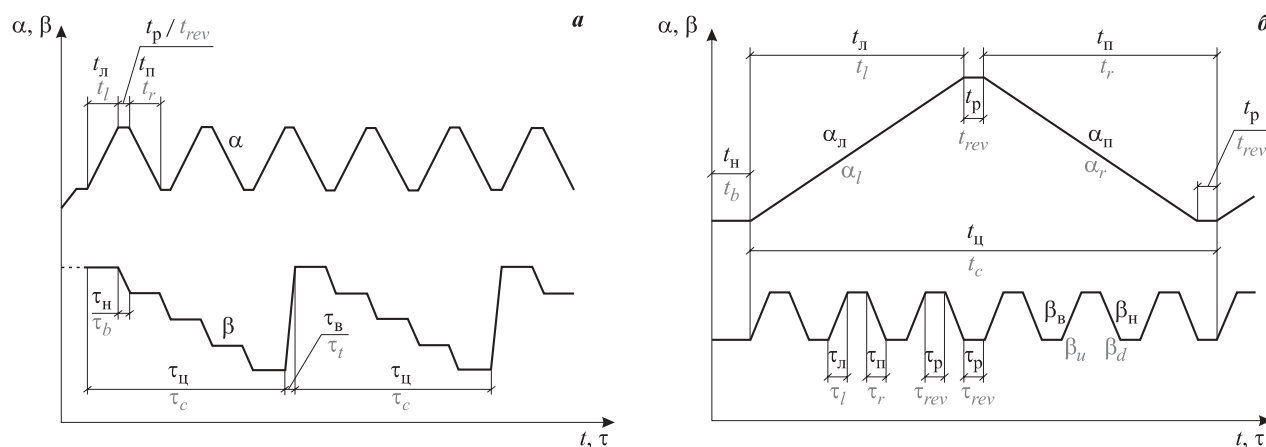


Рис. 18. Графики угловых перемещений ствола ПРС в горизонтальной (а) и вертикальной (б) плоскостях при сканировании строками: α , β — угловые перемещения ствола ПРС соответственно в горизонтальной и вертикальной плоскостях; α_l , α_r — угловые перемещения соответственно влево и вправо; β_v , β_n — угловые перемещения соответственно вверх и вниз; t_l , t_r — продолжительность перемещения ствола ПРС по строке в горизонтальной плоскости соответственно влево и вправо; τ_l , τ_r — то же, в вертикальной плоскости; τ_v , τ_n — продолжительность перемещения ствола ПРС в вертикальной плоскости соответственно снизу вверх и сверху вниз; t_p , τ_p — продолжительность реверса соответственно в горизонтальной и вертикальной плоскостях; $t_{\text{ци}}$, $\tau_{\text{ци}}$ — продолжительность цикла сканирования соответственно в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Примечание. При сканировании в одной плоскости возможны небольшие колебания пожарного ствола ПРС в другой плоскости. На рис. 18, б основное сканирование осуществляется в плоскости α , а колебательные движения пожарного ствола ПРС — в плоскости β

Fig. 18. Graphs of RFM angular movements in horizontal (a) and vertical (b) planes at line scanning: α , β — RFM angular movements in horizontal and vertical planes, respectively; α_l , α_r — angular movements to the left and to the right, respectively; β_v , β_n — angular movements up and down, respectively; t_l , t_r — the duration of RFM line movement in horizontal plane, respectively, left and right; τ_l , τ_r — the same, in vertical plane; τ_v , τ_n — the duration of RFM movement in vertical plane, respectively, from bottom to top and from top to bottom; t_{rev} , τ_{rev} — the duration of reverse movement, respectively, in horizontal and vertical planes; $t_{\text{ци}}$, $\tau_{\text{ци}}$ — the duration of scanning cycle, respectively, in horizontal and vertical planes.

Note. When scanning in plane, slight RFM vibrations in another plane might appear. In Fig. 18b, the main scanning is made in the plane α , and RFM vibration motions are in the plane β

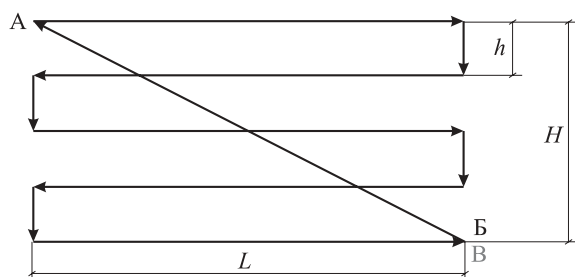


Рис. 19. Растр последовательного строчного сканирования пожарным стволом ПРС: А, В — соответственно начальная и конечная точки раstra сканирования; L — длина строки сканирования в горизонтальной плоскости; H — высота раstra сканирования; h — шаг сканирования по вертикали

Fig. 19. Raster of RFM sequential line scanning: A, B — respectively, the reference point and the destination point of scanning raster; L — length of scanning line in horizontal plane; H — height of scanning raster; h — vertical scanning step

сканирования, тем продолжительнее цикл сканирования. Если при этом тушение осуществляется компактной струей, то период возвращения струи в исходное (начальное) положение цикла может быть настолько большим, что пожар не может быть потушен.

Сканирующая струя ОТВ, квазиперпендикулярная защищаемой поверхности, в месте соприкосновения с защищаемой поверхностью имеет форму круга, а сканирующая струя ОТВ, подаваемая под углом атаки θ к защищаемой поверхности, — форму эллипса.

3.2. Сканирующие струи, квазиперпендикулярные фронтальной поверхности ($\theta \sim 90^\circ$)

Если защищаемая площадь подвергается орошению навесными или фронтальными струями со сканированием стволом ПРС при $\theta \sim 90^\circ$, то программа управления должна предусматривать навигацию и визирование ствола ПРС на осевую линию пламени таким образом, чтобы нижняя кромка пламени совпадала с нижней кромкой пятна контакта струи с защищаемой поверхностью (или несколько ниже).

Для сканирующей фронтальной струи, квазиперпендикулярной фронтальной поверхности, пятно соприкосновения струи с орошаемой поверхностью и орошаемая площадь не совпадают, а диаметр струи $D_{\text{стр}}$ и длительность цикла сканирования изначально принимают исходя из предельно допустимой площади пожара (рис. 20).

В процессе сканирования возможно отклонение раstra сканирования от исходного положения, которое согласно ГОСТ Р 53326–2009 не должно превышать 2° .

Если визирование струи предполагается за пределами регистрируемой области очага пожара, очаг пожара не выходит за пределы площади взаимодей-

ствия сканирующей струи с поверхностью ABCD и угол $(\psi + 2\alpha + 2\beta)$ не выходит за пределы угла Δ , то фронтальная сканирующая струя обеспечивает ликвидацию пожара при соответствующей корректировке расхода по отношению к расходу стационарной струи при $\theta \sim 90^\circ$. В этом случае (при $R \gg D_{\text{стр}}$) угол сканирования ω струи, пятно соприкосновения струи с поверхностью орошения и площадь, орошаемая с квазипостоянной интенсивностью, имеют вид (см. рис. 20):

а) пятно соприкосновения:

– в угловых координатах:

$$\Delta_{\text{сопр}} = \psi + 2\alpha + 2\beta + 2\gamma = \omega + 2\delta; \quad (14)$$

– в линейных размерах:

$$L_{\text{сопр}} = AD = D_{\text{стр}} + OO_1 = D_{\text{стр}} + l = 2R \operatorname{tg}(\psi/2 + \alpha + \beta + \gamma) \quad (15a)$$

$$\text{или} \quad L_{\text{сопр}} = \Delta_{\text{сопр}} R / 57,3; \quad (15b)$$

– площадь соприкосновения:

$$S_{\text{сопр}} = \frac{\pi D_{\text{стр}}^2}{8} + l D_{\text{стр}} + \frac{\pi D_{\text{стр}}^2}{8} = \left(\frac{\pi D_{\text{стр}}}{4} + l \right) D_{\text{стр}}; \quad (16)$$

б) область сканирования струи:

– в угловых координатах:

$$\omega \geq \psi; \quad (17)$$

– в линейных размерах:

$$l = OO_1 \geq AD - D_{\text{стр}} = 2R \operatorname{tg}(\omega/2), \quad (18a)$$

$$\text{или} \quad l = \omega R / 57,3; \quad (18b)$$

в) орошаемая площадь:

– в угловых координатах:

$$\Delta_{\text{орош}} = \psi + 2\alpha + 2\beta + 2\gamma = \omega + 2\delta; \quad (19)$$

– в линейных размерах:

$$L_{\text{орош}} = AD = D_{\text{стр}} + OO_1 = D_{\text{стр}} + l = 2R \operatorname{tg}(\psi/2 + \alpha + \beta + \gamma), \quad (20a)$$

$$\text{или} \quad L_{\text{орош}} \approx \Delta_{\text{орош}} R / 57,3; \quad (20b)$$

– площадь орошения:

$$S_{\text{орош}} = \zeta S_{\text{сопр}} = \zeta (\pi D_{\text{стр}} / 4 + l) D_{\text{стр}}, \quad (21)$$

где ζ — коэффициент, учитывающий увеличение площади орошения струей за счет ее растекания по направлению подачи.

При этом интенсивность орошения в пределах раstra сканирования в зоне контакта струи с орошаемой поверхностью должна соответствовать ГОСТ Р 51043–2002 и СП 5.13130.2009 [40]. Предполагается, что интенсивность орошения в зоне, расположенной ниже строки орошения, не хуже, чем в зоне не-

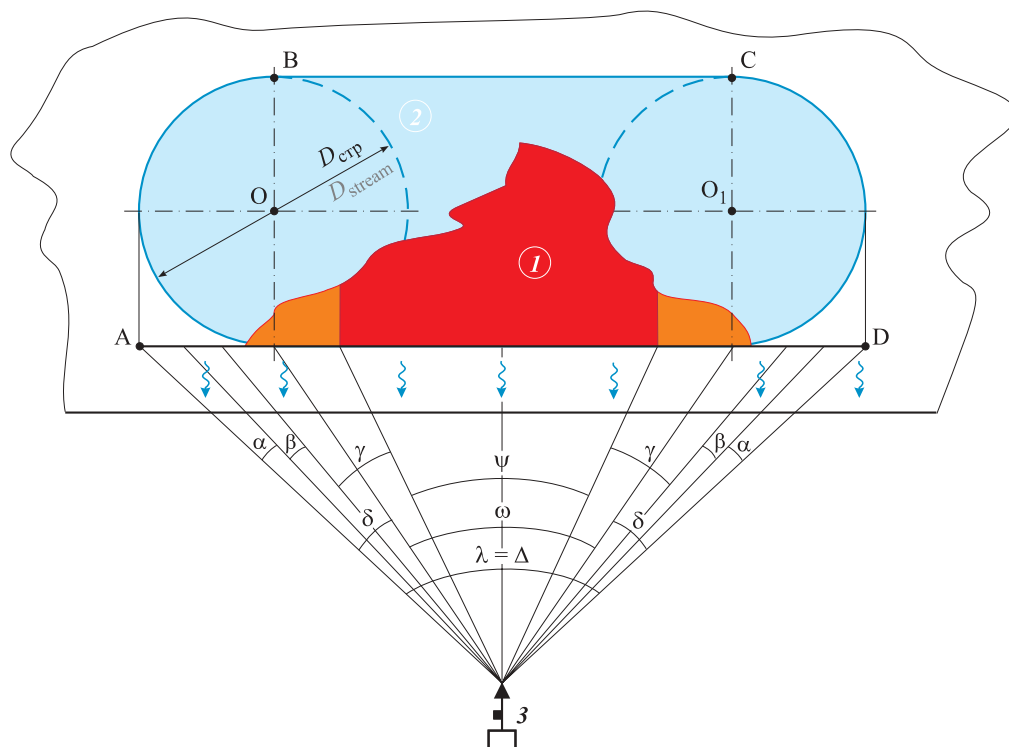


Рис. 20. Эпюра орошения плоской поверхности сканирующей струей с углом атаки $\theta \sim 90^\circ$: 1 — пламя; 2 — орошаемая площадь; 3 — ПРС; ω — угол сканирования; Δ — угол орошения сканирующей струей защищаемой поверхности; ψ — угол зоны чувствительности извещателя наведения; α — угол погрешности навигации; β — угол погрешности юстировки извещателя наведения; η — угол погрешности позиционирования (не указан, принимается только на одну сторону); $l = OO_1$ — длина перемещения (длина сканирования); $L = AD$ — максимальная длина орошения (длина строки); $D_{стр}$ — диаметр струи в месте соприкосновения с защищаемой поверхностью; λ — расчетный угол орошения струей; δ — угол зоны охлаждения защищаемой поверхности; γ — погрешность позиционирования

Fig. 20. Diagram of a flat surface coverage with a scanning stream at an angle of attack $\theta \sim 90^\circ$: 1 — flame; 2 — covered area; 3 — RFM; ω — scanning angle; Δ — angle of scanning stream coverage of the surface to be protected; ψ — angle of targeting detector threshold level; α — positioning inaccuracy angle; β — angle of targeting detector adjustment tolerance; η — positioning inaccuracy angle (not specified, taken only per one side); $l = OO_1$ — movement length (scanning length); $L = AD$ — maximum coverage length (line length); D_{stream} — stream diameter at contact spot with the surface to be protected; λ — calculated angle of stream coverage; δ — angle of the cooling zone of the protected surface; γ — positioning tolerance

посредственного контакта струи с поверхностью, а на границах предельных угловых координат она сохраняется вследствие более продолжительного пребывания в этой зоне, обусловленного реверсом движения.

Аналогичные положения по определению эпюр орошения приемлемы и для сканирующей навесной струи, квазиперпендикулярной горизонтальной поверхности.

3.3. Сканирующие струи, подаваемые под углом атаки к фронтальной поверхности ($0^\circ < \theta < 90^\circ$)

Для сканирующих струй, подаваемых под углом к фронтальной поверхности ($0^\circ < \theta < 90^\circ$), угол сканирования и размеры раstra изначально принимаются исходя из предельно допустимой площади или линейного размера пожара, диаметра струи $D_{стр}$ и угла атаки струи θ к объекту защиты (рис. 21).

При значительных размерах пламени и реализации программой управления недостаточно простого способа навигации и визирования ствола ПРС на осевую линию пламени не было бы необходимости применять сканирующую струю, но потребовалось бы такая струя, у которой диаметр превышал бы максимальный линейный размер пламени. В этом случае программа управления должна быть нацелена на визирование ствола ПРС и регистрацию такой точки или вертикальной линии на площади пламени, чтобы в зону начального сканирования (начального орошения) обязательно попала левая часть пламени (если сканирование начинается слева направо) с учетом погрешностей навигации α , зоны нечувствительности извещателя наведения β и погрешности позиционирования γ . При этом нижняя кромка пламени должна, как минимум, совпадать с нижней кромкой пятна контакта струи с защищаемой поверхностью, а пятно контакта ОТВ с защищаемой поверхностью (независимо от расстояния от ПРС

до защищаемой поверхности) за счет регулировки угла раскрытия струи должно поддерживаться системой управления квазипостоянным. Таким образом, получим эпюру орошения в области сканирования струи АВСЕС₂В₂А длиной $L_{ск}$ (в пределах угла орошения струей защищаемой поверхности при ска-

нировании $\Delta_{ск}$). Если очаг пожара не выходит за пределы площади орошения сканирующей струей АВСЕС₂В₂А и угол не выходит за пределы угла $\Delta_{ск}$, то сканирующая струя, действующая под углом атаки θ к фронтальной поверхности, обеспечивает ликвидацию пожара.

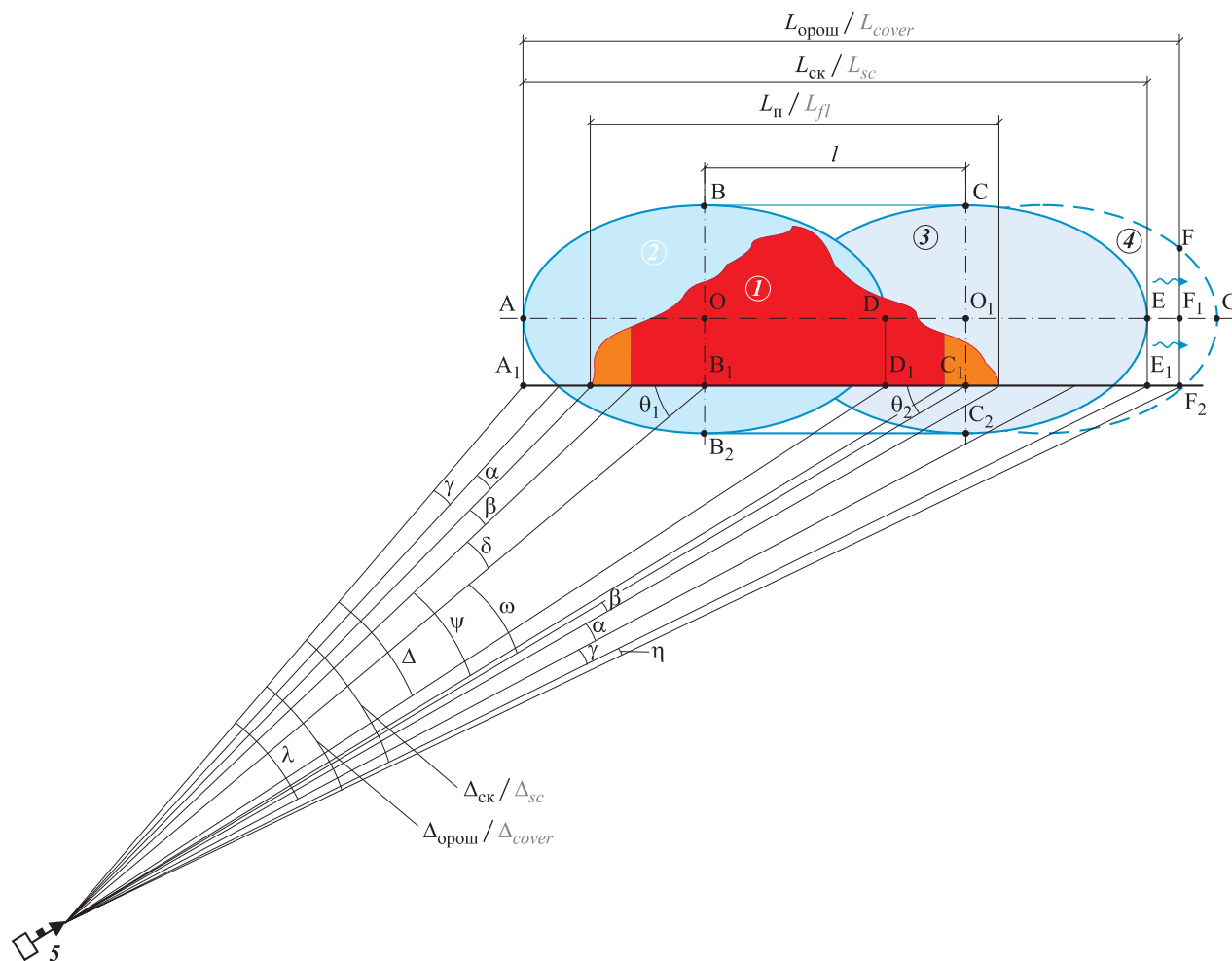


Рис. 21. Эпюра орошения плоской поверхности сканирующей струей с углом атаки ($0^\circ < \theta < 90^\circ$): 1 — пламя; 2 — орошаемая площадь; 3 — сканируемая зона; 4 — зона, орошаемая за счет инерции; 5 — ПРС; ω — угол сканирования; θ — угол атаки; δ — угол орошения струей защищаемой поверхности; ψ — угол зоны чувствительности извещателя наведения; α — угол погрешности навигации; β — угол зоны нечувствительности извещателя наведения; γ — угол погрешности позиционирования (принимается только на одну сторону); $\Delta_{ск}$ — угол соприкосновения сканирующей струи с защищаемой поверхностью; $\Delta_{орш}$ — угол орошения сканирующей струей защищаемой поверхности орошения с учетом инерционной составляющей; η — угол, учитывающий увеличение угла орошения сканирующей струей за счет ее растекания вдоль направления подачи; L ($L = L_{ск} = L_{сопр} = AE$) — длина пятна соприкосновения струи с поверхностью; $L_{орш}$ — длина орошения сканирующей струей защищаемой поверхности с нормативной интенсивностью орошения; $L_{пл}$ — длина пламени; $l = OO_1$ — длина сканирования; $D_{стр}$ — диаметр струи в месте соприкосновения с защищаемой поверхностью; Δ — реальный угол орошения струей защищаемой поверхности; λ — расчетный угол орошения струей, приходящийся на очаг пожара с учетом погрешности навигации

Fig. 21. Diagram of a flat surface coverage with a scanning stream at an angle of attack ($0^\circ < \theta < 90^\circ$): 1 — flame; 2 — covered area; 3 — scanning area; 4 — area covered by inertia; 5 — RFM; ω — scanning angle; θ — angle of attack; δ — angle of stream coverage of the surface to be protected; ψ — angle of targeting detector threshold level; α — positioning inaccuracy angle; β — angle of targeting detector dead zone; γ — positioning inaccuracy angle (taken only per one side); $\Delta_{ск}$ — angle of scanning stream contact with protected surface; $\Delta_{орш}$ — angle of scanning stream coverage of the protected surface in consideration of inertia; η — angle that takes into account the increase of scanning stream angle due to its spreading along the supply direction; L ($L = L_{ск} = L_{contact} = AE$) — length of contact spot with surface; $L_{орш}$ — length of scanning stream coverage of protected surface with standard coverage rate; L_{fl} — flame length; $l = OO_1$ — scanning length; D_{stream} — stream diameter at contact spot with the surface to be protected; Δ — actual stream coverage angle of protected surface; λ — calculated angle of stream coverage of fire area tin consideration of positioning tolerance

Поскольку ОТВ по инерции будет скользить по поверхности орошения по направлению его подачи, то интенсивность орошения будет сохраняться на некотором участке $ABCFF_1C_2B_2A$ длиной $L_{\text{орш}}$ (в пределах угла орошения струей защищаемой поверхности при сканировании $\Delta_{\text{орш}}$), заведомо перекрывая в этой зоне погрешность навигации α , зону нечувствительности β извещателя наведения и погрешность позиционирования γ . Поэтому погрешности α , β и γ во многих случаях можно учитывать только с одной левой стороны АО эпюры орошения $ABCEC_2B_2A$ (особенно, когда $\omega \gg \alpha + \beta + \gamma$), т. е. ликвидация пожара может быть обеспечена при некотором сокращении длины сканирования $l = OO_1$ или уменьшении угла сканирования ω .

Чем меньше угол атаки θ , тем больше площадь эллипса $S_{\text{э}}$ и при неизменном расходе меньше интенсивность орошения, а значит, меньше ОТВ стекает вниз по вертикальной плоскости.

В этом случае (при $R \gg D_{\text{стр}}$) область сканирования ω струи, пятно соприкосновения сканирующей струи с поверхностью орошения и площадь, орошаемая с квазипостоянной интенсивностью, будут иметь вид (см. рис. 21):

а) пятно соприкосновения:

– в угловых координатах:

$$\Delta_{\text{ск}} = 2(\alpha + \beta + \gamma + \delta) + \omega = 2\Delta + \omega; \quad (22)$$

– в линейных размерах:

$$L_{\text{сопр}} = AO + l + O_1E = AD + l \approx 2R \operatorname{tg}(\omega/2 + \Delta), \quad (23a)$$

$$\text{или} \quad L_{\text{сопр}} \approx \Delta_{\text{ск}} R / 57,3; \quad (23б)$$

– площадь соприкосновения:

$$S_{\text{сопр}} = \frac{\pi AD \cdot BB_2 / 4 + OO_1 \cdot BB_1}{\sin \theta} = \frac{\pi D_{\text{стр}}^2}{4 \sin \theta} + \frac{l D_{\text{стр}}}{\sin \theta} = \frac{D_{\text{стр}}}{\sin \theta} \left(\frac{\pi D_{\text{стр}}}{4} + l \right) = \frac{D_{\text{стр}} (0,785 D_{\text{стр}} + l)}{\sin \theta}; \quad (24)$$

б) область сканирования струи:

– в угловых координатах:

$$\omega \leq \psi; \quad (25)$$

– в линейных размерах:

$$l \approx 2R \operatorname{tg}(\omega/2) / \sin \theta, \quad (26a)$$

$$\text{или} \quad l \approx \omega R / 57,3; \quad (26б)$$

в) орошаемая площадь:

– в угловых координатах:

$$\Delta_{\text{орш}} = \Delta_{\text{ск}} + \eta, \text{ или } \Delta_{\text{орш}} = v \Delta_{\text{ск}}; \quad (27)$$

– в линейных размерах:

$$L_{\text{орш}} = AO + l + O_1E + EF_1 = AF_1 + l \approx R \operatorname{tg}(\omega/2 + \Delta/2) \approx R \operatorname{tg}(\omega/2 + \Delta/2 + \eta), \quad (28a)$$

$$\text{или} \quad L_{\text{орш}} \approx \zeta R \operatorname{tg}(\omega/2 + \Delta) + \xi R \operatorname{tg}(\omega/2 + \Delta) \approx \zeta \xi \Delta_{\text{сопр}} R / 57,3; \quad (28б)$$

– площадь орошения:

$$S_{\text{орш}} = \zeta \xi (\pi \cdot O_1C_1 \cdot O_1B_1 / 4 + D_{\text{стр}} \cdot OO_1) = \zeta \xi D_{\text{стр}} (0,785 D_{\text{стр}} + l) / \sin \theta, \quad (29)$$

где v — коэффициент, учитывающий увеличение угла орошения струи за счет ее растекания вдоль направления подачи; ξ — коэффициент, учитывающий увеличение площади орошения струей за счет ее стекания по вертикали; ζ — коэффициент, учитывающий увеличение площади орошения струей за счет ее растекания по направлению подачи.

При этом интенсивность орошения в пределах раstra сканирования в зоне контакта струи с орошаемой поверхностью должна соответствовать СП 5.13130.2009 [40]. Предполагается, что по сравнению с интенсивностью орошения в зоне непосредственного контакта струи с поверхностью интенсивность орошения в зоне, расположенной вдоль направления потока ОТВ на некотором расстоянии от границы контакта струи с орошаемой поверхностью, при изменении угла атаки θ от 0 до 90° изменяется от максимума до минимума (т. е. практически до нуля), и наоборот, в некоторой зоне, расположенной ниже строки орошения, при изменении угла атаки θ от 0 до 90° изменяется от минимума до максимума (т. е. практически до интенсивности орошения, соответствующей интенсивности в зоне контакта струи с поверхностью).

Расход ПРС сканирующей фронтальной, действующей под углом к фронтальной поверхности ($0^\circ < \theta < 90^\circ$) или навесной струи рассчитывается следующим образом:

$$Q_{\text{ц}} = \varphi Q \geq \varphi K i S_{\text{сопр}}, \quad (30)$$

где $Q_{\text{ц}}$ — расход при циклическом сканировании;

φ — коэффициент цикличности сканирования;

Q — расход статической струи;

K — коэффициент использования расхода;

$K = (1,2 \div 1,3)$;

i — нормативная интенсивность орошения по СП 5.13130.2009, л/(с·м²);

$S_{\text{сопр}}$ — площадь соприкосновения струи ОТВ с орошаемой поверхностью, м²: для пятна контакта струи в форме круга $S_{\text{сопр.к}} = \pi D_{\text{стр}}^2 / 4$, эллипса — $S_{\text{сопр.э}} = \pi D_{\text{стр}}^2 / (4 \sin \theta)$.

Коэффициент цикличности сканирования φ существенным образом зависит от длительности сканирования по строке и длительности общего цикла

сканирования. Порядок оценки этого мультикритериального параметра предстоит определить по мере накопления массива данных огневых испытаний. Естественно, чем продолжительнее цикл сканирования, тем больше должен быть расход (при одинаковой конфигурации струи).

Аналогичные положения по определению эпюры орошения приемлемы и для сканирующей навесной струи, действующей под углом атаки к горизонтальной поверхности ($0^\circ < \theta < 90^\circ$).

4. Номенклатура гидравлических и огневых испытаний ПРС

В процессе проектирования РУП возникает необходимость в проведении огневых испытаний, в результате которых должны быть подтверждены предварительно принятые расход и навигационные параметры. При проведении огневых испытаний по определению эффективности РУП применительно к конкретному объекту защиты задают предварительно рассчитанные расход и давление у ствола ПРС, расстояние от него до максимально удаленной орошаемой зоны, ее линейные размеры, чувствительность извещателей общего обзора, зонных извещателей и извещателей наведения, начальную координату визирования ствола ПРС для подачи ОТВ, вид струи, количество строк сканирования, погрешность навигации и позиционирования. С учетом принятых исходных данных составляется схема раstra сканирования стволом ПРС.

В случае несоответствия результатов испытаний запланированным необходимо провести корректировку исходных гидравлических и навигационных параметров, алгоритма функционирования или переконфигурировать ПРС относительно защищаемого объекта и повторить полный цикл огневых испытаний с новыми откорректированными параметрами.

И наоборот, если результаты испытаний положительные, то можно снизить требования к исходным параметрам: например, увеличить размеры очага пожара или расстояние между ним и ПРС, сократить расход в орошаемую зону, уменьшить в целях ис-

ключения ложных срабатываний чувствительность извещателей, изменить угол атаки струи и т. п.

Следует иметь в виду, что расходы ПРС, входящих в состав РУП, в зависимости от пожарной нагрузки, расположенной в защищаемых ими производственных зонах, могут существенно различаться. В этом случае для обеспечения возможности вовлечения в рабочий режим большего количества ПРС они должны быть снабжены насадками с соответствующими коэффициентами производительности.

Выводы

1. Рассмотрены особенности навигации ПРС на очаг пожара.

2. Предложены расчетные выражения для определения области сканирования статическими и сканирующими струями, пятна соприкосновения струи с защищаемой поверхностью и орошаемой зоны в угловых координатах и в линейных размерах.

3. Для успешного функционирования в рабочем режиме алгоритм системы управления как РУП, так и отдельных ПРС в зависимости от архитектурно-планировочных решений защищаемого объекта должен позволять вносить автоматическую корректировку:

- процесса навигации в период поиска очага пожара и визирования на него пожарного ствола ПРС (на контур, в эпицентр или под обрез пламени);
- способа подачи струи ОТВ в очаг пожара (фронтальным или навесным распыленным потоком, статической или сканирующей струей);
- диаметра струи ОТВ (в зависимости от дальности подачи струи);
- угла возвышения ствола по отношению к углу визирования извещателя наведения (в зависимости от дальности и давления подачи струи ОТВ).

4. Для накопления исходных гидравлических и навигационных параметров для нормативной базы по проектированию РУП необходимо продолжить дальнейшие исследования баллистики и эпюры орошения различных видов как фронтальных и навесных, так и статических и сканирующих струй.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Shanee Honig, Tal Oron-Gilad*. Understanding and resolving failures in human-robot interaction: Literature review and model development // *Frontiers in Psychology*. — 2018. — Vol. 9. — Article No. 861. — 21 p. DOI: 10.3389/fpsyg.2018.00861.
2. Аналитическое исследование: мировой рынок робототехники. — М.: Национальная Ассоциация участников рынка робототехники, 2016. — 157 с. URL: http://robotforum.ru/assets/files/000_News/NAURR-Analiticheskoe-issledovanie-mirovogo-rinka-robototekhniki-%28yanvar-2016%29.pdf (дата обращения: 05.01.2019).
3. *Marchant G. E., Allenby B., Arkin R. C., Borenstein J., Gaudet L. M., Kittrie O., Lin P., Lucas G. R., O'Meara R., Silberman J.* International governance of autonomous military robots // *Handbook of unmanned aerial vehicles* / *Valavanis K. P., Vachtsevanos G. J.* (eds). — Dordrecht : Springer, 2015. — P. 2879–2910. DOI: 10.1007/978-90-481-9707-1_102.

4. *Møller Michael*. UN meeting targets 'killer robots' // UN News. — 14 May 2014. URL: <http://www.un.org/apps/news/story.asp?NewsID=47794> (дата обращения: 07.01.2019).
5. *Cummings M. L.* Unmanned robotics and new warfare: a pilot/professor's perspective // Harvard National Security Journal. — 24 March 2010. URL: <http://harvardnsj.org/2010/03/unmanned-robotics-new-warfare-a-pilotprofessors-perspective/> (дата обращения: 07.01.2019).
6. 11 police robots patrolling around the world // Wired. — 24 July 2016. URL: <https://www.wired.com/2016/07/11-police-robots-patrolling-around-world/> (дата обращения: 05.01.2019).
7. *Бойко Алексей* (ABloud). Каталог пожарных роботов. Пожарные роботы. Роботизированная техника для борьбы с пожарами. URL: <http://robotrends.ru/robopedia/katalog-pozharnyh-robotov> (дата обращения: 05.01.2019).
8. *Tan Chee Fai, Liew S. M., Alkahari M. R., Ranjit S. S. S., Said M. R., Chen W., Rauterberg G. W. M., Sivakumar D., Sivarao*. Fire fighting mobile robot: state of the art and recent development // Australian Journal of Basic and Applied Sciences. — 2013. — Vol. 7, No. 10. — P. 220–230.
9. Fire robots and fire robots technology: product catalogue 2015–2016. — Petrozavodsk : "FR" Engineering Centre of Fire Robots Technology, LLC. Publ., 2017. — 23 p. URL: <http://www.russchinatrade.ru/assets/files/ru-offer/FR%E4%BA%A7%E5%93%81%E7%9B%AE%E5%BD%952015%E8%8B%B1%E6%96%87%E7%89%88.pdf> (дата обращения: 20.12.2018).
10. Роботы в промышленности — их типы и разновидности. Робототехника, 3D-принтеры. Блог компании Top 3D Shop. URL: <https://habr.com/ru/company/top3dshop/blog/403323/> (дата обращения: 25.12.2018).
11. *Melanson Tony*. What Industry 4.0 means for manufacturers. URL: <https://aethon.com/mobile-robots-and-industry4-0/> (дата обращения: 05.01.2019).
12. Каталог решений роботизированного транспорта. Транспорт и роботы. Зарубежные решения. URL: <http://robotrends.ru/robopedia/katalog-resheniy-robotizirovannogo-transporta> (дата обращения: 10.01.2019).
13. *Ruggiero Alexander, Salvo Sebastian, Laurent Chase St.* Robotics in construction: IQP Final Report 3/24/2016. — Massport, 2016. — 78 p. URL: <http://web.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project-032316-150233/unrestricted/FinalReport.pdf> (дата обращения: 10.01.2019).
14. Robots in Agriculture. URL: <http://www.intorobotics.com/35-robots-in-agriculture/> (дата обращения: 05.01.2019).
15. *Juan Jesús Roldán, Jaime del Cerro, David Garzón Ramos, Pablo Garcia Aunon, Mario Garzón, Jorge de León, Antonio Barrientos*. Robots in agriculture: State of art and practical experiences // Service Robots / Rolf Dieter Schraft, Gernot Schmierer. — New York : A K Peters / CRC Press, 2018. — 228 p. DOI: 10.5772/intechopen.69874.
16. *Van Oost E., Reed D.* Towards a sociological understanding of robots as companions // HRP 2010: Human-Robot Personal Relationships. Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering / Lamers M. H., Verbeek F. J. (eds). — Heidelberg : Springer. — P. 11–18. DOI: 10.1007/978-3-642-19385-9_2.
17. *Van der Plas A., Smits M., Wehrmann C.* Beyond speculative robot ethics: a vision assessment study on the future of the robotic caretaker // Accountability in Research. — 2010. — Vol. 17, Issue 6. — P. 299–315. DOI: 10.1080/08989621.2010.524078.
18. *Van Wynsberghe A.* Designing robots for care: care centered value-sensitive design // Science and Engineering Ethics. — 2013. — Vol. 19, Issue 2. — P. 407–433. DOI: 10.1007/s11948-011-9343-6.
19. *Robinette P., Howard A., Wagner A. R.* Conceptualizing overtrust in robots: why do people trust a robot that previously failed? // Autonomy and artificial intelligence: a threat or savior? / Lawless W. F., Mittu R., Sofge D., Russell S. (eds). — Cham : Springer, 2017. — P. 129–155. DOI: 10.1007/978-3-319-59719-5_6.
20. *Ефанов В., Мартынов М., Пучхадзе К.* Космические роботы для научных исследований // Наука в России. — 2012. — № 1. — С. 4–11.
21. *Royakkers L., van Est R.* A literature review on new robotics: automation from love to war // International Journal of Social Robotics. — 2015. — Vol. 7, Issue 5. — P. 549–570. DOI: 10.1007/s12369-015-0295-x.
22. *Honig S., Oron-Gilad T.* Understanding and resolving failures in human-robot interaction: literature review and model development // Frontiers in Psychology. — 2018. — Vol. 9. DOI: 10.3389/fpsyg.2018.00861.
23. Автоматическая установка с самонаведением средств тушения на очаг пожара // Пожарное дело. — 1970. — № 2. — С. 257.
24. А. с. 257300 СССР. МПК A62C 37/10 (2000.01), A62C 37/40 (2000.01). Устройство для наведения огнетушащей струи на очаг пожара / Веселов А. И., Абдеев М. Г., Балагин П. Г. — № 1206295.29-14; заявл. 26.12.1967; опубл. 11.11.1969, Бюл. № 35.
25. А. с. 370950 СССР. МПК A62C 37/04 (2000.01). Устройство для наведения огнетушащей струи на очаг пожара / Мешман Л. М. — № 1488694/29-14; заявл. 02.11.1970; опубл. 22.11.1973, Бюл. № 12.

26. Веселов А. И., Меишман Л. М. Автоматическая пожаро- и взрывозащита предприятий химической и нефтехимической промышленности. — М. : Химия, 1975. — 280 с.
27. Weselow A. I., Meschman L. M. Automatischer brand- und explosionschutz. — Berlin : Staatsverlag DDR, 1979. — 200 s.
28. Попов Н. Л., Горбань Ю. И. Пожарные роботы // Пожарное дело. — 1986. — № 7. — С. 20–21.
29. Меишман Л. М., Верецагин С. Н. Современная пожарная робототехника : обзорная информация. — М. : ГИЦ МВД СССР, 1988. — 42 с.
30. Меишман Л. М., Пивоваров В. В., Гомозов А. В., Верецагин С. Н. Пожарная робототехника. Состояние и перспективы использования : обзорная информация. — М. : ВНИИПО МВД СССР, 1992. — 82 с.
31. Меишман Л. М., Верецагин С. Н., Широков С. М., Алдонясов В. И. Баллистика сканирующих струй // Пожарная техника и тушение пожаров. — М. : ВНИИПО МВД СССР, 1990. — С. 61–66.
32. НПБ 84–2000. Установки водяного и пенного пожаротушения роботизированные. Общие технические требования. Методы испытаний. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200016071> (дата обращения: 10.01.2019).
33. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон РФ от 22.07.2008 № 123-ФЗ (в ред. от 29.07.2017). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения: 25.12.2018).
34. FM 142.1. Approval Standard for Fire Protection Monitor Assemblies. FM Approvals LLC, 2018. — 28 p.
35. Jensen G. Fire fighting systems: Comparison of performances of interior and exterior applications at large wood buildings. KA PROJECT. Test report A075349. Final. — Trondheim : COWI AS, 2018. — 26 p. (in Norwegian).
36. Gorban Yu. I. An automated fire-fighting complex integrating a television system. European patent 2599525B; publ. date 30.12.2015, Bull. 53.
37. Gorban Yu. I. Fire robots // Industrial Fire Journal. — 2016. — No. 103. — P. 12–13.
38. Пат. 2677622 Российская Федерация. МПК А62С 35/00 (2006.01). Роботизированный пожарный комплекс на базе пожарных мини-роботов-оросителей с системой удаленного доступа / Горбань Ю. И. — № 2018116814; заявл. 04.05.2018; опублик. 17.01.2019, Бюл. № 2.
39. Горбань Ю. И. Пожарные роботы и ствольная техника в пожарной автоматике и пожарной охране. — М. : Пожнаука, 2013. — 352 с.
40. СП 5.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования (ред. от 01.06.2011). URL: <http://base.garant.ru/195658/> (дата обращения: 15.12.2018).
41. ВНПБ 39–16 (СТО 1682.0017–2015). Роботизированная установка пожаротушения. Нормы и правила проектирования. — М. : ВНИИПО МЧС России, 2016. — 84 с.

REFERENCES

1. Shanee Honig, Tal Oron-Gilad. Understanding and resolving failures in human-robot interaction: Literature review and model development. *Frontiers in Psychology*, 2018, vol. 9, article no. 861. 21 p. DOI: 10.3389/fpsyg.2018.00861.
2. *Analiticheskoye issledovaniye: mirovoy rynek robototekhniki* [Analytical study: robotic technologies world market]. Moscow, Russian Association of Robotics Publ., 2016. 157 p. (in Russian). Available at: http://robotforum.ru/assets/files/000_News/NAURR-Analiticheskoe-issledovanie-mirovogo-rinka-robototekhniki-%28yanvar-2016%29.pdf (Accessed 5 January 2019).
3. G. E. Marchant, B. Allenby, R. C. Arkin, J. Borenstein, L. M. Gaudet, O. Kittrie, P. Lin, G. R. Lucas, R. O'Meara, J. Silberman. International governance of autonomous military robots. In: K. P. Valavanis, G. J. Vachtsevanos (eds). *Handbook of unmanned aerial vehicles*. Dordrecht, Springer, 2015, pp. 2879–2910. DOI: 10.1007/978-90-481-9707-1_102.
4. Michael Møller. UN meeting targets 'killer robots'. *UN News*, 14 May 2014. Available at: <http://www.un.org/apps/news/story.asp?NewsID=47794> (Accessed 7 January 2019).
5. M. L. Cummings. Unmanned robotics and new warfare: a pilot/professor's perspective. *Harvard National Security Journal*, 24 March 2010. Available at: <http://harvardnsj.org/2010/03/unmanned-robotics-new-warfare-a-pilotprofessors-perspective/> (Accessed 7 January 2019).
6. 11 police robots patrolling around the world. *Wired*, 24 July 2016. Available at: <https://www.wired.com/2016/07/11-police-robots-patrolling-around-world/> (Accessed 5 January 2019).
7. Aleksey Boyko (Abloud). *Catalog of firefighting robots. Firefighting robots. Robotic technologies for firefighting* (in Russian). Available at: <http://robotrends.ru/robopedia/katalog-pozharnyh-robotov> (Accessed 5 January 2019).

8. Chee Fai Tan, S. M. Liew, M. R. Alkahari, S. S. S. Ranjit, M. R. Said, W. Chen, G. W. M. Rauterberg, D. Sivakumar, Sivarao. Fire fighting mobile robot: state of the art and recent development. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 2013, vol. 7, no. 10, pp. 220–230.
9. *Fire robots and fire robots technology. Product catalogue 2015–2016*. Petrozavodsk, “FR” Engineering Centre of Fire Robots Technology, LLC. Publ., 2017. 23 p. Available at: <http://www.russchinatrade.ru/assets/files/ru-offer/FR%E4%BA%A7%E5%93%81%E7%9B%AE%E5%BD%952015%E8%8B%B1%E6%96%87%E7%89%88.pdf> (Accessed 20 December 2018).
10. *Industrial robots — types and varieties. Robotic technologies, 3D printers. Top 3D company blog* (in Russian). Available at: <https://habr.com/ru/company/top3dshop/blog/403323/> (Accessed 25 December 2018).
11. Tony Melanson. *What Industry 4.0 means for manufacturers*. Available at: <https://aethon.com/mobile-robots-and-industry4-0/> (Accessed 5 January 2019).
12. *Catalog of robotic transport solutions. Transport and robots. Foreign solutions* (in Russian). Available at: <http://robotrends.ru/robopedia/katalog-resheniy-robotizirovannogo-transporta> (Accessed 10 January 2019).
13. Alexander Ruggiero, Sebastian Salvo, Chase St. Laurent. *Robotics in construction. IQP Final Report 3/24/2016*. Massport, 2016. 78 p. Available at: <http://web.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project-032316-150233/unrestricted/FinalReport.pdf> (Accessed 10 January 2019).
14. *Robots in Agriculture*. Available at: <http://www.intorobotics.com/35-robots-in-agriculture/> (Accessed 5 January 2019).
15. Juan Jesús Roldán, Jaime del Cerro, David Garzón Ramos, Pablo Garcia Aunon, Mario Garzón, Jorge de León, Antonio Barrientos. Robots in agriculture: State of art and practical experiences. In: Rolf Dieter Schraft, Gernot Schmierer. *Service Robots*. New York, A K Peters / CRC Press, 2018. 228 p. DOI: 10.5772/intechopen.69874.
16. E. van Oost, D. Reed. Towards a sociological understanding of robots as companions. In: M. H. Lamers, F. J. Verbeek (eds). *Human-Robot Personal Relationships. HRPR 2010. Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering*. Heidelberg, Springer, pp. 11–18. DOI: 10.1007/978-3-642-19385-9_2.
17. A. van der Plas, M. Smits, C. Wehrmann. Beyond speculative robot ethics: a vision assessment study on the future of the robotic caretaker. *Accountability in Research*, 2010, vol. 17, issue 6, pp. 299–315. DOI: 10.1080/08989621.2010.524078.
18. A. van Wynsberghe. Designing robots for care: care centered value-sensitive design. *Science and Engineering Ethics*, 2013, vol. 19, issue 2, pp. 407–433. DOI: 10.1007/s11948-011-9343-6.
19. P. Robinette, A. Howard, A. R. Wagner. Conceptualizing overtrust in robots: why do people trust a robot that previously failed? In: W. F. Lawless, R. Mittu, D. Sofge, S. Russell (eds). *Autonomy and artificial intelligence: a threat or savior?* Cham, Springer, 2017, pp. 129–155. DOI: 10.1007/978-3-319-59719-5_6.
20. V. Efanov, M. Martynov, K. Pichkhadze. Space robots for scientific research. *Nauka v Rossii / Science in Russia*, 2012, no. 1, pp. 4–11 (in Russian).
21. L. Royakkers, R. van Est. A literature review on new robotics: automation from love to war. *International Journal of Social Robotics*, 2015, vol. 7, issue 5, pp. 549–570. DOI: 10.1007/s12369-015-0295-x.
22. S. Honig, T. Oron-Gilad. Understanding and resolving failures in human-robot interaction: literature review and model development. *Frontiers in Psychology*, 2018, vol. 9. DOI: 10.3389/fpsyg.2018.00861.
23. Automatic system with self-targeting of fire extinguishing agents onto the fire source. *Pozharnoye delo / Fire Business*, 1970, no. 2, p. 257 (in Russian).
24. A. I. Veselov, M. G. Abdeev, P. G. Balagin. *A device for targeting of a fire extinguishing stream onto the fire source*. Inventor’s Certificate USSR, no. 257300, publ. date 11 November 1969, Bull. 35 (in Russian).
25. L. M. Meshman. *A device for targeting of a fire extinguishing stream onto the fire source*. Inventor’s Certificate USSR, no. 370950, publ. date 22 November 1973, Bull. 12 (in Russian).
26. A. I. Veselov, L. M. Meshman. *Avtomaticheskaya pozharo- i vzryvoshchita predpriyatii khimicheskoy i neftekhimicheskoy promyshlennosti* [Automatic fire and explosion safety of the chemical and petrochemical plants]. Moscow, Khimiya Publ., 1975. 280 p. (in Russian).
27. A. I. Weselow, L. M. Meschman. *Automatischer brand- und explosionschutz*. Berlin, Staatsverlag DDR, 1979. 200 sec. (in Germany).
28. N. L. Popov, Yu. I. Gorban. Fire robots. *Pozharnoye delo / Fire Business*, 1986, no. 7, pp. 20–21 (in Russian).
29. L. M. Meshman, S. N. Vereshchagin. *Sovremennaya pozharnaya robototekhnika: obzornaya informatsiya* [Modern fire robotics: Overview]. Moscow, Main Information Center of the Ministry of Internal Affairs USSR Publ., 1988. 42 p. (in Russian).
30. L. M. Meshman, V. V. Pivovarov, A. V. Gomozov, S. N. Vereshchagin. *Pozharnaya robototekhnika. Sostoyaniye i perspektivy ispolzovaniya: obzornaya informatsiya* [Fire robotics. State and prospects of use: Overview]. Moscow, VNIPO Publ., 1992. 82 p. (in Russian).

31. L. M. Meshman, S. N. Vereshchagin, S. M. Shirokov, V. I. Aldonyasov. Ballistics of scanning streams. In: *Pozharnaya tekhnika i tusheniye pozharov* [Fire equipment and fire extinguishing]. Moscow, VNIPO Publ., 1990, pp. 61–66 (in Russian).
32. *Fire Safety Standards 84–2000. Water and foam fire extinguishing installations robotics. General technical requirements. Test methods* (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200016071> (Accessed 10 January 2019).
33. *Technical regulations for fire safety requirements*. Federal Law on 22.07.2008 No. 123 (ed. on 29.07.2017) (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (Accessed 25 December 2018).
34. FM 142.1. *Approval Standard for Fire Protection Monitor Assemblies*. FM Approvals LLC, 2018. 28 p.
35. G. Jensen. *Fire fighting systems: Comparison of performances of interior and exterior applications at large wood buildings. KA PROJECT. Test report A075349. Final*. Trondheim, COWI AS, 2018. 26 p. (in Norwegian).
36. Yu. I. Gorban. *An automated fire-fighting complex integrating a television system*. European patent 2599525B, publ. date 30 December 2015, Bull. 53.
37. Yu. I. Gorban. Fire robots. *Industrial Fire Journal*, 2016, no. 103, pp. 12–13.
38. Yu. I. Gorban. *Robotized fire complex on basis of mini-fire robot-irrigators with remote access system*. Patent RU, no. 2677622, publ. date 17 January 2019, Bull. 2 (in Russian).
39. Yu. I. Gorban. *Pozharnyye roboty i stvolnaya tekhnika v pozharной avtomatike i pozharной okhrane* [Firefighting robots, fire monitors and handline nozzles in fire automatics and fire protection]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2013. 352 p. (in Russian).
40. *Set of rules 5.13130.2009. Systems of fire protection. Automatic fire-extinguishing and alarm systems. Designing and regulations rules* (in Russian). Available at: <http://base.garant.ru/195658/> (Accessed 15 December 2018).
41. *VNPB 39–16 (STO 1682.0017–2015). Robotic fire suppression system. Design rules and regulations*. Moscow, VNIPO Publ., 2016. 84 p. (in Russian).

Поступила 12.01.2019, после доработки 20.02.2019;
принята к публикации 22.02.2019

Received 12 January 2019; Received in revised form 20 February 2019;
Accepted 22 February 2019

Информация об авторах

МЕШМАН Леонид Мунеевич, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России, г. Балашиха Московской обл., Российская Федерация

БЫЛИНКИН Владимир Александрович, канд. техн. наук, начальник сектора, Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России, г. Балашиха Московской обл., Российская Федерация; ORCID: 0000-0002-4034-2510; Author ID: 6506544327; e-mail: fire404@mail.ru

ГОРБАНЬ Юрий Иванович, генеральный директор, ООО “Инженерный центр пожарной робототехники “ЭФЭР”, Республика Карелия, г. Петрозаводск, Российская Федерация; ORCID: 0000-0002-4452-6798; e-mail: frgroup@firerobots.ru

ГОРБАНЬ Михаил Юрьевич, технический директор – ГИП, ООО “Инженерный центр пожарной робототехники “ЭФЭР”, Республика Карелия, г. Петрозаводск, Российская Федерация; ORCID: 0000-0001-9191-426X; e-mail: kristinaz@firerobots.ru

ФОКИЧЕВА Кристина Юрьевна, ведущий инженер-проектировщик, ООО “Инженерный центр пожарной робототехники “ЭФЭР”, Республика Карелия, г. Петрозаводск, Российская Федерация; ORCID: 0000-0003-2850-7324; e-mail: kristinaz@firerobots.ru

Information about the authors

Leonid M. MESHMAN, Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher, Leading Researcher, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia, Balashikha, Moscow Region, Russian Federation

Vladimir A. BYLINKIN, Cand. Sci. (Eng.), Head of Department, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia, Balashikha, Moscow Region, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-4034-2510; Author ID: 6506544327; e-mail: fire404@mail.ru

Yuriy I. GORBAN, General Director, Engineering Centre of Fire Robots Technology “FR” LLC, Petrozavodsk, Republic of Karelia, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-4452-6798; e-mail: frgroup@firerobots.ru

Mikhail Yu. GORBAN, Technical Director – Chief Project Engineer, Engineering Centre of Fire Robots Technology “FR” LLC, Petrozavodsk, Republic of Karelia, Russian Federation; ORCID: 0000-0001-9191-426X; e-mail: kristinaz@firerobots.ru

Kristina Yu. FOKICHEVA, Lead Design Engineer, Engineering Centre of Fire Robots Technology “FR” LLC, Petrozavodsk, Republic of Karelia, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-2850-7324; e-mail: kristinaz@firerobots.ru

УДК 614.8/621.3

Маркировка кабельных линий и электрических щитов

© А. С. Харламенков ✉

Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4)

АННОТАЦИЯ

Рассмотрены требования нормативных документов к маркировке проводников, кабельных линий и электрических щитов. Выполнен анализ и обобщение документов, обязывающих наносить цветковые и цифровые обозначения на проводники, аппараты защиты и электрические щиты. Указаны особенности применения различной окраски изоляции проводников в целях обеспечения пожарной и электробезопасности. Представлены примеры маркировочных бирок для кабельных линий. Отмечены способы и места нанесения информационных надписей на вводно-распределительных устройствах и распределительных щитках.

Ключевые слова: маркировочная бирка; электрическая сеть; проводник; электробезопасность; пожарная безопасность; техническое обслуживание.

Для цитирования: Харламенков А. С. Маркировка кабельных линий и электрических щитов // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2019. — Т. 28, № 5. — С. 82–84.

✉ Харламенков Александр Сергеевич, e-mail: h_a_s@live.ru

Labeling of cable lines and electric panels

© Aleksandr S. Kharlamenkov ✉

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

ABSTRACT

The requirements of regulatory documents for the labeling of conductors, cable lines and electrical panels are considered. Analysis and synthesis of documents obligating the implementation of color and digital designations of conductors, protection devices and electrical panels is made. The features of the application of various colors of insulation of conductors for the purpose of providing fire and electrical safety are indicated. The examples of labels for marking of cable lines are presented. The methods and places for drawing information inscriptions in the input switching devices and switchboards are noted.

Keywords: marking labels; electrical network; cable line; electrical safety; fire safety; maintenance.

For citation: A. S. Kharlamenkov. Labeling of cable lines and electric panels. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2019, vol. 28, no. 5, pp. 82–84 (in Russian).

✉ Aleksandr Sergeevich Kharlamenkov, e-mail: h_a_s@live.ru



ВОПРОС:

Ежегодная статистика пожаров в Российской Федерации показывает, что значительная часть их (более 30 %) происходит из-за нарушений при монтаже и эксплуатации электрооборудования. Из них около 60 % приходится на провода и кабели. В первую очередь это связано с некачественным монтажом электропроводок в зданиях, который зачастую выполняется неквалифицированными работниками. Значительную пожарную опасность в местах соединений проводников создают высокие переходные сопротивления, ведущие к перегреву изоляции проводов и ее воспламенению. Они возникают из-за перегрузок в электрических сетях, вызванных подключением слишком большого числа мощных электроприемников.

В процессе прокладки проводов неквалифицированные специалисты зачастую нарушают правила безопасного соединения проводов из-за отсутствия необходимого рабочего инструмента: используют скрутки вместо опрессовки, пайки и применения клеммников; не учитывают цветовую маркировку

изоляции проводников при соединении их в электрощитовых и распределительных (распаячных) коробках.

Недостаточно внимания уделяется маркировке прокладываемых кабельных линий, составу и комплектации электрощитов. В электрощитах отсутствуют поясняющие надписи об установленных внутри аппаратах защиты и подключаемых линиях групповых цепей. На вводах (выводах) щитов электромонтажники не указывают требуемые нормами данные о прокладываемых кабелях. Отмеченные нарушения ведут к повышению пожарной опасности зданий и снижению электробезопасности, особенно в период проведения ремонтных работ, связанных с заменой старой и прокладкой новой электропроводки. В связи с этим необходимо знать основные правила маркировки проводников, щитов и подвешиваемых к ним кабельных линий для устранения разночтений среди электромонтажников.

Какие нормативные требования предъявляются к маркировке изоляции проводников, кабельных линий и электрических щитов, исключаящие в даль-

нейшем пожароопасные случаи и нарушения в работе сетей по причине неправильного подключения проводников к аппаратам защиты и между собой в процессе их замены или переподключения?

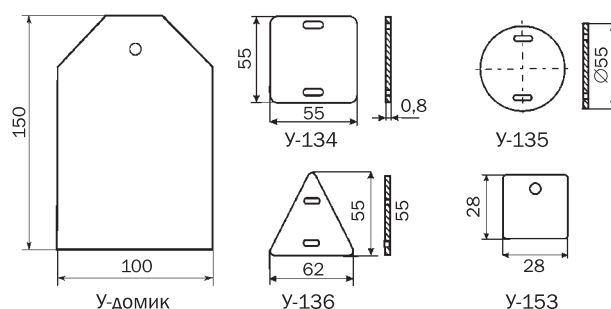
ОТВЕТ:

Цветовая маркировка изоляции проводников имеет первостепенное значение для правильного подключения к электрической сети как конечных потребителей, так и распределительных устройств. Большинству электротехнического персонала известны основные различия цветовой маркировки изоляции фазных, нулевых и заземляющих проводников, конкретные требования к которой указаны в п. 1.1.29 Правил устройства электроустановок (ПУЭ, 7-е изд.) [1]. В соответствии с этим пунктом все проводники должны иметь цветовые и цифровые (буквенные) обозначения. Во всех электроустановках на проводниках защитного заземления должно быть буквенное обозначение РЕ (англ. *Protective Earth*), которое с английского языка дословно переводится как “защитная земля”. Данный проводник присоединяется к проводящим корпусам электрооборудования, которое по условиям пожарной и электробезопасности должно быть заземлено. По ПУЭ [1] проводник РЕ должен иметь цветовое обозначение в виде чередующихся продольных или поперечных полос желтого и зеленого цветов одинаковой ширины. Нулевые рабочие проводники, используемые для непосредственного подключения к электроустановке, должны иметь буквенное обозначение N (англ. *Neutral*, дословный перевод — “нейтральный”). В ПУЭ [1] предъявляются требования к маркировке только фазных шин. Для нее используются буквы латинского алфавита A, B, C. При переменном трехфазном токе шина A должна иметь желтый цвет, шина B — зеленый, шина C — красный. Для цепей однофазного тока шина B, подключаемая к концу источника питания, должна иметь красный цвет, а шина A, присоединенная к началу источника, — голубой. Для цепей постоянного тока положительная шина должна иметь красный цвет, отрицательная — синий, а нулевая рабочая M (средняя точка электрической системы) — голубой.

Фазные проводники по ГОСТ Р 50462 [2] относятся к “линейным” и должны иметь обозначения фаз L1, L2, L3 в трехфазных сетях переменного тока и “L+”, “L–” — в сетях постоянного тока. К предпочтительным цветам для маркировки линейных проводников относятся: черный, коричневый и серый — для переменного тока; коричневый (+), серый (–) — для постоянного тока. В случае применения объединенного проводника PEN его следует выполнять желто-зеленым цветом с нанесением на концах меток синего (голубого) цвета или по всей длине синим цветом с желто-зелеными концами (см. разд. 5 [2]). Соединительные устройства, клеммные коробки, вилки и розетки искробезопасного и связанного оборудования, применяемого во взрывоопасных средах, должны быть голубого цвета в соответствии с п. 12.2 ГОСТ 31610.11 [3].

Кабельные линии должны иметь свой номер и наименование [1]. Если линия состоит из отдельно проложенных кабелей, то на каждый из них должен быть нанесен номер линии с добавлением букв А, Б, В и т. д. Открыто проложенные кабели и кабельные муфты должны иметь бирки, выполняемые обычно из гибкого поливинилхлорида (ПВХ) различной формы. На бирках кабелей и концевых муфт должны быть указаны: марка кабеля, сечение жил, приложенное напряжение, номер или название линии; на бирках соединительных муфт — номера муфт и даты их монтажа (см. п. 2.3.23 ПУЭ [1] и п. 2.4.5 ПТЭЭП [4]). В кабельных сооружениях (тоннели, коллекторы, шахты, эстакады, каналы, коробка и т. п.) бирки должны располагаться через каждые 50–70 м по длине кабельных линий, а также в местах изменения направления трассы, с обеих сторон проходов через междуэтажные перекрытия, стены и перегородки, в местах ввода (вывода) кабеля в траншеи и кабельные сооружения (см. п. 6.4.8 СП 76.13330 [5]).

Кабели различного назначения снабжаются разными видами бирок. Для кабелей напряжением до 1000 В бирки должны быть квадратные (У-134, У-153), напряжением свыше 1000 В — круглые (У-135), а для контрольных кабелей — треугольные (У-136) [5]. На практике для маркировки вводных силовых кабелей также используются бирки в форме домика (У-домик), так как на них можно нанести большой объем информации. Типовые размеры бирок представлены на рисунке.



Виды маркировочных бирок кабельных линий

Нанесение надписей на бирки рекомендуется выполнять на специальном кабельном принтере [5], что не всегда возможно, поэтому электромонтажники обычно используют для этого перманентный маркер.

Согласно п. 6.3.8.15 СП 76.13330 [5] на ПВХ-бирке каждого кабеля должны быть указаны **с лицевой стороны:**

- номер кабеля;
- номер шкафа начала кабеля;
- номер шкафа конца кабеля;

с обратной стороны:

- тип кабеля;
- число жил кабеля;
- сечение жил кабеля;
- длина кабеля.

Размер шрифта номера кабеля должен быть на два размера больше шрифта других надписей.

Требования к маркировке проводников, аппаратов, шин, зажимов вводно-распределительных устройств (ВРУ) и распределительных щитков (ЩР) жилых и общественных зданий представлены в ГОСТ 32395–2013 [6], ГОСТ 32396–2013 [7] и ГОСТ 32397–2013 [8]. В стандартах [6, 7] отмечается, что вышеперечисленные элементы, входящие в состав ВРУ и ЩР, должны иметь порядковые номера в соответствии с принципиальной электрической схемой и кабельным журналом. Цифровая маркировка должна быть легко читаемой и выполняться краской, стойкой к истиранию и контрастирующей с цветом поверхности аппаратов, шин и изоляции проводников. Для обозначения порядковых номеров могут применяться средства, поставляемые изготовителями оболочек щитков (самоклеящиеся номера, наборные цифры-маркеры, бланки таблиц и т. п.). Для аппаратов защиты требуется указывать их назначение (какую линию или какой потребитель он защищает). Эту информацию обычно отмечают в специальной таблице, расположенной на внутренней стороне дверцы щитка или непосредственно под самим аппаратом.

С наружной стороны дверей ВРУ и ЩР должна присутствовать паспортная табличка, в которой указываются следующие данные: наименование изготовителя или его товарный знак; знак соответствия стандартам; обозначение типа; номинальное напряжение; номинальный ток ВРУ или вводных автоматов ЩР; степень защиты; знак “0” для ВРУ или  — для ЩР класса II; масса ВРУ или панели; обозначение технических условий; год изготовления; другие технические данные по усмотрению изготовителя.

Выполнение рассмотренных требований по маркировке проводников, кабельных линий, ВРУ и ЩР способствует повышению пожарной и электробезопасности

и сокращению времени на проведение их технического обслуживания и ремонта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). — 7-е изд. — М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2002.
2. ГОСТ Р 50462–2009 (МЭК 60446:2007). Базовые принципы и принципы безопасности для интерфейса “человек-машина”, выполнение и идентификация. Идентификация проводников посредством цветов и буквенно-цифровых обозначений (в ред. от 01.12.2018). — Введ. 01.01.2011. — М.: Стандартинформ, 2011.
3. ГОСТ 31610.11–2014 (IEC 60079-11:2011). Взрывоопасные среды. Часть 11. Оборудование с видом взрывозащиты “искробезопасная электрическая цепь “i” (в ред. от 01.02.2019). — Введ. 01.12.2016. — М.: Стандартинформ, 2016.
4. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭЭП): утв. приказом Минэнерго РФ от 13.01.2003 № 6; введ. 01.07.2003 // Российская газета. — 2003. — № 139.
5. СП 76.13330.2016. Электротехнические устройства. Актуализированная редакция СНиП 3.05.06–85. — Введ. 17.06.2017. — М.: Стандартинформ, 2017.
6. ГОСТ 32395–2013. Щитки распределительные для жилых зданий. Общие технические условия. — Введ. 01.01.2015. — М.: Стандартинформ, 2014.
7. ГОСТ 32396–2013. Устройства вводно-распределительные для жилых и общественных зданий. Общие технические условия. — Введ. 01.10.2016. — М.: Стандартинформ, 2016.
8. ГОСТ 32397–2013. Щитки распределительные для производственных и общественных зданий. Общие технические условия. — Введ. 01.01.2015. — М.: Стандартинформ, 2014.

Материал поступил в редакцию 09.09.2019

Received 9 September 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



Перед динамическими испытаниями



Перед статическими испытаниями



РЕКЛАМА

После статических испытаний. Общий вид

ИСПЫТАНИЕ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ОТ ПАДЕНИЯ С ВЫСОТЫ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

**СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

Контакты:

Тел.: 8 (495) 109-05-58

e-mail: ikbs@mgsu.ru,

mail@ikbs-mgsu.com

www.ikbs-mgsu.com

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ!

Направляемые в журнал “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 неперебиваемых названий собственных имен, приборов и других объектов, имеющих собственные названия, а также неперебиваемый 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.dissercat.com>.

Не следует включать в список литературы ГОСТы; ссылки на них должны быть даны непосредственно по тексту статьи.

Убедитесь, что указанная в списке литературы информация (Ф.И.О. автора, название книги или журнала, год издания, том, номер и количество (интервал) страниц) верна.

Неопубликованные результаты, проекты документов, личные сообщения и т. п. не следует указывать в списке литературы, но они могут быть упомянуты в тексте.

2.8. 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!

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)

БЕЗОПАСНОСТЬ КРЫМ 2019

V ВЫСТАВКА
КОМПЛЕКСНОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ

14-16 НОЯБРЯ



РЕКЛАМА

📍 Место проведения: Ялта. Отель «Ялта-Интурист»

🌐 exprocrimea.com ☎ + 7 (978) 900 90 90



ЭКСПОКРЫМ
группа компаний



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 лабораторией
Аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.21AM09 от 24.06.2014 г.
РМРС № 16.00385.120 от 28.12.2016 г.