

2-2019

FIRE and EXPLOSION
SAFETY

ПОЖАРОВЗРЫВО-

БЕЗОПАСНОСТЬ



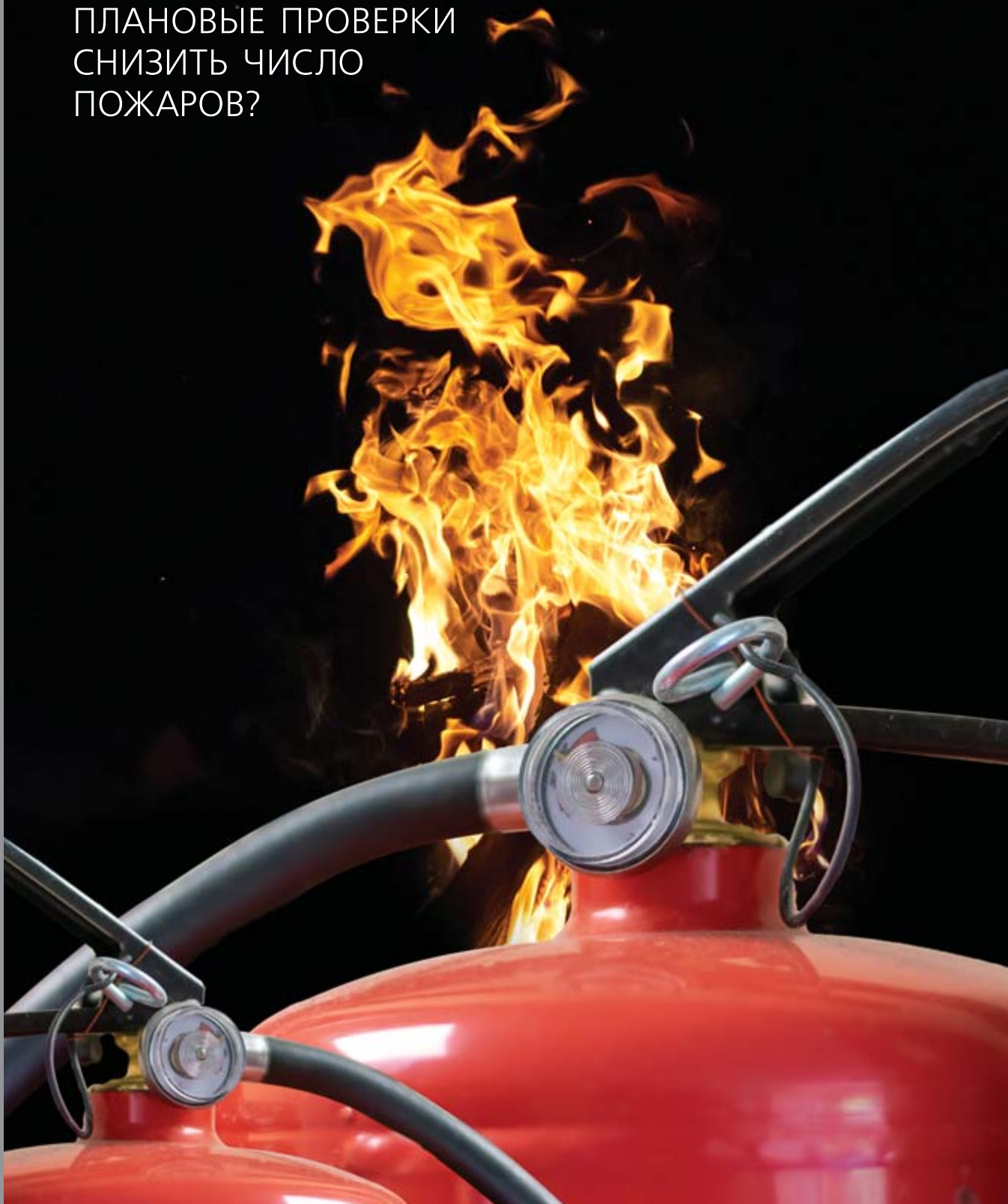
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

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

ПОМОГАЮТ ЛИ
ПЛАНОВЫЕ ПРОВЕРКИ
СНИЗИТЬ ЧИСЛО
ПОЖАРОВ?

КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

пожарная • промышленная • производственная • экологическая



ISSE

INTEGRATED SAFETY & SECURITY EXHIBITION

международный салон

КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ 2019

Москва, ВДНХ
Павильон №75

Ногинский спасательный
центр МЧС России

5-7 июня

8 июня



Гражданская
оборона



Авиационно-спасательные
технологии



Средства
защиты



Пожарная
безопасность



Аварийно-спасательное
оборудование



Технологии
мониторинга



Безопасность
на водных объектах



Информационные
технологии



Робототехнические
комплексы

Организатор



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

Организатор



Министерство внутренних дел
Российской Федерации

РЕКЛАМА

WWW.ISSE-RUSSIA.RU

№2 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 6.

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 15.04.2019.

Выход в свет 25.04.2019.

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, Ньютаунбиди, 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)

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)

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

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

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

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

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

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

IX Международная конференция
“Полимерные материалы пониженной горючести”,
20–24 мая 2019 г., г. Минск, Республика Беларусь

5

БЕЗОПАСНОСТЬ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

А. Н. ГАРАЩЕНКО, А. А. БЕРЛИН, А. А. КУЛЬКОВ
Способы и средства обеспечения требуемых
показателей пожаробезопасности конструкций
из полимерных композитов (обзор)

9

Г. В. ПЛОТНИКОВА, К. Л. КУЗНЕЦОВ,
С. Ф. МАЛЫШЕВА
Особенности исследования полиуретана
при поджогах

31

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

Е. В. ГВОЗДЕВ, С. Ю. БУТУЗОВ,
Т. Г. СУЛИМА, С. Б. АРИФДЖАНОВ
Формализованная модель оценки надежности
функционирования тепловых электрических станций

47

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

А. А. СЕМИН
Натурная проверка противопожарной подготовки
сотрудников объекта

57

М. В. ГРАВИТ, И. Н. КАРЬКИН,
И. И. ДМИТРИЕВ, К. А. КУЗЕНКОВ
Моделирование процесса эвакуации из высотных
зданий и сооружений с использованием
пассажирских лифтов

66

СТАТИСТИКА И СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

В. Е. КУДРЯВЦЕВ, Р. К. КУЧАКОВ
Помогают ли плановые проверки снизить
число пожаров?

81

ВОПРОС – ОТВЕТ

А. С. ХАРЛАМЕНКОВ
Электропроводка из алюминиевых сплавов
в жилых и общественных зданиях

90

Л. М. МЕШМАН
Влияние проектного значения интенсивности
орошения диктующего оросителя на гидравлические
параметры распределительной сети АУП

93

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

CONTENTS

NEWS, CONFERENCES, EXHIBITIONS

IX International Conference
“Polymer materials of lowered burning quality”,
20–24 May 2019, Minsk, Republic of Belarus

SAFETY OF SUBSTANCES AND MATERIALS

A. N. GARASHCHENKO, A. A. BERLIN, A. A. KULKOV
Methods and means for providing required
fire-safety indices of polymer composite structures
(review)

G. V. PLOTNIKOVA, K. L. KUZNETSOV,
S. F. MALYSHEVA
Features of the polyurethane study as a result
of arson attacks

MATHEMATICAL MODELING, NUMERICAL METHODS AND PROGRAM COMPLEXES

E. V. GVOZDEV, S. YU. BUTUZOV,
T. G. SULIMA, S. B. ARIFJANOV
Formal model of evaluating the reliability
of thermal power plants

LIFE SAFETY

A. A. SEMIN
Full-scale verification of site personnel's
fire safety training

M. V. GRAVIT, I. N. KARKIN,
I. I. DMITRIEV, K. A. KUZENKOV
Simulation of evacuation process in high-rise
buildings and structures with using passenger
elevators

STATISTICS AND SYSTEM ANALYSIS

V. E. KUDRYAVTSEV, R. K. KUCHAKOV
Do scheduled inspections help
preventing fires?

QUESTION – ANSWER

A. S. KHARLAMENKOV
Electrical wiring from aluminum alloys
in residential and public buildings

L. M. MESHMAN
Effect of irrigation intensity design value dictating
the sprinkler on the hydraulic parameters
of the distribution network AFES

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.



Пожаробезопасность конструкций из полимерных композитов

Стр. 9



Особенности исследования полиуретана при поджогах

Стр. 31



Формализованная модель оценки надежности ТЭС

Стр. 47



Эвакуации из высотных зданий с использованием лифтов

Стр. 66



Помогают ли плановые проверки снизить число пожаров?

Стр. 81



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 6,
Moscow, 121352, Russia.

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

E-mail: info@fire-smi

https://www.fire-smi.ru

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

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

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

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

Signed for printing 15.04.2019.

Date of publication 25.04.2019.

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)

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)

Российская академия наук
 Национальная академия наук Республики Беларусь
 Министерство науки и высшего образования
 Российской Федерации
 Министерство образования Республики Беларусь
 Министерство Российской Федерации по делам
 гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям
 и ликвидации последствий стихийных бедствий
 Министерство по чрезвычайным ситуациям
 Республики Беларусь
 Университет гражданской защиты
 МЧС Республики Беларусь
 Институт химической физики
 им. Н. Н. Семенова РАН
 Академия Государственной противопожарной
 службы МЧС России
 Всероссийский научно-исследовательский
 институт противопожарной обороны МЧС России
 Научно-исследовательский институт пожарной
 безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций
 МЧС Республики Беларусь
 Кокшетауский технический институт КЧС
 МВД Республики Казахстан
 Волгоградский государственный технический
 университет
 Научно-исследовательский институт
 физико-химических проблем Белорусского
 государственного университета
 Научно-исследовательский институт проблем
 горения Республики Казахстан
 Молодежная палата при Парламентском Собрании
 Союза Беларуси и России



IX Международная конференция



2019

ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПОНИЖЕННОЙ ГОРЮЧЕСТИ

**Место проведения
конференции:**

Университет гражданской
защиты МЧС Республики
Беларусь.
Адрес: Республика Беларусь,
220118, г. Минск, ул. Машино-
строителей 25.

Дата проведения: 20–24 мая 2019 г.

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

Председатель:

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

Сопредседатель:

Полева И. И. Начальник Университета
гражданской защиты МЧС
Беларуси, к. т. н., доцент

Сопредседатель:

Супруновский А. М. Начальник Академии ГПС
МЧС России, к. т. н.

Заместители председателя:

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

Мансуров З. А. Генеральный директор
Института проблем горе-
ния, академик МАН ВШ,
д. х. н., профессор

Камлюк А. Н. Заместитель начальника
Университета граждан-
ской защиты МЧС Бела-
руси по научной и инно-
вационной деятельности,
к. ф.-м. н., доцент

Шарипханов С. Д. Начальник КТИ КЧС
МВД Республики Казах-
стан, д. т. н.

Организационный комитет:

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

Аскадский А. А. Профессор, ИНЭОС РАН,
д. х. н., профессор

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

Варфоломеев С. Д. Научный руководитель
ИБХФ РАН, чл.-кор. РАН
Д. т. н., доцент, ЦНИИСМ,
г. Хотьково

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

Гончаренко И. А. Профессор УГЗ Респуб-
лики Беларусь, д. ф.-м. н.

Кадыкова Ю. А. Профессор, ЭТИ СГТУ
им. Гагарина Ю. А.,
Саратовский ГТУ, д. т. н.,
доцент

Касперович О. М. Белорусский госу-
дарственный технологический
университет, к. т. н.

Ксандопуло Г. И.	Почетный директор института проблем горения, академик РАН, д. х. н., профессор
Корольченко А. Я.	Профессор, МГСУ, д. т. н., профессор
Константинова Н. И.	Профессор, ВНИИПО МЧС России, д. т. н., профессор
Лешенюк Н. С.	Профессор УГЗ Респуб- лики Беларусь, д. ф.-м. н.
Новаков И. А.	Академик РАН, Президент Волгоградского ГТУ
Панова Л. Г.	Профессор, Саратовский ГТУ, д. т. н., профессор
Песецкий С. С.	Институт механики ме- таллополимерных систем им. В. А. Белого Респуб- лики Беларусь, д. т. н., профессор
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 РК, к. ф.-м. н.
Серков Б. Б.	Профессор, Академия ГПС МЧС России, д. т. н., профессор
Тужиков О. И.	Профессор, Волгоградский ГТУ, д. х. н., профессор
Шутов Ф. А.	Профессор, РХТУ им. Д. И. Менделеева, д. т. н., профессор

Ученые секретари:

Анохин Е. А.	Академия ГПС МЧС России, к. т. н.
Лукьянов А. С.	Университет гражданской защиты МЧС Беларуси

Программный комитет:**Сопредседатель:**

Рева О. В.	Доцент кафедры ПГиВ УГЗ Республики Беларусь, к. х. н., доцент
------------	---

Сопредседатель:

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

Члены программного комитета:

Альменбаев М. М.	Начальник кафедры КТИ КЧС Республики Казах- стан, к. т. н.
------------------	--

Кобелев А. А.	Академия ГПС МЧС России, к. т. н.
Макишев Ж. К.	КТИ КЧС Республики Казахстан, к. т. н.
Полищук Е. Ю.	Академия ГПС МЧС России, к. т. н.
Тихонов М. М.	УГЗ Республики Бела- русь, к. т. н.
Тужиков О. О.	Заведующий кафедрой, Волгоградский ГТУ, д. т. н., доцент

Секретари:

Криваль Д. В.	УГЗ Республики Беларусь
Назарович А. Н.	УГЗ Республики Беларусь

**Основные направления
научной конференции:**

- Термоокислительная деструкция и пиролиз полимеров;
- Теория горения полимерных материалов;
- Механизм действия и синтез новых высокоэффективных ингибиторов горения полимеров;
- Разработка новых полимерных материалов и композиций пониженной горючести;
- Экологическая и противопожарная безопасность материалов и конструкций;
- Техника и методы оценки пожарной безопасности полимерных материалов;
- Методы и средства обеспечения требуемой пожарной безопасности конструкций из полимерных материалов;
- Анализ чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера;
- Нормативно-техническое обеспечение пожаро-безопасного применения материалов и конструкций в строительстве.

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

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

Ключевые даты

16 июля 2018 г.	Рассылка первого циркуляра
3 сентября 2018 г.	Начало регистрации участников на сайте УГЗ Республики Беларусь http://pmpg.tech
8 февраля 2019 г.	Рассылка второго циркуляра
15 апреля 2019 г.	Окончание регистрации участников на сайте http://pmpg.tech
15 апреля 2019 г.	Окончание приема тезисов докладов и копии платежного поручения
20–24 мая 2019 г.	Работа конференции

Правила оформления материалов

- Материалы представляются по электронной почте;
- Текст должен быть набран в редакторе Word for Windows (версия 6.0, русская редакция) шрифтом "Times New Roman Cyr" с высотой шрифта 14, межстрочный интервал 1,5;
- Поля страницы: слева — 2,5 см, справа — 1,5 см, сверху и снизу — 2 см;
- Формулы набираются в MS Equation 2.0;
- Рисунки и схемы в тексте должны быть сгруппированы;
- Объем тезисов до трех страниц.

Порядок печати

Название статьи 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 привести 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.

Оргвзнос за очное участие в конференции и публикацию тезисов одного доклада объемом до 3 стр. составляет 6000 российских руб. Для студентов и аспирантов — 1500 российских руб. Для заочного участия с размещением материалов конференции в сборнике — 1500 российских рублей. За каждую дополнительную страницу (каждую страницу 2-го, 3-го и последующих тезисов доклада направленных от имени автора прошедшего регистрации) — 100 российских руб.

Банковские реквизиты

Автономная некоммерческая организация "Научно-исследовательский центр" Международный институт безопасности" (АНО НИЦ "Международный институт безопасности").

Адрес: 117218, г. Москва, ул. Большая Черемуш-кинская, д. 20, корпус 4, пом. II, ком. 2.

ИНН 7727280843

КПП 772701001

Расчетный счет 40703810702160000006

в АО "АЛЬФА-БАНК" г. Москва

Корреспондентский счет 30101810200000000593

БИК 044525593

ОГРН 1167700050495

ОКПО 52786375

ОКТМО 45397000

ОКВЭД 74. 30

ОКВЭД-2 71. 20

С пометкой "За участие в работе конференции ПМПГ-2019".



Адрес проведения конференции:

220118, Республика Беларусь, г. Минск, ул. Машиностроителей 25. Университет гражданской защиты МЧС Беларуси.

Проживание участников конференции будет организовано в гостиницах г. Минска (стоимость от 2800–3500 российских руб. в одно- и двухместных номерах).

Справки по телефонам:

В Москве

+7-916-809-20-21 Анохин
Евгений Анатольевич

В Беларуси

+375-44-579-75-46 Криваль
Денис Викторович
+375-29-574-23-15 Назарович
Андрей Николаевич
+375-29-131-48-52 Лукьянов
Александр Сергеевич

Предварительная программа конференции

20 мая — заезд участников, регистрация.

21 мая — официальное открытие конференции, пленарное заседание, выставка, экскурсия по университету, культурная программа.

22 мая — продолжение работы секций, стендовые доклады, экскурсия по г. Минск с посещением музея Великой Отечественной войны.

23 мая — продолжение работы секций, экскурсионная программа с посещением Филиала "Институт переподготовки и повышения квалификации" УГЗ МЧС Беларуси.

24 мая — подведение итогов, заявленных оргкомитетом конкурса за лучший доклад молодыми учеными и специалистами, награждение дипломами и сертификатами, официальное закрытие конференции. Культурная программа с посещением замкового комплекса "Мир". Отъезд.



15 — 17 мая

ФОРУМ

**ПО БЕЗОПАСНОСТИ
И ОХРАНЕ ТРУДА**

ВХОД СВОБОДНЫЙ

РЕКЛАМА

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ:



МИНИСТЕРСТВА ТРУДА, ЗАНЯТОСТИ
И МИГРАЦИОННОЙ ПОЛИТИКИ
САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ



ГЛАВНОГО УПРАВЛЕНИЯ
МЧС РОССИИ
ПО САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ



УПРАВЛЕНИЯ ФЕДЕРАЛЬНОЙ СЛУЖБЫ
ВОЙСК НАЦИОНАЛЬНОЙ ГВАРДИИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ



ЭКСПО-ВОЛГА
организатор выставок с 1986 г.

Самара, ул. Мичурина, 23а
тел.: (846) 207-11-45
www.expo-volga.ru

<https://doi.org/10.18322/PVB.2019.28.02.9-30>

УДК 69:614.84:691-419

Способы и средства обеспечения требуемых показателей пожаробезопасности конструкций из полимерных композитов (обзор)

© А. Н. Гаращенко^{1(✉)}, А. А. Берлин², А. А. Кульков¹

¹ АО "ЦНИИ специального машиностроения" (Россия, 141371, Московская обл., г. Хотьково, ул. Заводская)

² Институт химической физики РАН (Россия, 119991, г. Москва, ул. Косыгина, 4)

РЕЗЮМЕ

Введение. Рассмотрены публикации, отражающие особенности создания конструкций из полимерных композиционных материалов (ПКМ) с точки зрения обеспечения требуемого уровня их пожаробезопасности. Отмечено, что работам по обеспечению требуемого уровня огнестойкости конструкций из ПКМ уделяется недостаточно внимания, что препятствует их применению в различных сферах, и в особенности в строительстве.

Аналитическая часть. Проведен анализ публикаций по исследованиям показателей огнезащитной эффективности вспучивающихся огнезащитных покрытий (ОЗП) как одного из видов полимеров и средств огнезащиты конструкций из ПКМ. Отмечается необходимость решения непростой задачи по обеспечению требуемой адгезии между ОЗП и ПКМ, а также по обеспечению стойкости конструкций и долговечности покрытий в процессе эксплуатации. Представлены результаты, свидетельствующие о возможности существенного улучшения показателей пожарной опасности ПКМ при относительно малой толщине покрытия.

Анализ публикаций показал важную роль и возможности теплотехнических расчетов для моделирования температурных полей в конструкциях и определения необходимых толщин вспучивающихся ОЗП и других средств огнезащиты. Эта роль обусловлена, в частности, тем, что для конструкций из ПКМ такие испытания практически не проводятся. Показано, что существует методика, которая уже в настоящее время успешно используется для расчетов прогрева конструкций из композитов и может рассматриваться в качестве основы для дальнейшего совершенствования. Как видно из представленных результатов, несущие композитные конструкции необходимо конструировать оптимальной формы, что в сочетании с огнезащитными покрытиями позволит обеспечить их заданную огнестойкость.

Выводы. Таким образом, представлены результаты, демонстрирующие возможные пути обеспечения требуемой пожаробезопасности как ПКМ, так и создаваемых из них конструкций и изделий. Отмечены задачи по данной важной и перспективной тематике, которые требуют решения.

Ключевые слова: полимерный композиционный материал; показатели пожарной опасности; горючесть; огнестойкость; огнезащита; вспучивающиеся покрытия; теплотехнические расчеты.

Для цитирования: Гаращенко А. Н., Берлин А. А., Кульков А. А. Способы и средства обеспечения требуемых показателей пожаробезопасности конструкций из полимерных композитов (обзор) // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2019. — Т. 28, № 2. — С. 9–30. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.02.9-30.

✉ Гаращенко Анатолий Никитович, e-mail: a.n.gar@mail.ru

Methods and means for providing required fire-safety indices of polymer composite structures

© Anatoliy N. Garashchenko^{1(✉)}, Aleksandr A. Berlin², Aleksandr A. Kulkov¹

¹ Central Research Institute for Special Machinery (Zavodskaya St., Khotkovo, Moscow Region, 141371, Russian Federation)

² Semenov institute of Chemical Physics of Russian Academy of Sciences (Kosygina St., 4, Moscow, 119991, Russian Federation)

ABSTRACT

Introduction. Publications reflecting the peculiarities of creating structures made of polymer composite materials (PCM) on determining the required fire-safety level are studied. It was noted that insufficient attention to ensuring the required level of fire resistance of PCM structures, which prevents their use in various fields and, in particular, in engineering is paid.

Analytical part. The analysis of publications on research flame retardant efficiency of intumescent flame-retardant coatings (FRC) indicators as one of the polymer types and fire protection means of structures made of PCM is carried out. The necessity of solving the urgent task of ensuring the required adhesion between the FRC and PCM, as well as ensuring durability and durability of coatings during the operation period is noted. The results, indicating the possibility of a significant improvement in the PCM fire risk indicators at a relatively low coating thickness are presented.

The analysis of publications showed the important role and possibilities of heat engineering calculations for modeling temperature fields in structures and determining the required thicknesses of intumescent FRC and other fire protection equipment. This role is partly associated with the fact of impossibility of testing such PCM structures as well. It is shown that there is a technique that is currently being successfully used to calculate the heating of polymer composite structures and can be considered as a basis for further improvement. As can be seen from the presented simulation results, bearing composite structures have to be designed in an optimal shape, which, in combination with fire-retardant coatings, will ensure their fire resistance.

Conclusion. The results, demonstrating possible ways to ensure the required fire safety indicators of the PCM structures are presented. On this important and promising topic, tasks that need to be carried out are also noted.

Keywords: polymer composite materials; fire safety; fire hazard indices; fire resistance; fire protection; intumescent coating; thermotechnical calculations.

For citation: A. N. Garashchenko, A. A. Berlin, A. A. Kulkov. Methods and means for providing required fire-safety indices of polymer composite structures. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2019, vol. 28, no. 2, pp. 9–30 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2019.28.02.9-30.

✉ Anatoliy Nikitovich Garashchenko, e-mail: a.n.gar@mail.ru

Введение

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) все в большей степени заменяют металлы при производстве различных конструкций, их элементов, а также разнообразных изделий из них. Растет объем их использования при изготовлении ограждающих конструкций, основной функцией которых является обеспечение требуемого термического сопротивления и одновременно необходимых прочностных, эксплуатационных, эстетических и прочих показателей. В последнее время конструкции из ПКМ все чаще применяются в качестве несущих конструкций, эксплуатируемых при значительных силовых нагрузках. При необходимости они могут совмещать функции несущих и ограждающих конструкций. Однако широкому использованию ПКМ в различных сферах в значительной степени препятствуют их показатели пожарной опасности.

Пожарная опасность ПКМ определяется горючестью (т. е. способностью материала загораться, поддерживать и распространять процесс горения), дымовыделением, токсичностью продуктов термического разложения, а конструкций из ПКМ — огнестойкостью (т. е. способностью сохранять при воздействии огня несущие, теплоизолирующие и ограждающие функциональные свойства по отдельности или в сочетании). Однако если улучшению и получению заранее заданных показателей пожаробезопасности материалов на полимерной основе традиционно уделялось значительное внимание как за рубежом, так и в нашей стране, то исследования по оценке и обеспечению огнестойкости конструкций из полимерных композитов проводились в ограниченном объеме. Соответственно, и количество публикаций по их огнестойкости и влиянию на нее огнезащиты, в частности вспучивающихся покрытий, относительно невелико. Подобные публикации авторы постарались отметить в настоящем обзоре.

Полимерные композиты применяются в строительстве, на транспорте, при создании изделий военной техники, в авиастроении при изготовлении

панелей, сегментов корпуса фюзеляжа, элементов крыла, оперения, хвостовой части и пр. Многослойные панели в виде огнестойких и огнепроницаемых экранов предназначены для локализации возможных очагов возгорания в “пожароопасных зонах” и защиты от пламени различных конструктивных элементов летательных аппаратов, емкостей, инженерных систем и пр. Можно отметить, что наибольшее количество публикаций по вопросам обеспечения пожаробезопасности полимерных композитов и конструкций из них характерно именно для авиационной отрасли. Кроме того, композиты используются на морских судах и в железнодорожных вагонах, например, в виде многослойных ограждающих конструкций, несущих и прочих элементов.

Из ПКМ изготавливаются ответственные элементы различных образцов военной техники, такие как контейнеры, бункеры, емкости, баки, экраны для защиты личного состава и техники, амортизаторы и пр. К некоторым из них предъявляются требования по огнестойкости при задаваемых условиях огневого воздействия. Все большее количество конструкций и изделий из ПКМ используется на кораблях ВМФ (переборки, надстройки, емкости, контейнеры и т. д.). На надводных кораблях и в особенности на подводных лодках имеется большое количество резинотехнических, в частности гидроакустических, изделий и амортизаторов, что повышает вероятность возгораний и развития пожара в период их эксплуатации и особенно на стадии проведения ремонтно-восстановительных работ. Однако информация по использованию ПКМ в военной технике и результатам исследований по обеспечению требуемых показателей пожаробезопасности во многих случаях содержится в технических отчетах или изданиях, к которым нет широкого доступа. Некоторые из статей, опубликованных в таких изданиях, анализируются в настоящем обзоре.

Наибольшим потенциалом для использования полимерных композитов обладает строительная отрасль, где они применяются все в большем объеме,

и не только в виде ограждающих панелей, облицовок и т. д., но и в качестве несущих конструкций, заменяя сталь и железобетон. Современные технологии обеспечивают возможность изготовления композитных элементов различной структуры, что позволяет создавать из ПКМ колонны, балки, мачты, настилы, защитные экраны, обделки тоннелей, желоба, трубы, баллоны и пр. При их изготовлении используются различные технологии (формование, послойное нанесение, намотка, вакуумная инфузия, пултрузия, выкладка, напыление, литье и пр.). Возможности изготовления методом пултрузии композитных профилей практически любой формы продемонстрированы на рис. 1. Таким образом можно изготавливать, например, несущие колонны и балки двутаврового, коробчатого или любого другого профиля. Кроме того, можно упомянуть об использовании стеклопластиковых и базальтопластиковых армирующих элементов (например, стержней) в конструкциях из бетона вместо стальной арматуры. Бандажи из углепластика обеспечивают усиление железобетонных конструкций с недостаточной несущей способностью. На строительных и промышленных объектах, а также на транспорте используются вибродемпфирующие и прочие элементы и изделия из резины и полиуретана.

Снижение горючести и других показателей пожарной опасности полимерных материалов чаще всего достигается с помощью антипиренов (замедлителей горения), а также в результате модификации или синтеза малогорючих полимеров. При этом улучшение показателей горючести обычно сопровождается ухудшением физико-механических характеристик ПКМ и (или) увеличением стоимости композитов. Однако даже если удастся улучшить показатели пожарной опасности материалов, то в большинстве случаев это практически не влияет на такую важнейшую характеристику пожарной опасности самих конструкций, как огнестойкость, показателем которой является предел огнестойкости.



Рис. 1. Вид профилей из стеклопластика, изготовленных методом пултрузии Производственной компанией “Армопроект”
Fig. 1. Appearance of fiberglass profiles made of pultrusion by Manufacturing Company “Armoproject”

Для обеспечения требуемого уровня предела огнестойкости необходимо применение специальных мер и средств.

При обеспечении пожаробезопасности конструкций из ПКМ несомненный интерес представляют результаты, полученные при исследованиях природного полимерного композита — древесины. Показательно, что после многолетних исследований и многочисленных публикаций по характеристикам пожарной опасности самого материала (как при отсутствии, так и при наличии огнезащиты) стали появляться статьи по оценке и обеспечению с помощью огнезащиты приемлемых показателей (пределов огнестойкости и класса пожарной опасности) для конструкций из древесины.

Традиционной площадкой для обсуждения рассматриваемых в обзоре вопросов является международная научно-техническая конференция “Полимерные материалы пониженной горючести”, имеющая многолетнюю историю. На ней, наряду с рассмотрением путей улучшения показателей для различных полимеров, больше внимания стало уделяться обеспечению необходимого и заранее задаваемого уровня пожаробезопасности конструкций из ПКМ.

Мировая тенденция к значительному росту объемов использования полимерных композитов в различных отраслях, а также к увеличению номенклатуры конструкций, создаваемых из ПКМ, требует постоянного совершенствования методов и средств по обеспечению требуемых показателей пожаробезопасности. В настоящем обзоре анализируются публикации по рассматриваемой тематике и представлены соображения авторов по не решенной на данный момент проблеме повышения пожаробезопасности конструкций из ПКМ.

Состояние вопроса

Обеспечению приемлемого уровня пожароопасных характеристик материалов на полимерной основе посвящены многочисленные исследования. В различных источниках (в частности, в [1–5]) рассматриваются показатели, обусловленные горючестью полимеров и сопутствующими процессами. Известно [2, 3], что все методы снижения горючести основаны на принципах: 1) изменения теплового баланса пламени за счет увеличения различного рода теплопотерь; 2) уменьшения потока тепла от пламени на полимер за счет создания защитных слоев, например из образующегося кокса; 3) снижения скорости газификации полимера; 4) изменения соотношения горючих и негорючих газов в сторону последних.

Классификация материалов по пожарной опасности с указанием методик определения соответ-

вующих показателей установлена Федеральным законом № 123-ФЗ “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности” (далее — ФЗ № 123). Кроме того, определение показателей пожарной опасности ПКМ и конструкций из них регламентируется ГОСТ Р 56206–2014 (ИСО 25762:2009) “Композиты полимерные. Методы оценки пожарной опасности и пределов огнестойкости”. Указаны методики, по которым необходимо проводить испытания: на горючесть — по ГОСТ 30244–94; на воспламеняемость — по ГОСТ 30402–96; на распространение пламени — по ГОСТ Р 51032–97; на огнестойкость — по ГОСТ 30247–94 и ГОСТ 30247.1–94. Используется также ГОСТ 12.1.044–89 для исследования горючести (п. 4.3), распространения пламени (п. 4.19), определения коэффициента дымообразования (п. 4.18) и показателя токсичности продуктов горения полимерных материалов (п. 4.20). В [6–8] отмечается, что применяемая на практике методологическая и нормативная база, регламентирующая оценки пожарной опасности полимерных композитов, существенно зависит от области их использования и функционального назначения.

Специфика испытаний и применения полимерных композитов в авиастроении нашла отражение в многочисленных публикациях, в частности в [6, 7, 9–13]. Дополнительно к перечисленным выше показателям пожарной опасности материалов, из которых в качестве главного рассматривается горючесть, большое внимание уделяется определению характеристик тепловыделения. Помимо многочисленных работ по оценке показателей пожарной опасности ПКМ, в значительном объеме проводились испытания конструкций из них, в основном в виде многослойных панелей и экранов [11–13]. В них в качестве внутреннего и наружного слоев применяются стекло- и углепластики, а в качестве внутреннего слоя — пенополиуретан, пенополистирол или стеклопластиковые соты. По методикам, регламентированным международными авиационными правилами, оценивалась огнестойкость и огнестойкость таких конструкций [11–13].

Испытания на огнестойкость многослойных панелей и прочих конструкций из полимерных композитов, предназначенных для судостроения, проводятся с учетом требований Международного кодекса по применению испытаний на огнестойкость 2010 г. (Кодекс ПИО 2010). Применяемые на судах материалы должны быть устойчивыми к воспламенению и распространению горения, определяемым в нашей стране по ГОСТ 12.1.044–89 (п. 4.19). Можно отметить, что на отечественном рынке широко представлены материалы и противопожарные композитные конструкции, производимые зарубежными фирмами. Во многом это обусловлено значи-

тельным объемом проводимых за рубежом испытаний, а также испытаний конструкций в огневых печах при стандартных режимах воздействия. Информация по ним содержится в отчетах испытательных центров, а формальное упоминание — в рекламных проспектах фирм – производителей или поставщиков материалов и конструкций.

Особенностью испытаний на огнестойкость конструкций, применяемых на кораблях ВМФ, является то, что задаваемые чаще всего температурные режимы отличаются от так называемого “стандартного” режима и соответствуют рассматриваемому сценарию развития пожара. Результаты таких испытаний в огневых печах, как правило, содержатся в научно-технических отчетах организаций кораблестроительной и судостроительной отрасли, а доступные публикации по результатам подобных исследований практически отсутствуют. Имеются также сертификаты и рекламная информация зарубежных и отечественных фирм по средствам огнезащиты конструкций (переборки, палубы и пр.) без публикаций в журналах с анализом и обобщением результатов исследований. В свободном доступе находятся преимущественно доклады, представленные на научно-технических конференциях и посвященные практике и перспективам использования полимерных композитов в судостроении (например, [14–16]).

Недостаток публикуемой информации характерен также для материалов и конструкций из композитов, применяемых в вагонах железной дороги и метрополитена. Авторами [8] рассмотрены требования пожарной безопасности, предъявляемые к материалам на полимерной основе, которые сформулированы в Техническом регламенте Таможенного союза (ТР ТС) “О безопасности железнодорожного подвижного состава” (ТР-ТС-001–2012). В соответствии с ним предусматривается комплексная оценка материалов по группе горючести, коэффициенту дымообразования, индексу распространения пламени и токсичности продуктов горения. Отмечается, что во многих других случаях использования полимерных композитов метод испытаний по определению горючести материалов и их классификация устанавливаются согласно ГОСТ 12.1.044–89 (п. 4.3), и это в значительной степени отличается от определения параметров горючести строительных материалов по ГОСТ 30244–94. Что касается испытаний на огнестойкость многослойных панелей, применяемых в вагонах и изготавливаемых с использованием ПКМ, информации о них в доступных источниках обнаружить не удалось.

Известно, что полимерные композиты применялись при создании изделий военной техники, что позволило существенно снизить их массу и улучшить другие эксплуатационные характеристики. Для не-

которых из них требовалось подтверждение их работоспособности при огневом воздействии. При проведении испытаний в большинстве случаев воспроизводились условия высокотемпературного воздействия, которые отличались от “стандартных” и задавались для конкретных сценариев развития аварийных ситуаций. Информация по таким испытаниям содержится в основном в научно-технических отчетах и лишь частично освещается в немногочисленных публикациях. К их числу относятся работы [17–24], причем некоторые из них опубликованы в изданиях (журналах), которые имеют ограниченный тираж и к архивам которых ограничен доступ. В работе [17] продемонстрирована возможность обеспечения требуемого уровня огнестойкости несущих композитных конструкций на примере гребного вала из стеклопластика. Огнестойкость подтверждена для заданного режима пожара с помощью испытаний модельных образцов в огневой печи и тепловых расчетов. Работы [17–22] посвящены обеспечению огнестойкости многослойных ограждающих конструкций из ПКМ, являющихся основными элементами контейнеров, бункеров, панелей. Имеются также публикации (например, [23, 24]) по оценке стойкости при пожаре тары (укупорки) из ПКМ при отсутствии или при наличии огнезащиты.

В обзоре основное внимание уделено анализу публикаций, посвященных обеспечению требуемого уровня огнестойкости конструкций из ПКМ как важнейшего показателя их пожаробезопасности. При этом рассматривались особенности, характерные для несущих конструкций, которые до последнего времени применялись и исследовались в меньшем объеме по сравнению с ограждающими конструкциями из полимерных композитов.

Как отмечалось выше, в соответствии с ФЗ № 123 и ГОСТ Р 56206–2014 испытания на огнестойкость предписано проводить по ГОСТ 30247.0–94 и ГОСТ 30247.1–94 в огневых печах аккредитованных испытательных центров при “стандартных” режимах пожара. Однако до настоящего времени подавляющее большинство экспериментов по определению пределов огнестойкости и эффективности средств огнезащиты приходилось на конструкции из стали, применяемые в строительстве. Что касается конструкций из полимерных композитов, то, несмотря на их важность и перспективность, количество таких испытаний для них по указанным стандартам до последнего времени было минимальным. И это на фоне традиционно большого объема исследований, посвященных показателям пожарной опасности различных материалов на полимерной основе, и заслуженного внимания к работам, направленным на улучшение этих показателей [1–6].

В ходе анализа представляется логичным и полезным упомянуть публикации по древесине, являющейся природным полимерным композитом. Они свидетельствуют о том, что, наряду со значительным объемом исследований по определению показателей пожарной опасности самой древесины [25], в последние годы стали чаще проводиться испытания в огневых печах конструкций из нее, причем как при отсутствии, так и при наличии огнезащиты. Их целью являлась оценка пределов огнестойкости и класса пожарной опасности. В качестве примера можно назвать работы [26–30]. Логично предположить, что практика проведения и увеличения объема подобных испытаний впоследствии станет характерной и для ПКМ. Следует отметить случаи применения в ограждающих конструкциях с каркасом из древесины низкоплотного полимерного композита, совмещающего функции теплоизоляции и огнезащиты [31, 32]. Материалы такого типа могут использоваться и в композитных конструкциях вместо пенополистиролов и пенопластов, поскольку они имеют более приемлемые показатели пожарной опасности, чем указанные традиционно применяемые полимеры [31, 32].

Важнейшей задачей при обеспечении требуемого уровня пожарной безопасности (огнестойкости) конструкций из полимерных композитов является оценка роли и возможностей огнезащиты. Не вызывает сомнений, что добиться значительного повышения их пожаробезопасности можно при использовании конструктивной огнезащиты (плит, матов) соответствующей толщины. Однако для элементов из ПКМ наиболее приемлемыми являются вспучивающиеся огнезащитные покрытия (ОЗП) на полимерной основе, при этом возникают вопросы о возможности и целесообразности их применения. В связи с этим анализу результатов их исследований и особенностям использования необходимо уделить должное внимание.

При нагреве вспучивающихся (терморасширяющихся) ОЗП образуется достаточно толстый и низко теплопроводный слой (пенококс), который способен в течение определенного времени значительно уменьшить тепловой поток к защищаемой поверхности конструкции и обеспечить существенный теплосъем с нагретой до высоких температур поверхности этого слоя за счет излучения. При таком способе огнезащиты реализуются принципы снижения горючести и повышения огнестойкости, перечисленные в [2, 3]. Однако для вспучивающихся ОЗП необходимо решить непростую задачу по обеспечению требуемой адгезии между покрытиями и ПКМ, а также их эксплуатационной стойкости и долговечности при эксплуатации. Такие материалы сами являются полимерными композитами и могут

быть отнесены к группе “полимеров пониженной горючести” [2, 3]. В обзоре анализируется информация по свойствам и влиянию вспучивающихся покрытий на пожаробезопасность конструкций из ПКМ, а также дается оценка возможности и целесообразности их использования в качестве огнезащиты.

Результаты и их обсуждение

В настоящее время производится большая номенклатура вспучивающихся ОЗП, предназначенных для защиты от пожаров конструкций из различных материалов (стали, древесины, ПКМ). Их можно условно разделить на несколько групп. В таблице приведены некоторые типичные и выпускаемые серийно представители этих групп с указанием относительного уровня их огнезащитной эффективности. Она определяется в значительной степени кратностью вспучивания, стабильностью и стойкостью вспученного слоя (пенококса), а также его структурой и теплопроводностью. В таблице указано, какие из покрытий совместимы с ПКМ (стеклопластиковыми, резиновыми, полиуретановыми и пр.). Видно, что имеется крайне ограниченное число серийно выпускаемых вспучивающихся ОЗП, которые могут рас-

считываться при выборе наиболее приемлемого варианта огнезащиты композитных конструкций.

Анализ состояния исследований и практического использования вспучивающихся ОЗП свидетельствует о том, что проблемой является высокая стоимость испытаний в огневых печах, необходимых для подтверждения заданных пределов огнестойкости защищаемых конструкций. Причем они далеко не всегда позволяют определить толщины огнезащиты, требуемые для конкретных конструкций.

Кроме того, все более очевидной становится проблема, связанная с завершением гарантийных сроков эксплуатации ОЗП. Вспучивающиеся составы, как и любые другие материалы на полимерной основе, подвержены старению, в результате чего их основные характеристики могут существенно ухудшиться. Приходится констатировать, что в строительной отрасли, где используется основной объем выпускаемых ОЗП, отсутствует единый подход и соответствующие нормативные документы, не проводятся необходимые исследования, подтверждающие сохранение (а точнее степень изменения) основных свойств, главным из которых является огнезащитная эффективность. Знание динамики ее изменения

Номенклатура типичных вспучивающихся покрытий / Typical foaming coatings spectrum

Типичные ОЗП Typical fire-protective coatings	Огнезащитная эффективность Fire-protective efficiency	Кратность вспучивания Intumescence multiplicity	Эксплуатацион- ная стойкость Service durability	Материал защищаемой конструкции Protection structure material
Феникс СТВ, Огракс-В-СК, Nullifire S-607 HB (водно-дисперсионные) Phenix STV, Ograx-B-SK, Nullifire S-607 HB (water-dispersion)	Высокая High	40–45	Относительно низкая Relatively low	Сталь Steel
Феникс CTC, Nullifire S-606, Unitherm ASR, Джокер 521 (растворитель) Phenix STS, Nullifire S-606, Unitherm ASR, Joker 521 (solvent)	То же The same	40–45	Средняя Average	То же The same
Феникс ДП (водно-дисперсионное) Phenix DP (water-dispersion)	“	100–120	Относительно низкая Relatively low	Древесина Wood
СГК-1, СГК-2, Огракс-МСК на основе хлорсульфированного полиэтилена и терморасширяющегося графита (растворитель) SGK-1, SGK-2, Ograx-MSK based on chlorosulfonated polyethylene and thermally expanding graphite (solvent)	Средняя Average	20–25	Высокая High	Сталь, ПКМ Steel, PC
Рубеж-В на основе перхлорвиниловой смолы (растворитель) Rubezh-V based on perchlorovinyl resin (solvent)	То же The same	30–40	То же The same	Сталь, ПКМ (с грунтом) Steel, PC (with the ground)
Огракс-СКЭ, Chartec-7 на эпоксидной основе (растворитель) Ograx-SKE, Chartec-7 based on epoxy resin (solvent)	Низкая Low	8–10	“	Сталь, ПКМ Steel, PC

требуется для обоснованного назначения проектных толщин ОЗП, сроков их эксплуатации и регламентации мероприятий по восстановлению огнезащиты. При отсутствии результатов таких исследований гарантийные сроки эксплуатации вспучивающихся покрытий, рекомендуемые производителями материалов, а также заключения о возможности их продления нельзя признать обоснованными.

При решении этой проблемы для вспучивающихся ОЗП, применяемых в строительстве, необходимо воспользоваться результатами, имеющимися в ракетно-космической, авиационной, кораблестроительной отраслях, и адаптировать применяемые там методики исследований. Результаты, представленные в [13, 33–41], свидетельствуют о том, что проведение ускоренных климатических испытаний и определение (подтверждение) основных характеристик применяемых материалов на полимерной основе (не только конструкционных, но и огнезащитных) с учетом длительности и условий эксплуатации должно стать обязательным. Это обусловлено тем, что при эксплуатации, как отмечается в [13, 33–41], может происходить существенное ухудшение характеристик пожарной опасности за счет изменения структуры полимерной матрицы, в результате чего снижается термостойкость, легче протекает термодеструкция, удаляются антипиренирующие добавки и т. д.

Несмотря на вышеизложенное, только немногочисленные работы [37–41] посвящены оценке влияния эксплуатационных факторов на эффективность вспучивающихся ОЗП и огнестойкость защищаемых ими конструкций. Как показано в [40], со временем происходит снижение огнезащитной эффективности (для покрытия СГК-2 порядка 25 % за 25 лет). Подобные изменения объясняются в основном снижением со временем кратности вспучивания ОЗП (в данном случае приблизительно на 25 %) [40]. Учитывая, что СГК-2 по своей природе относится к числу материалов с наибольшей стойкостью к воздействию внешних факторов, можно ожидать существенно большего влияния длительности и условий эксплуатации на снижение кратности вспучивания и огнезащитной эффективности большинства из применяемых покрытий. Данные, подтверждающие возможность снижения кратности вспучивания покрытий в несколько раз, представлены в [37–39].

Важную роль в оценке огнезащитной эффективности и, соответственно, огнестойкости конструкций со вспучивающимися ОЗП, а также в прогнозировании их изменения в процессе эксплуатации могли бы сыграть теплотехнические расчеты, позволяющие оценивать уровень прогрева конструкций и определять толщину различных ОЗП. Однако общепринятые методики расчетов отсутствуют,

а методики, рассмотренные в обзоре, используются пока в недостаточной степени.

Анализируя особенности и перспективы применения ПКМ, можно указать еще на ряд нерешенных вопросов и неиспользованных возможностей в части обеспечения пожаробезопасности конструкций из полимерных композитов. Во-первых, это ограниченная номенклатура серийно выпускаемых ОЗП, которые были бы совместимы с конкретными полимерными композитами и могли бы эффективно защищать конструкции из них. Можно назвать только несколько материалов на основе хлорсульфированного полиэтилена и эпоксидных смол (см. таблицу). Крайне желательна разработка новых вспучивающихся покрытий, предназначенных для рассматриваемых конструкций. Во-вторых, это недооценка необходимости и возможности конструирования формы элементов из ПКМ с ОЗП для обеспечения требуемых пределов огнестойкости на базе использования существующих методик теплотехнических и статических расчетов и их дальнейшего совершенствования. В-третьих, это недостаточная информированность о перспективах снижения показателей пожарной опасности ПКМ (стеклопластиков, базальтопластиков, углепластиков, резин, полиуретанов и пр.) с помощью вспучивающихся ОЗП. Обратимся к публикациям, посвященным трем перечисленным вопросам.

Относительно возможности снижения показателей пожарной опасности полимерных композитов с помощью вспучивающихся ОЗП можно отметить, что накопленные к настоящему времени результаты, полученные для стеклопластиков, полиуретанов и резин, свидетельствуют о перспективности такого варианта снижения горючести и других стандартных показателей материалов. В качестве примера можно привести результаты испытаний образцов стеклопластика на основе эпоксидного связующего, проведенные по ГОСТ 12.1.044–89 (пп. 4.3, 4.18, 4.19, 4.20 — определение группы горючести, дымообразующей способности, токсичности продуктов разложения, индекса распространения пламени) и по ГОСТ 30402–96 (воспламеняемость) [42]. Они показали, что при относительно небольшой толщине вспучивающегося покрытия СГК-2 (порядка 0,5 мм) достигается существенное улучшение свойств по сравнению с вариантом без огнезащиты. Удалось обеспечить следующие группы стандартизованных показателей: В1 (трудновоспламеняемый материал) вместо В2 (умеренновоспламеняемый); трудногорючий вместо горючий средней воспламеняемости; Д2 и Т2 (умеренная дымообразующая способность и умеренноопасный материал по токсичности продуктов горения) при существенном улучшении контрольных параметров; медленное

(практически нулевое) распространение пламени вместо быстрого распространения пламени [42]. Ранее подобные результаты по горючести стеклопластиков были получены для ПКМ с покрытием СГК-1. Использование покрытий СГК-1 и СГК-2 толщиной порядка 0,5 мм обеспечило перевод типичного литьевого полиуретана из горючего средней воспламеняемости в трудногорючий [42]. Это свидетельствует о том, что во многих случаях применение тонкослойных вспучивающихся ОЗП является реальной альтернативой традиционным способам, предусматривающим использование антипиренов, модифицированных и относительно дорогих связующих и пр.

Для подтверждения пределов огнестойкости несущих и ограждающих конструкций из любых материалов с огнезащитой (в данном случае со вспучивающимся покрытием) по ГОСТ 30247.0–94 и ГОСТ 30247.1–94 предусмотрено проведение испытаний в огневых печах. Огнезащитная эффективность ОЗП определялась при испытаниях преимущественно конструкций из стали. Известно, что требуется испытать несколько (а иногда значительное количество) образцов при различной толщине огнезащиты и различной массивности конструкций (для конструкций из стали она характеризуется приведенной толщиной металла).

Однако даже несколько испытаний во многих случаях не позволяют обоснованно переносить их результаты на конструкции других типоразмеров и определять требуемые толщины огнезащиты при иной, чем при испытаниях, длительности огневого воздействия (тем более при температурных режимах пожара, отличающихся от “стандартного”). Для этого необходима методика расчетов, апробированная с использованием результатов огневых испытаний, позволяющая моделировать работу вспучивающихся покрытий и прогрев защищаемых ими конструкций. Естественно, возможность ее использования должна быть доказана. Однако пока это реализуется крайне редко, и в подавляющем большинстве случаев толщины огнезащиты в таблицах или номограммах, рекомендуемых производителями материалов, не определяются должным образом и не могут быть признаны обоснованными.

Работы по созданию вариантов методик отражены в отечественных и зарубежных публикациях [18, 20, 22, 43–66]. Показательно, что в авторитетном обзоре [45] сделан вывод о необходимости расчетов для моделирования работы и определения толщин огнезащиты и высказано предположение о скором появлении моделей, которые с достаточной степенью достоверности будут предсказывать поведение вспучивающихся ОЗП в условиях пожара. В обзоре отмечается также, что развитие химии и

технологии огнезащитных материалов дошло до такого уровня, что создание новых материалов невозможно лишь на основе экспериментальных данных, без привлечения численных методов. Данное предположение оправдалось, и в нашей стране стали появляться подобные методики.

Следует упомянуть о трех математических моделях и методиках расчетов конструкций со вспучивающимися ОЗП. Правда, одна из них [47] не нашла применения на практике. В то же время методика, упоминаемая в [20–22, 40, 48] успешно использовалась для расчетов различных конструкций с покрытиями СГК-1 и СГК-2, для чего был определен весь предусмотренный в ней комплекс характеристик этих материалов, включая кратность вспучивания. Однако для других ОЗП она практически не применялась, о чем свидетельствует отсутствие соответствующих публикаций.

Более универсальными и апробированными при расчетах различных вспучивающихся покрытий оказались модель и методика расчетов, представленные в работах [18, 46, 49–53]. Можно констатировать, что с их появлением стало возможным решение большинства задач, необходимость решения которых была оговорена в обзоре [45]. Кроме того, вывод о значимости методики, упоминаемой в [18, 46, 49, 51–53], следует из анализа, проведенного в обстоятельном обзоре [60], посвященном вспучивающимся ОЗП.

Методику и компьютерную программу, представленные в [46, 49, 51–53], отличает оптимальное сочетание сложности математической модели (учитываются основные физико-химические процессы, происходящие во вспучивающихся материалах и в их пенококсе при нагреве) с возможностью ее численной реализации и разработки компьютерной программы, а также моделирования прогрева различных конструкций с огнезащитой и, в конечном счете, определения проектных толщин ОЗП. В [46, 49, 51–53] обосновывается выбор порядка численной реализации исходной системы уравнений, приводятся порядок и результаты определения комплекса свойств ОЗП, необходимых для проведения расчетов, а также даются примеры апробирования методики путем сопоставления результатов расчетов с данными испытаний конструкций с конкретными ОЗП в огневых печах.

Используемая математическая модель учитывает в явном виде такие физико-химические процессы, происходящие в огнезащитных и в конструкционных материалах при нагреве, как термическая деструкция, порообразование, фильтрация газообразных продуктов термодеструкции по толщине вспученного слоя. Принципиально важным моментом является возможность учета динамики измене-

ния толщины вспученного слоя (пенококка), т. е. рост и последующее уменьшение его толщины, обусловленное выгоранием и усадкой [26, 46, 49, 51–53]. Кроме того, задается такой вид зависимостей для теплофизических характеристик в этом слое, который позволяет учесть изменение лучистой и конвективной составляющих коэффициента теплопроводности непосредственно в ходе численных вычислений с учетом порообразования в материале и деформирования расчетной области. Можно проводить расчеты при различных температурных режимах пожара, что необходимо для определения проектных толщин огнезащиты, а также для учета конкретных условий испытаний в огневых печах при анализе и обобщении их результатов.

Разработка, апробация и применение указанной методики [46, 49, 51–53] первоначально предусматривались для строительных конструкций из стали. Методика позволяет, в частности, обоснованно переносить результаты испытаний в огневых печах при стандартном воздействии на другие условия, а также на металлоконструкции других габаритов. Это важно, поскольку, как отмечалось ранее, во многих случаях потребителям предлагаются таблицы и графики с рекомендуемыми толщинами ОЗП без должного обоснования. Методика использовалась при анализе и обработке результатов испытаний ОЗП и выпуске проектов огнезащиты несущих и ограждающих конструкций для многочисленных строительных объектов, а также изделий различного назначения (в том числе из ПКМ). Вместе с тем можно констатировать, что до сих пор возможности этой методики явно недооценивались. Помимо возможности ее использования уже в настоящее время и в большем объеме, она может рассматриваться в качестве основы для дальнейшего совершенствования и создания, в конечном счете, общепринятой методики, необходимость которой становится все более очевидной. При этом подразумевается, что ее применение должно быть регламентировано в нормативных документах.

Данная методика [46, 49, 51–53] может использоваться для различных конструкций из ПКМ, эксплуатируемых как при наличии покрытий, так и без них. Даже в авиационной отрасли, где испытания на огнестойкость многослойных композитных конструкций проводились и проводятся в большом объеме [10–13], ее использование представляется целесообразным при моделировании их прогрева, анализе результатов испытаний, переносе их результатов на другие условия и определении оптимальных вариантов огнезащиты. О необходимости подобного моделирования свидетельствует попытка создания расчетной методики для авиационной отрасли [13, 61]. Однако в ходе проводимых авторами

этой методики расчетов не учитывались особенности работы разлагающихся и вспучивающихся материалов и покрытий. В связи с этим представляется целесообразным и перспективным создание более совершенной методики теплотехнических расчетов, адаптированной к потребностям авиационной отрасли.

Если рассматривать силовые конструкции и изделия из ПКМ, то следует отметить, что для них испытания в огневых печах до настоящего времени практически не проводились. В такой ситуации применение методики, подобной приведенной в [46, 49, 51–53], является основным путем обоснования их огнестойкости и выбора средств огнезащиты. При ее использовании появляется возможность моделирования температурных полей и оценки их влияния на напряженно-деформированное состояние, что для конструкций из композитов особенно актуально.

Показательно, что подобная ситуация характерна также для конструкций из другого горючего композитного материала — древесины. Для них в отличие от полимерных композитов испытания в огневых печах проводятся, но в недостаточном объеме, что также свидетельствует о необходимости соответствующих расчетов. Уже первые попытки численного моделирования, представленные в [26], свидетельствуют о том, что они эффективны для определения величины (скорости) обугливания, выбора рациональных вариантов огнезащиты, оценки пределов огнестойкости, а также для определения класса пожарной опасности конструкций из древесины.

Следует упомянуть также еще об одном подходе к моделированию прогрева конструкций при пожаре и определению толщины огнезащиты. Он представлен, в частности, в работах [62–66]. В математической модели авторы используют уравнение нестационарной теплопроводности, которое не учитывает физико-химических процессов, происходящих в материалах при нагреве. Такие процессы косвенно учитываются при определении эффективных теплофизических характеристик огнезащитных материалов, которые устанавливаются путем решения обратной задачи теплопроводности [63] с использованием результатов измерения температуры в ходе нескольких стандартных испытаний конструкций с огнезащитой при конкретном режиме огневого воздействия. И если для конструкций с не разлагающейся при нагреве конструктивной огнезащитой применение такой экспериментально-расчетной методики обосновано (например, [64, 66]), то для разлагающихся, а тем более для вспучивающихся, материалов ее использование [64–66] является, по существу, вынужденным и может быть объясне-

но отсутствием возможности применения более совершенных моделей и программ расчетов.

Таким образом, с помощью методики, упоминаемой в [46, 49, 51–53], можно проводить моделирование прогрева конструкций и изделий различного назначения из любых материалов (стали, стеклопластика, резины, полиуретана, древесины, железобетона и пр.), защищенных вспучивающимися ОЗП. Имеются многочисленные результаты, демонстрирующие научную обоснованность, практическую значимость и перспективы таких расчетов для обеспечения требуемых показателей пожаробезопасности конструкций и изделий.

Моделирование в большом объеме проводилось для металлоконструкций [46, 49, 51–53]. Получены результаты, представляющие интерес не только для проектировщиков огнезащиты, но и (в соответствии с пожеланиями и предположениями, содержащимися в обзоре [45]) для разработчиков вспучивающихся составов и исследователей их основных характеристик. В [67] получена наглядная количественная информация о влиянии кратности вспучивания и уменьшения толщины вспученного слоя, а также температуры начала вспучивания на прогрев защищаемых конструкций, т. е. на эффективность огнезащиты. Примеры представлены на рис. 2 и 3.

Результаты моделирования роли температуры начала вспучивания, сохранности и толщины пенококса [67] явились для авторов [68] обоснованием необходимости изучения особенностей протекания реакций и выбора оптимального соотношения полифосфата аммония и пентаэритрита в композиции, обеспечивающего минимальную температуру вспучивания. Это соответствует соображениям, высказанным в обзоре [45] о положительной роли расчетов при разработке новых ОЗП.

В [67] получены, в частности, результаты, во многом не соответствующие традиционной трактовке роли процессов, влияющих на огнезащитную эффективность ОЗП и, соответственно, на выбор путей повышения эффективности за счет организации таких процессов. Было установлено, что тепловые эффекты термодеструкции материала, а также теплоемкость и фильтрация образующихся газообразных продуктов практически не влияют на уровень прогрева конструкций, т. е. на эффективность покрытий. Это объясняется относительно большой длительностью рассматриваемых процессов (десяти минут), в то время как влияние этих факторов заметно сказывается при относительно кратковременном высокотемпературном воздействии (секунды), что характерно, например, для условий эксплуатации теплозащиты конструкций ракетно-космической техники.

Таким образом, было установлено [67], что основными факторами, определяющими такое влияние,

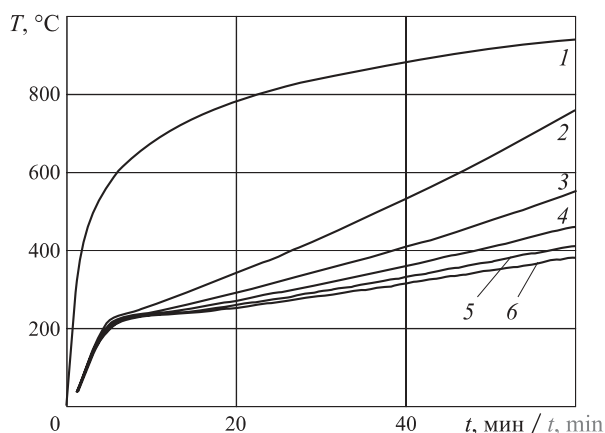


Рис. 2. Зависимость от времени температуры газовой среды (1) и стальной конструкции (2–6) при кратности вспучивания, равной 20 (2), 40 (3), 60 (4), 80 (5) и 100 (6)

Fig. 2. Time dependences of temperature of gas (1) and steel structure (2–6) with the intumescence multiplicity equal to 20 (2), 40 (3), 60 (4), 80 (5), and 100 (6)

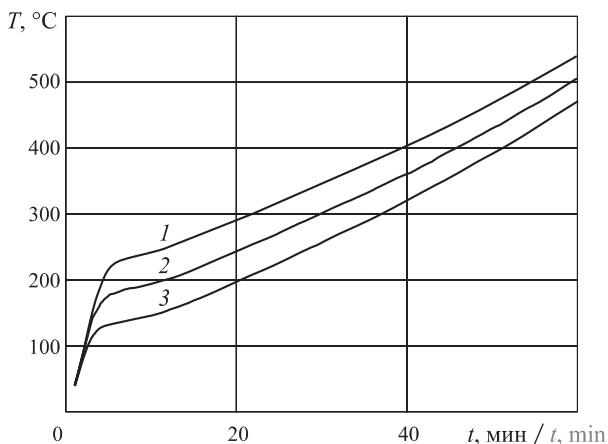


Рис. 3. Зависимость от времени температуры конструкций при температуре начала вспучивания 220 °C (1), 170 °C (2) и 120 °C (3)

Fig. 3. Time dependences of structure at foaming temperature extremes equal to 220 °C (1), 170 °C (2), and 120 °C (3)

являются динамика изменения толщины вспученного слоя и уровень его теплопроводности. Максимальная эффективность ОЗП реализуется при наибольшей кратности вспучивания и стабильном слое пенококса (с минимальным выгоранием и усадкой, а также без отслоения и удаления его частей). Наиболее желательной является мелкопористая структура, обеспечивающая наименьший уровень лучистой теплопередачи при высоких температурах. Примером ОЗП с максимальной кратностью вспучивания (100–120) являются огнезащитные лаки ПРОТЕРМ ВУД и Феникс ДП (см. таблицу), используемые в качестве огнезащиты конструкций из древесины. Эти материалы имеют и относительно низкую температуру начала вспучивания (порядка 130 °C), что, как наглядно показано в [26, 67, 68] и на рис. 3, является положительным фактором.

К сожалению, для конструкций из ПКМ пока отсутствуют подобные высокоэффективные ОЗП с максимальным вспучиванием и низкой температурой начала вспучивания, что было бы крайне желательно, учитывая относительно низкую термостойкость полимерных композитов. Существенная потеря прочности для большинства из них происходит уже при температурах порядка 100 °С. Почти все ОЗП, перечисленные в таблице, имеют температуру начала вспучивания 220–240 °С, а покрытие СГК-2, хорошо совместимое с ПКМ, — порядка 165 °С (однако кратность его вспучивания всего 25).

Можно отметить результаты первых успешных попыток проведения теплотехнических расчетов для конструкций из ПКМ. В работах [69, 70] рассматривались различные средства огнезащиты, включая вспучивающиеся покрытия, и оценивалась их роль в повышении огнестойкости композитных конструкций. В работе [71] представлены результаты моделирования прогрева стеклопластиковой стойки в виде трубы диаметром 250 мм и толщиной 10 мм с покрытием СГК-2 толщиной 1,5 мм. Расчеты показали относительно высокий (недопустимый) уровень прогрева стойки: температура на наружной и внутренней поверхностях оболочки составила соответственно 348 и 322 °С при 30-минутном воздействии по стандартному (для пожара) температурному режиму. Получено численное подтверждение того, что добиться снижения уровня прогрева стеклопластика до приемлемого уровня не удастся даже в случае увеличения толщины покрытия в 2 раза (соответственно 242 и 210 °С). Даже если одновременно с этим произойдет гипотетическое увеличение кратности вспучивания покрытия в два раза (с 25 до 50) плюс гипотетическое снижение температуры начала вспучивания (со 165 до 120 °С), то уровень прогрева оболочки останется недопустимо высоким (соответственно 183 и 157 °С). Подобные результаты являются наглядной иллюстрацией невозможности обеспечения высоких пределов огнестойкости большинства конструкций из ПКМ только за счет применения вспучивающихся ОЗП.

С помощью подобных расчетов [69–71] можно было бы наглядно и оперативно продемонстрировать невозможность обеспечения с помощью вспучивающихся ОЗП работоспособности (при огневом воздействии) углепластиковых элементов в виде бандажей, предназначенных для усиления железобетонных строительных конструкций с недостаточной несущей способностью. Результаты расчетов прогрева колонны диаметром 500 мм, усиленной слоем углепластика толщиной 1 мм, защищенного покрытием типа СГК-2 толщиной 2 мм, показали [69, 70], что даже при существенном отводе тепла в массив железобетона (“увеличение теплопотерь” [2, 3])

уровень прогрева композитного бандажа недопустимо велик, что приводит к очень быстрой утрате им несущей способности. При 45-минутном воздействии по стандартному температурному режиму уровень прогрева бандажа составил 203–216 °С, а уже при 15-минутном воздействии — 155–168 °С, т. е. бандаж в таком исполнении неработоспособен. Тем не менее вначале на строительных объектах допускалось использование одного из вспучивающихся покрытий и только позднее взамен него стала применяться конструктивная огнезащита, необходимость чего можно было бы обосновать заблаговременно.

Таким образом, моделирование прогрева в условиях пожаров различных композитных конструкций показало [69, 70], что при использовании вспучивающегося покрытия требуемые пределы огнестойкости конструкций из ПКМ в большинстве случаев обеспечены быть не могут. Частично слои, прилегающие к ОЗП, будут перегреваться и практически не смогут участвовать в обеспечении несущей способности конструкции. Следует особо отметить, что упоминаемая в [46, 49, 51–53] методика позволяет рассчитывать температурные поля не только в ОЗП, но и в прилегающих “жертвенных” слоях композитной конструкции. Это важно, если учесть, что все упомянутые выше характерные для ОЗП физико-химические процессы (кроме вспучивания) происходят и в ПКМ при нагреве. Определение необходимого для таких расчетов набора характеристик полимерных композитов не является проблемой, однако пока практикуется применение методик, не учитывающих эти процессы, что нельзя признать оправданным.

Уместно напомнить, что на начальном этапе создания конструкций и изделий из ПКМ для военной техники попытки использования многих подходов и приемов, традиционно применяемых при создании их металлических прототипов, не увенчались успехом. Потребовалась новая методология проектирования и отработки. Это характерно и для несущих пожаробезопасных конструкций из ПКМ. Стало очевидным, что для минимизации количества “жертвенных” слоев требуется специальное конструирование формы силовых элементов и наличие облицовки с нанесением на ее поверхность вспучивающегося ОЗП, которое в данном случае играет важную, но вспомогательную роль. Создаваемые таким образом композитные конструкции могут оказаться не совсем привычного вида (с массивным силовым ядром и с относительно тонкими наружными “жертвенными” слоями). Современные технологии позволяют это реализовать: на рис. 1 демонстрируются, в частности, различные профили, изготавливаемые методом пултрузии.

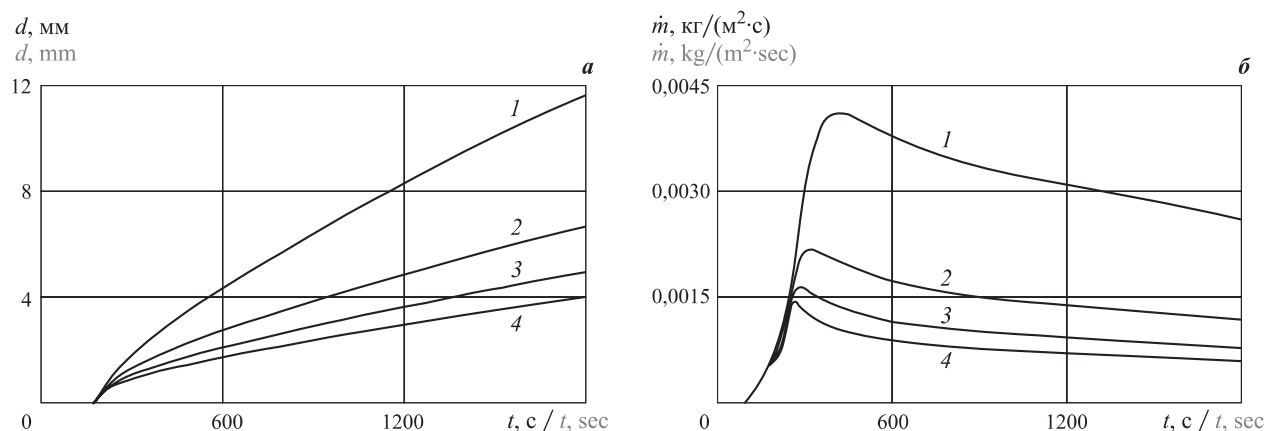


Рис. 4. Зависимость от времени глубины деструкции (а) и массовой скорости выделения газообразных продуктов термического разложения (б) для эластомера при кратности вспучивания: 1 — 0; 2 — 2; 3 — 4; 4 — 6

Fig. 4. Time dependence of depth of destruction (a) and the mass rate of gaseous products of thermal decomposition release (b) for the elastomer at the foaming multiplicity: 1 — 0; 2 — 2; 3 — 4; 4 — 6

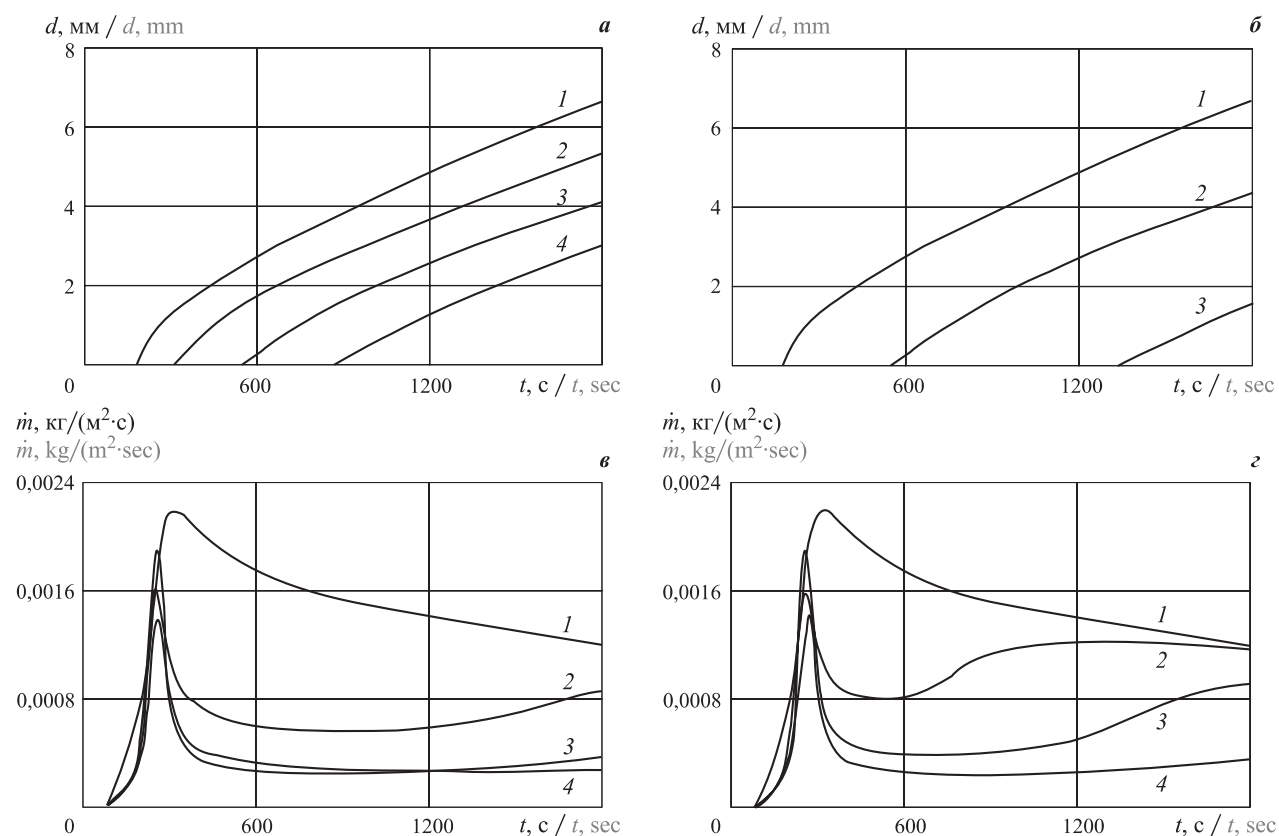


Рис. 5. Зависимость от времени глубины деструкции (а, б) и массовой скорости выделения газообразных продуктов термического разложения (в, г) для эластомера с кратностью вспучивания, равной 2, при наличии ОЗП различной толщины: 1 — 0 мм; 2 — 0,5 мм; 3 — 1 мм; 4 — 1,5 мм

Fig. 5. Time dependence of depth of destruction (a, б) and the mass rate of release of gas thermal decomposition products (в, г) for an elastomer with the foaming multiplicity of 2, in the presence of a flame-retardant coating of various thickness: 1 — 0 mm; 2 — 0.5 mm; 3 — 1 mm; 4 — 1.5 mm

В работах [71–73] представлены результаты моделирования двумерных температурных полей в несущих конструкциях круглой или квадратной формы с наружной оболочкой (облицовкой) и с ОЗП на ее поверхности. Расчеты показали значительное снижение уровня прогрева внутренних силовых эле-

ментов конструкции, которые должны обеспечивать требуемый предел огнестойкости, т. е. заданную несущую способность в течение всего времени огневого воздействия.

В последней части обзора на примере резин (эластомеров) рассматривается вариант снижения горю-

части полимерного композита за счет вспучивания самого материала. При этом учитывалось, что по данным разработчиков за счет модификации можно добиться увеличения толщины эластомеров в несколько раз. По разработанной методике, незначительно отличающейся от упоминаемой в [46, 49, 51–53], выполнены расчетные оценки, результаты которых представлены в [74, 75]. Устанавливалась массовая скорость выделения газообразных продуктов термической деструкции, которая определяет в значительной степени горючесть материала. В данном случае реализуется механизм снижения горючести за счет “уменьшения скорости газификации полимера” [2, 3]. Проведены численные исследования для случаев отсутствия огнезащиты элементов из такого материала, а также при нанесении на поверхность эластомера дополнительного слоя из совместимого с ним вспучивающегося покрытия СГК-2.

Результаты моделирования глубины деструкции (продвижения изотермы 300 °С) и массовой скорости газовыделения из модифицированного эластомера при отсутствии и наличии на поверхности дополнительного ОЗП представлены на рис. 4 и 5 [74, 75].

Численные исследования показали [74, 75], что возможно уменьшение скорости газовыделения материала в 3 раза за счет вспучивания эластомера и почти в 10 раз — при наличии дополнительного покрытия. Эти результаты демонстрируют эффективность механизма снижения горючести за счет “уменьшения скорости газификации полимера” [2, 3]. Как видно из рис. 4 и 5, соответствующим образом значительно уменьшается и уровень глубины деструкции эластомера, что свидетельствует не только о снижении горючести, но и о возможности значительного увеличения предела огнестойкости таких элементов. Показано также, что при наличии ОЗП возможна ситуация, когда в течение длительного времени воздействия будет отсутствовать термическая деструкция материала. Полученные результаты иллюстрируют новые возможности повышения пожаробезопасности материалов на полимерной основе, в частности пределов огнестойкости соответствующих конструкций и изделий. Подобным

образом можно повысить пожаробезопасность изделий, изготавливаемых из резины и полиуретана, таких как амортизаторы, гидроакустические изделия, топливные баки и пр.

Выводы

Существует большое количество публикаций по исследованиям свойств и применению полимерных композитов в различных сферах. Однако лишь небольшая часть их посвящена вопросам обеспечения требуемого уровня огнестойкости конструкций из ПКМ. Отмечено, что наиболее полно в печати отражены вопросы пожаробезопасности ограждающих конструкций из ПКМ, применяемых в авиационном строении. В то же время ощущается недостаток информации по возможностям и путям обеспечения требуемых показателей пожаробезопасности несущих композитных конструкций с огнезащитой, наиболее перспективной сферой применения которых является строительство.

Рассмотрены особенности и показатели огнезащитной эффективности вспучивающихся материалов как одного из видов полимеров пониженной горючести и одного из средств огнезащиты конструкций из ПКМ. Показана роль и продемонстрированы возможности теплотехнических расчетов, позволяющих моделировать температурные поля и определять толщины вспучивающихся и прочих покрытий, что создает предпосылки для конструирования оптимальной формы и обеспечения заданной огнестойкости элементов из полимерных композитов. Отмечены достоинства существующей методики, которая может уже в настоящее время использоваться для расчетов прогрева конструкций из ПКМ и рассматриваться в качестве основы для ее дальнейшего совершенствования и создания, в итоге, общепринятой методики.

Представленные в обзоре результаты демонстрируют возможные пути обеспечения требуемого уровня пожаробезопасности как ПКМ, так и создаваемых из них конструкций и изделий. Перечислены задачи по данной важной и перспективной тематике, требующие решения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Асеева Р. М., Заиков Г. Е. Горение полимерных материалов. — М.: Наука, 1981. — 280 с.
2. Khalturinskii N. A., Popova T. V., Berlin A. A. The combustion of polymers and the mechanism of action of fire-proofing agents // Russian Chemical Reviews. — 1984. — Vol. 53, Issue 2. — P. 197–209. DOI: 10.1070/rc1984v053n02abeh003041.
3. Берлин Ал. Ал. Горение полимеров и полимерные материалы пониженной горючести // Сороковский образовательный журнал. — 1996. — Т. 2, № 9. — С. 57–63.
4. Antonov A. V., Reshetnikov I. S., Khalturinskij N. A. Combustion of char-forming polymeric systems // Russian Chemical Reviews. — 1999. — Vol. 68, Issue 7. — P. 605–614. DOI: 10.1070/rc1999v068n07abeh000408.

5. *Khalturinskii N. A., Rudakova T. A.* Physical aspects of polymer combustion and the inhibition mechanism // Russian Journal of Physical Chemistry B. — 2008. — Vol. 2, Issue 3. — P. 480–490. DOI: 10.1134/s1990793108030238.
6. *Барботько С. Л., Вольный О. С., Кириенко О. А., Луценко А. Н., Шуркова Е. Н.* Сопоставление методов оценки пожарной опасности полимерных материалов в различных отраслях транспорта и промышленности // Комментарии к стандартам ТУ, сертификатам. Приложение к журналу “Все материалы. Энциклопедический справочник”. — 2015. — № 1. — С. 2–9.
7. *Барботько С. Л., Вольный О. С., Кириенко О. А., Луценко А. Н., Шуркова Е. Н.* Сопоставление методов оценки пожарной опасности полимерных материалов в различных отраслях транспорта и промышленности (продолжение) // Комментарии к стандартам ТУ, сертификатам. Приложение к журналу “Все материалы. Энциклопедический справочник”. — 2015. — № 2. — С. 2–9.
8. *Константинова Н. И., Смирнов Н. В., Шебеко А. Ю.* К вопросу об оценке эффективности огнезащиты полимерных материалов // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 7–8. — С. 32–42. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.07-08.32-42.
9. *Барботько С. Л., Вольный О. С., Кириенко О. А., Шуркова Е. Н.* Особенности испытаний авиационных материалов на пожароопасность. Часть 1. Испытания на горючесть. Влияние толщины образца на регистрируемые характеристики // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2015. — Т. 24, № 1. — С. 40–48.
10. *Шуркова Е. Н., Вольный О. С., Луценко А. Н., Барботько С. Л.* Сравнительная оценка пожаробезопасности ПКМ для изготовления конструктивных элементов летательных аппаратов // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2014. — Т. 23, № 2. — С. 20–27.
11. *Барботько С. Л., Кириенко О. А., Вольный О. С., Луценко А. Н.* Анализ пожарной опасности мотогондол авиационных двигателей и других пожароопасных зон; используемые методы огневых испытаний материалов и конструктивных элементов на соответствие требованиям авиационных норм // Проблемы безопасности полетов. — 2017. — № 5. — С. 3–24.
12. *Барботько С. Л., Вольный О. С., Вешкин Е. А., Гончаров В. А.* Оценка огнестойкости материалов и конструктивных элементов для авиационной техники // Авиационная промышленность. — 2018. — № 2. — С. 63–67.
13. *Барботько С. Л., Вольный О. С., Кириенко О. А., Шуркова Е. Н.* Оценка пожаробезопасности полимерных материалов авиационного назначения: анализ состояния, методы испытаний, перспективы развития, методические особенности / Под общ. ред. Е. Н. Каблова. — М.: ВИАМ, 2019. — 424 с.
14. *Середохо В. А.* Применение композиционных материалов в судостроении. URL: http://compositeforum.ru/netcat_files/userfiles/P12-16_Gorev_SNSZ.pdf (дата обращения: 08.02.2019).
15. *Анисимов А. В.* Перспективы применения полимерных композиционных материалов в судостроении. URL: <http://www.hccomposite.com/upload/iblock/fbd/fbd012f6683d92bd2d1c233244cfa44f.pdf> (дата обращения: 18.01.2019).
16. *Кутейников М. А., Кордонец С. М., Федонюк Н. Н.* Разработка новых правил по конструкции и прочности морских судов из полимерных композиционных материалов // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. — 2017. — № 46/47. — С. 64–71.
17. *Гаращенко А. Н., Страхов В. Л., Разин А. Ф., Канина Э. П., Рудзинский В. П.* Отработка теплоогнезащиты несущей конструкции гребного вала из композиционных материалов // Вопросы оборонной техники. Сер. 15: Композиционные неметаллические материалы в машиностроении. — 1992. — Вып. 1(101). — С. 12–15.
18. *Страхов В. Л., Гаращенко А. Н., Рудзинский В. П.* Расчет нестационарного прогрева многослойных огнезащитных конструкций // Вопросы оборонной техники. Сер. 15: Композиционные неметаллические материалы в машиностроении. — 1994. — Вып. 1(109)-2(110). — С. 30–36.
19. *Назаренко В. А., Гаращенко А. Н.* Результаты исследований и перспективы использования вспучивающегося покрытия СГК-2 для защиты от пожаров конструкций и оборудования различного назначения // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2005. — Т. 14, № 6. — С. 21–25.
20. *Zverev V. G., Nazarenko V. A., Tsimbalyuk A. F.* Heat and fire protection of multilayer structures based on the use of foaming coatings // Heat Transfer Research. — 2005. — Vol. 36, Issue 7. — P. 543–556. DOI: 10.1615/heattransres.v36.i7.20.
21. *Теплоухов А. В.* Исследование поведения многослойных конструкций в условиях воздействия внешних тепловых потоков // Труды МИТ. — 2008. — Т. 9, Ч. 1. — С. 231–238.
22. *Zverev V. G., Nazarenko V. A., Tsimbalyuk A. F.* Thermal protection of multilayer containers against the effect of fires // High Temperature. — 2008. — Vol. 46, Issue 2. — P. 254–260. DOI: 10.1134/s10740-008-2015-9.

23. Гаращенко А. Н., Васин В. П., Натрусов В. И. Повышение пожаробезопасности тары для боеприпасов, изготавливаемой из полимерных композиционных материалов, с помощью огнезащиты // Вопросы оборонной техники. Сер. 15: Композиционные неметаллические материалы в машиностроении. — 2012. — Вып. 1(164)-2(165). — С. 44–50.
24. Плотников В. И., Кульков А. А., Слитков М. Н., Плотников Р. В., Гаращенко А. Н. Отработка конструкции и исследование теплового состояния укупорки из полимерных композиционных материалов в условиях пожара // Фундаментальные основы баллистического проектирования : сб. тр. 5-й Всероссийской научно-технической конференции. — СПб. : Изд-во БГТУ «Военмех», 2016. — С. 193–196.
25. Асеева Р. М., Серков Б. Б., Сивенков А. Б. Горение древесины и ее пожароопасные свойства. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2010. — 262 с.
26. Корольченко А. Я., Гаращенко А. Н., Гаращенко Н. А., Рудзинский В. П. Расчеты толщин огнезащиты, обеспечивающих требуемые показатели пожарной опасности деревоклееных конструкций // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2008. — Т. 17, № 3. — С. 49–56.
27. Альменбаев М. М., Арцыбашева О. В., Асеева Р. М., Макишев Ж. К., Москалев В. А., Серков Б. Б., Сивенков А. Б. Исследование скорости обугливания деревянных конструкций длительного срока эксплуатации // Известия ЮФУ. Технические науки. — 2014. — № 9(158). — С. 246–254.
28. Альменбаев М. М. Эффективность различных способов повышения огнезащиты древесины с лакокрасочными материалами // Технологии техносферной безопасности. — 2015. — № 2(60). — С. 56–60. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_24182040_94341714.pdf (дата обращения: 18.01.2019).
29. Анохин Е. А., Полищук Е. Ю., Сивенков А. Б. Применение огнезащитных пропиточных композиций для снижения пожарной опасности деревянных конструкций с различными сроками эксплуатации // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2017. — Т. 26, № 2. — С. 22–35. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.02.22-35.
30. Анохин Е. А., Полищук Е. Ю., Сивенков А. Б. Применение огнезащитных пропиточных композиций для повышения класса пожарной опасности деревянных конструкций длительного срока эксплуатации // Ройтмановские чтения : материалы 5-й Международной научно-практической конференции. — М., 2017. — С. 10–14.
31. Шутов Ф. А., Ярборо Д. Теплоизоляционные и экологические характеристики огнестойкого полимерного пенокомпозиата PENOCOM® // Технологии техносферной безопасности. — 2014. — № 4(56). — 4 с. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_23105869_67731454.pdf (дата обращения 18.01.2019).
32. Шутов Ф. А., Круглов Е. Ю., Асеева Р. М., Серков Б. Б., Сивенков А. Б. Влияние теплоизоляции из полимерного пенокомпозиата «PENOCOM» на огнестойкость ограждающих деревянных каркасных конструкций // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2016. — Т. 25, № 1. — С. 28–37. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.01.28-37.
33. Кириллов В. Н., Ефимов В. А., Барботько С. Л., Николаев Е. В. Методические особенности проведения и обработки результатов климатических испытаний полимерных композиционных материалов // Пластические массы. — 2013. — № 1. — С. 37–41. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_18903155_28681924.pdf (дата обращения: 10.01.2019).
34. Барботько С. Л., Барботько М. С., Вольный О. С., Шведкова А. К. Исследование длительных совместных воздействий факторов температуры и влажности на пожаробезопасность стеклопластиков // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2014. — Т. 23, № 7. — С. 16–26.
35. Лаптев А. Б., Барботько С. Л., Николаев Е. В. Основные направления исследований сохраняемости свойств материалов под воздействием климатических и эксплуатационных факторов // Авиационные материалы и технологии. — 2017. — № 5. — С. 547–561.
36. Барботько С. Л., Николаев Е. В., Абрамов Д. В., Вольный О. С. Влияние старения полимерных композиционных материалов на величины регистрируемых характеристик пожарной опасности // Пластические массы. — 2017. — № 1-2. — С. 51–57. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_28949543_56951119.pdf (дата обращения: 10.01.2019).
37. Вахитова Л. Н., Лапушкин М. П., Калафат К. В. Срок службы огнезащитных покрытий вспучивающегося типа // F+S: технологии безопасности и противопожарной защиты. — 2011. — № 2(50). — С. 58–61.
38. Гайковая О. Н., Коваленко В. В., Несенюк А. О., Савченко О. В. Некоторые аспекты сохранения огнезащитной эффективности вспучивающихся покрытий для металлических конструкций // Науковий вісник: цивільний захист та пожежна безпека. — 2011. — № 1(23). — С. 47–55.

39. Вахитова Л. Н., Калафат К. В. Огнезащита стальных конструкций. — Киев : НПВ “Интерсервис”, 2013. — 152 с.
40. Теплоухов А. В., Зверев В. Г., Гаращенко А. Н. Методика и результаты оценки влияния длительной эксплуатации конструкций на основные свойства вспучивающихся огнезащитных покрытий // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2016. — Т. 25, № 1. — С. 9–16. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.01.9-16.
41. Крутов А. М., Страхов В. Л., Кульков А. А., Гаращенко А. Н., Далинкевич А. А. Обеспечение гарантийных сроков эксплуатации огнезащиты несущих металлоконструкций методом ускоренных климатических испытаний // Безопасность, эффективность и экономика атомной энергетики (МНТК–2016) : 10-я Международная научно-техническая конференция. — М. : Изд-во Росэннергоатом, 2016. — С. 429–434.
42. Гаращенко А. Н., Суханов А. В., Гаращенко Н. А., Смирнов Н. В., Константинова Н. И., Меркулов А. А. Снижение пожарной опасности полимерных композиционных материалов при использовании вспучивающихся огнезащитных покрытий // Пожарная безопасность. — 2012. — № 4. — С. 61–67.
43. Anderson C. E., Dziuk J., Mallow W. A., Buckmaster J. Intumescent reaction mechanisms // Journal of Fire Sciences. — 1985. — Vol. 3, Issue 3. — P. 161–194. DOI: 10.1177/073490418500300303.
44. Buckmaster J., Anderson C., Nachman A. A model for intumescent paints // International Journal of Engineering Science. — 1986. — Vol. 24, Issue 3. — P. 263–276. DOI: 10.1016/0020-7225(86)90084-4.
45. Reshetnikov I. S., Antonov A. V., Khalturinskii N. A. Mathematical description of combustion of intumescent polymer systems // Combustion, Explosion, and Shock Waves. — 1997. — Vol. 33, Issue 6. — P. 669–684. DOI: 10.1007/bf02671799.
46. Страхов В. Л., Гаращенко А. Н., Рудзинский В. П. Математическое моделирование работы и определение комплекса характеристик вспучивающейся огнезащиты // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 1997. — Т. 6, № 3. — С. 21–30.
47. Isakov G. N., Kuzin A. Ya. Modeling of heat and mass transfer in multilayer heat- and fire-insulating coatings under interaction with a high-temperature gas flow // Combustion, Explosion, and Shock Waves. — 1998. — Vol. 34, Issue 2. — P. 191–197. DOI: 10.1007/bf02672820.
48. Zverev V. G., Golédin V. D., Nesmelov V. V., Tsimbalyuk A. F. Modeling heat and mass transfer in intumescent fire-retardant coatings // Combustion, Explosion, and Shock Waves. — 1998. — Vol. 34, Issue 2. — P. 198–205. DOI: 10.1007/bf02672821.
49. Гаращенко А. Н., Страхов В. Л., Рудзинский В. П., Рыжков А. А. Апробирование методики расчетов вспучивающейся огнезащиты строительных конструкций на примере покрытия Хенсотерм 4КС // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 1999. — Т. 8, № 5. — С. 29–37.
50. Strakhov V. L., Garashchenko A. N., Kuznetsov G. V., Rudzinskii V. P. High-temperature heat and mass transfer in a layer of moisture-containing fireproof material // High Temperature. — 2000. — Vol. 38, Issue 6. — P. 921–925. DOI: 10.1023/a:1004149625276.
51. Страхов В. Л., Гаращенко А. Н., Кузнецов Г. В., Рудзинский В. П. Тепломассообмен в тепло- и огнезащите с учетом процессов термического разложения, испарения – конденсации, уноса массы и вспучивания – усадки // Математическое моделирование. — 2000. — Т. 12, № 5. — С. 107–113.
52. Страхов В. Л., Гаращенко А. Н., Рудзинский В. П. Программные комплексы для расчетов температурных полей в строительных конструкциях с огнезащитой с учетом термического разложения, вспучивания – усадки и испарения – конденсации // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2001. — Т. 10, № 4. — С. 9–11.
53. Strakhov V. L., Garashchenko A. N., Kuznetsov G. V., Rudzinskii V. P. Mathematical simulation of thermophysical and thermochemical processes during combustion of intumescent fire-protective coatings // Combustion, Explosion, and Shock Waves. — 2001. — Vol. 37, Issue 2. — P. 178–186. DOI: 10.1023/a:1017557726294.
54. Bartholmai M., Schriever R., Schartel B. Influence of external heat flux and coating thickness on the thermal insulation properties of two different intumescent coatings using cone calorimeter and numerical analysis // Fire and Materials. — 2003. — Vol. 27, Issue 4. — P. 151–162. DOI: 10.1002/fam.823.
55. Еремина Т. Ю. Моделирование и оценка огнезащитной эффективности вспучивающихся огнезащитных составов // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2003. — Т. 12, № 5. — С. 22–29.
56. Страхов В. Л., Гаращенко А. Н., Рудзинский В. П., Алейник В. А. Математическое моделирование работы водосодержащих вспучивающихся покрытий // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2003. — Т. 12, № 1. — С. 39–46.

57. Бессонов Н. М., Еремина Т. Ю., Дмитриева Ю. Н., Крашенинникова М. В. Расчетный метод определения пределов огнестойкости металлоконструкций, покрытых огнезащитным вспучивающимся составом // Пожарная безопасность. — 2007. — № 1. — С. 89–96.
58. Griffin G. J. The modeling of heat transfer across intumescent polymer coatings // Journal of Fire Sciences. — 2010. — Vol. 28, Issue 3. — P. 249–277. DOI: 10.1177/0734904109346396.
59. Зверев В. Г., Теплоухов А. В., Цимбалюк А. Ф. Исследование свойств и огнезащитной эффективности вспучивающихся покрытий // Известия высших учебных заведений. Физика. — 2014. — Т. 57, № 8-2. — С. 148–153.
60. Ненахов С. А., Пименова В. П. Физико-химия вспенивающихся огнезащитных покрытий на основе полифосфата аммония (обзор литературы) // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2010. — Т. 19, № 8. — С. 11–58.
61. Барботько С. Л., Вольный О. С., Кириенко О. А., Шуркова Е. Н. Построение математической модели и расчет температур образцов при испытаниях на огнестойкость // Труды ВИАМ. — 2017. — № 7(55). — С. 110–122. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_29678401_94671304.pdf (дата обращения: 10.01.2019).
62. Новак С., Харченко І., Круковский П. Разрахунково-експериментальний метод розв'язування задач оптимального теплового проектування вогнестійких конструкцій // Пожежна безпека. — 1997. — № 4. — С. 24–26.
63. Круковский П. Г. Обратные задачи тепломассообмена (общий инженерный подход). — Киев : Институт технической теплофизики НАН Украины, 1998. — 218 с.
64. Новак С. В., Якименко Е. Ф. Анализ современных методов определения характеристики огнезащитной способности покрытия и облицовок // Пожежна безпека: теорія і практика. — 2011. — № 8. — С. 56–61.
65. Григорьян Н. Б., Полищук В. Д., Круковский П. Г., Новак С. В. Оценка огнезащитной способности вспучивающегося огнезащитного покрытия “Феникс СТС” // Пожежна безпека: теорія і практика. — 2014. — № 17. — С. 34–38.
66. Ковальов А. І., Зобенко Н. В. Методика попередньої оцінки здатності покриттів для сталевих конструкцій в умовах температурного режиму вуглеводневої пожежі // Науковий вісник: цивільний захист та пожежна безпека. — 2016. — № 1(1). — С. 59–64.
67. Гаращенко А. Н., Кульков А. А., Васин В. П., Рудакова Т. А. Влияние состава и особенностей поведения вспучивающихся огнезащитных покрытий на их эффективность // Вопросы оборонной техники. Сер. 15: Композиционные неметаллические материалы в машиностроении. — 2010. — Вып. 4(159). — С. 33–38.
68. Рудакова Т. А., Евтушенко Ю. М., Григорьев Ю. А., Батраков А. А. Пути снижения температуры пенообразования в системе полифосфат аммония – пентаэритрит в интумесцентных системах // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2015. — Т. 24, № 3. — С. 24–31.
69. Гаращенко А. Н., Суханов А. В., Гаращенко Н. А., Рудзинский В. П., Мараховский С. С. Огнезащита конструкций из полимерных композитов и оценка ее эффективности // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2009. — Т. 18, № 5. — С. 15–24.
70. Гаращенко А. Н., Гаращенко Н. А., Рудзинский В. П., Суханов А. В., Мараховский С. С., Теминовский И. В. Пожаробезопасность строительных конструкций из полимерных композиционных материалов // Конструкции из композиционных материалов. — 2010. — № 2. — С. 45–59.
71. Рудзинский В. П., Гаращенко А. Н., Гаращенко Н. А. Теплотехнические расчеты двумерных температурных полей в конструкциях из полимерных композитов со вспучивающимся огнезащитным покрытием // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2013. — Т. 22, № 8. — С. 42–47.
72. Гаращенко А. Н., Рудзинский В. П., Каледин В. О. Обеспечение требуемых показателей пожаробезопасности конструкций из полимерных композиционных материалов с помощью огнезащиты // Известия ЮФУ. Технические науки. — 2013. — № 8(145). — С. 143–149.
73. Rudzinsky V. P., Garashchenko A. N. Numerical analysis of heat transfer in fire-protective coatings deformable upon heating // EPJ Web of Conferences “Thermophysical Basis of Energy Technologies 2015”. — 2016. — Vol. 110. — Art. No. 01067. DOI: 10.1051/epjconf/201611001067.
74. Гаращенко А. Н., Берлин А. А., Кульков А. А., Дахтиев И. З. Особенности создания конструкций из полимерных композитов при наличии требований по показателям их пожаробезопасности // Вопросы оборонной техники. Сер. 15: Композиционные неметаллические материалы в машиностроении. — 2018. — Вып. 2(189). — С. 62–69.

75. Garashchenko A. N., Rudzinsky V. P., Garashchenko N. A. Solving heat conduction problems in movable boundary domains under intensive physical-chemical transformation conditions // EPJ Web of Conferences “Thermophysical Basis of Energy Technologies 2015”. — 2016. — Vol. 110, Art. No. 01020. DOI: 10.1051/epjconf/201611001020.

REFERENCES

1. R. M. Aseeva, G. E. Zaikov. *Goreniye polimernykh materialov* [Burning of polymeric materials]. Moscow, Nauka Publ., 1981. 280 p. (in Russian).
2. N. A. Khalturinskii, T. V. Popova, A. A. Berlin. The combustion of polymers and the mechanism of action of fire-proofing agents. *Russian Chemical Reviews*, 1984, vol. 53, issue 2, pp. 197–209. DOI: 10.1070/rc1984v053n02abeh003041.
3. Al. Al. Berlin. Combustion of polymers and polymer materials of reduced combustibility. *Sorosovskiy obrazovatel'nyy zhurnal / Soros Educational Journal*, 1996, vol. 2, no. 9, pp. 57–63 (in Russian).
4. A. V. Antonov, I. S. Reshetnikov, N. A. Khalturinskij. Combustion of char-forming polymeric systems. *Russian Chemical Reviews*, 1999, vol. 68, issue 7, pp. 605–614. DOI: 10.1070/rc1999v068n07abeh000408.
5. N. A. Khalturinskii, T. A. Rudakova. Physical aspects of polymer combustion and the inhibition mechanism. *Russian Journal of Physical Chemistry B*, 2008, vol. 2, issue 3, pp. 480–490. DOI: 10.1134/s1990793108030238.
6. S. L. Barbotko, O. S. Volnyy, O. A. Kiriyenko, A. N. Lutsenko, E. N. Shurkova. Comparison of fire-safety assessment methods of polymer materials in different fields of transport and industry. *Vse materialy. Entsiklopedicheskiy spravochnik. Prilozheniye k zhurnalu / All the Materials. Encyclopaedic Reference Book. Journal Supplement*, 2015, no. 1, pp. 2–9 (in Russian).
7. S. L. Barbotko, O. S. Volnyy, O. A. Kiriyenko, A. N. Lutsenko, E. N. Shurkova. Comparison of fire-safety assessment methods of polymer materials in different fields of transport and industry (continuation). *Vse materialy. Entsiklopedicheskiy spravochnik. Prilozheniye k zhurnalu / All the Materials. Encyclopaedic Reference Book. Journal Supplement*, 2015, no. 2, pp. 2–9 (in Russian).
8. N. I. Konstantinova, N. V. Smirnov, A. Yu. Shebeko. Revisiting the assessment of polymeric materials fire protection efficiency. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 7–8, pp. 32–42 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.07-08.32-42.
9. S. L. Barbotko, O. S. Volnyy, O. A. Kirienko, E. N. Shurkova. Features the testing of aviation materials on fire safety. Part 1. Test on flammability — influence of sample thickness on registered characteristics. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 1, pp. 40–48 (in Russian).
10. E. N. Shurkova, O. S. Volnyj, A. N. Lutsenko, S. L. Barbotko. Comparative evaluation of fire polymer composite materials used to the manufacture of structural elements for aircrafts. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 2, pp. 20–27 (in Russian).
11. S. L. Barbotko, O. A. Kirienko, O. S. Volnyj, A. N. Lutsenko. Analysis of the fire danger of aircraft engines motor-gondols and other fire hazardous zones; use of fire tests methods of materials and constructive elements to correspond of aviation norms. *Problemy bezopasnosti poletov / Problems of Flight Safety*, 2017, no. 5, pp. 3–24 (in Russian).
12. S. L. Barbot'ko, O. S. Vol'niy, E. A. Veshkin, V. A. Goncharov. Evaluation of fire-resistance of materials and structural components for aircraft equipment. *Aviatsionnaya promyshlennost / Aviation Industry*, 2018, no. 2, pp. 63–67 (in Russian).
13. S. L. Barbotko, O. S. Volnyj, O. A. Kirienko, E. N. Shurkova. *Otsenka pozharobezopasnosti polimernykh materialov aviatsionnogo naznacheniya: analiz sostoyaniya, metody ispytaniy, perspektivy razvitiya, metodicheskiye osobennosti* [Fire safety assessment of aviation polymeric materials: background data analysis, test methods, prospects for the development, methodological features]. Moscow, VIAM Publ., 2019. 424 p. (in Russian).
14. V. A. Seredokho. *Use of composite materials in shipbuilding* (in Russian). Available at: http://composite-forum.ru/netcat_files/userfiles/P12-16_Gorev_SNSZ.pdf (Accessed 8 February 2019).
15. A. V. Anisimov. *Prospects for the use of polymer composite materials in shipbuilding* (in Russian). Available at: <http://www.hccomposite.com/upload/iblock/fbd/fbd012f6683d92bd2d1c233244cfa44f.pdf> (Accessed 18 January 2019).
16. M. A. Kuteynikov, S. M. Kordonets, N. N. Fedonyuk. Development of new rules for full structure and strength of fiber reinforced plastic ships. *Nauchno-tekhnicheskiy sbornik Rossiyskogo morskogo registra sudokhodstva / Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping*, 2017, no. 46/47, pp. 64–71 (in Russian).

17. A. N. Garashchenko, V. L. Strakhov, A. F. Razin, E. P. Kanina, V. P. Rudzinskiy. The development of the heat protection of the propeller shaft supporting structure made of composite materials. *Voprosy oboronnoy tekhniki. Seriya 15. Kompozitsionnyye nemetallicheskiye materialy v mashinostroyenii / Military Enginery. Issues 15. Composite Non-Metallic Materials in Mechanical Engineering*, 1992, no. 1(101), pp. 12–15 (in Russian).
18. V. L. Strakhov, A. N. Garashchenko, V. P. Rudzinskiy. Estimation of non-stationary heating of multi-layer flame retardant coatings. *Voprosy oboronnoy tekhniki. Seriya 15. Kompozitsionnyye nemetallicheskiye materialy v mashinostroyenii / Military Enginery. Issues 15. Composite Non-Metallic Materials in Mechanical Engineering*, 1994, no. 1(109)-2(110), pp. 30–36 (in Russian).
19. V. A. Nazarenko, A. N. Garashchenko. Results of investigations and perspectives of SGK-2 expanding covering application for constructions and different kind of equipment fire protection. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2005, vol. 14, no. 6, pp. 21–25 (in Russian).
20. V. G. Zverev, V. A. Nazarenko, A. F. Tsimbalyuk. Heat and fire protection of multilayer structures based on the use of foaming coatings. *Heat Transfer Research*, 2005, vol. 36, issue 7, pp. 543–556. DOI: 10.1615/heattransres.v36.i7.20.
21. A. V. Teploukhov. Investigation of the behavior of multilayer structures under the influence of external heat fluxes. *Trudy MIT / Proceedings of Moscow Institute for Heat Technology*, 2008, vol. 9, part 1, pp. 231–238 (in Russian).
22. V. G. Zverev, V. A. Nazarenko, A. F. Tsimbalyuk. Thermal protection of multilayer containers against the effect of fires. *High Temperature*, 2008, vol. 46, issue 2, pp. 254–260. DOI: 10.1134/s10740-008-2015-9.
23. A. N. Garashchenko, V. P. Vasin, V. I. Natrusov. Improving the fire safety of ammunition containers made of polymer composite structures, using fire protection. *Voprosy oboronnoy tekhniki. Seriya 15. Kompozitsionnyye nemetallicheskiye materialy v mashinostroyenii / Military Enginery. Issues 15. Composite Non-Metallic Materials in Mechanical Engineering*, 2012, no. 1(164)-2(165), pp. 44–50 (in Russian).
24. V. I. Plotnikov, A. A. Kulkov, M. N. Slitkov, R. V. Plotnikov, A. N. Garashchenko. Development of the design and study of the thermal state of the capping of polymer composite materials in fire conditions. In: *Fundamentalnyye osnovy ballisticheskogo proyektirovaniya* [Fundamental bases of ballistic design]. Proceedings of 5th All-Russian Scientific and Technical Conference. Saint Petersburg, Voenmekh Publ., 2016, pp. 193–196 (in Russian).
25. R. M. Aseeva, B. B. Serkov, A. B. Sivenkov. *Goreniye drevesiny i yeye pozharoopasnyye svoystva* [Wood burning and its fire hazard properties]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2010. 262 p. (in Russian).
26. A. Ya. Korolchenko, A. N. Garashchenko, N. A. Garashchenko, V. P. Rudzinskiy. Calculations of the thickness of fire protection, providing the required indicators of fire danger of wood-glued structures. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2008, vol. 17, no. 3, pp. 49–56 (in Russian).
27. M. M. Almenbaev, O. V. Artsybasheva, R. M. Aseeva, Zh. K. Makishev, V. A. Moskalev, B. B. Serkov, A. B. Sivenkov. Study of the charring rate for long-life wooden constructions. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskkiye nauki / Izvestiya SFedU. Engineering Sciences*, 2014, no. 9(158), pp. 246–254 (in Russian).
28. M. M. Almenbayev. Efficiency of various ways of improve fire protection of wood with paintwork materials. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti / Technology of Technosphere Safety*, 2015, no. 2(60), pp. 56–60 (in Russian). Available at: https://elibrary.ru/download/elibrary_24182040_94341714.pdf (Accessed 18 January 2019).
29. E. A. Anokhin, E. Yu. Polishchuk, A. B. Sivenkov. Use of fire-retardant impregnating compositions for reducing fire hazard of wooden structures of various lifetimes. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 2, pp. 22–35 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.02.22-35.
30. E. A. Anokhin, E. Yu. Polishchuk, A. B. Sivenkov. The use of fire-protective impregnating coatings to improve the fire hazard class of long service life wooden structures. In: *Roytmanovskiye chteniya* [Roitman readings]. Proceedings of 5th International Scientific and Practical Conference. Moscow, 2017, pp. 10–14 (in Russian).
31. F. A. Shutov, D. Yarbrough. Insulation and environmental specifications flame retardant polymer foam composites PENOCOM®. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti / Technology of Technosphere Safety*, 2014, no. 4(56). 4 p. (in Russian). Available at: https://elibrary.ru/download/elibrary_23105869_67731454.pdf (Accessed 18 January 2019).
32. F. A. Shutov, E. Yu. Kruglov, R. M. Aseeva, B. B. Serkov, A. B. Sivenkov. Influence of polymeric foam composite “PENOCOM” on fire resistance of wood frame separating constructions. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 1, pp. 28–37 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2016.25.01.28-37.

33. V. N. Kirillov, V. A. Efimov, S. L. Barbotko, E. V. Nikolaev. Methodical features of carrying out and processing of climatic tests results of polymeric composite materials. *Plasticheskiye massy / Plastics*, 2013, no. 1, pp. 37–41 (in Russian). Available at: https://elibrary.ru/download/elibrary_18903155_28681924.pdf (Accessed 10 January 2019).
34. S. L. Barbotko, M. S. Barbotko, O. S. Volnyy, A. K. Shvedkova. Research of joint long-time impacts of temperature and humidity on fire safety of glass reinforced polymers. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 7, pp. 16–26 (in Russian).
35. A. B. Laptev, S. L. Barbotko, E. V. Nikolaev. The main research areas of the persistence properties of materials under the influence of climatic and operational factors. *Aviacionnye materialy i tehnologii / Aviation Materials and Technologies*, 2017, no. 5, pp. 547–561 (in Russian).
36. S. L. Barbotko, E. V. Nikolaev, D. V. Abramov, O. S. Volnyj. Influence of polymeric composite materials aging on fire danger registered characteristic. *Plasticheskiye massy / Plastics*, 2017, no. 1-2, pp. 51–57 (in Russian). Available at: https://elibrary.ru/download/elibrary_28949543_56951119.pdf (Accessed 10 January 2019).
37. L. N. Vakhitova, M. P. Lapushkin, K. V. Kalafat. Lifetime of intumescent fire retardant coatings. *F+S: tekhnologii bezopasnosti i protivopozharnoy zashchity / F+S: Fire and Security*, 2011, no. 2(50), pp. 58–61 (in Russian).
38. O. N. Gaykovaya, V. V. Kovalenko, A. O. Nesenyuk, O. V. Savchenko. Some aspects of preservation of fire retardant efficiency of swelling coatings for metal constructions. *Naukoviy visnik: tsivilniy zakhista ta pozhezhna bezpeka / Scientific Bulletin: Civil Protection and Fire Safety*, 2011, no. 1(23), pp. 47–55 (in Russian).
39. L. N. Vakhitova, K. V. Kalafat. *Ognezashchita stalnykh konstruksiy* [Fire retardance of steel structures]. Kiev, NPV “Interservis” Publ., 2013. 152 p. (in Russian).
40. A. V. Teploukhov, V. G. Zverev, A. N. Garashchenko. Methodology and results of estimation of the influence of structures long-term exploitation on basic properties of the intumescent flame-retardant coatings. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 1, pp. 9–16 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2016.25.01.9-16.
41. A. M. Krutov, V. L. Strakhov, A. A. Kulkov, A. N. Garashchenko, A. A. Dalinkevich. Ensuring the warranty periods for the use of flame retardant load-bearing steel structures by the method of accelerated climatic tests. In: *Bezopasnost, effektivnost i ekonomika atomnoy energetiki* [Safety, Efficiency and Economics of Nuclear Power Industry]. Proceedings of 10th International Scientific and Technical Conference. Moscow, Rosenergoatom Publ., 2016, pp. 429–434 (in Russian).
42. A. N. Garashchenko, A. V. Sukhanov, N. A. Garashchenko, N. V. Smirnov, N. I. Konstantinova, A. A. Merkulov. Decrease of fire hazard of polymeric composite materials when using of intumescent fireproof coverings. *Pozharnaya bezopasnost / Fire Safety*, 2012, no. 4, pp. 61–67 (in Russian).
43. C. E. Anderson, J. Dziuk, W. A. Mallow, J. Buckmaster. Intumescent reaction mechanisms. *Journal of Fire Sciences*, 1985, vol. 3, issue 3, pp. 161–194. DOI: 10.1177/073490418500300303.
44. J. Buckmaster, C. Anderson, A. Nachman. A model for intumescent paints. *International Journal of Engineering Science*, 1986, vol. 24, issue 3, pp. 263–276. DOI: 10.1016/0020-7225(86)90084-4.
45. I. S. Reshetnikov, A. V. Antonov, N. A. Khalturinskii. Mathematical description of combustion of intumescent polymer systems. *Combustion, Explosion, and Shock Waves*, 1997, vol. 33, issue 6, pp. 669–684. DOI: 10.1007/bf02671799.
46. V. L. Strakhov, A. N. Garashchenko, V. P. Rudzinsky. Mathematical modeling of intumescent fire protection functioning and performances. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 1997, vol. 6, no. 3, pp. 21–30 (in Russian).
47. G. N. Isakov, A. Ya. Kuzin. Modeling of heat and mass transfer in multilayer heat- and fire-insulating coatings under interaction with a high-temperature gas flow. *Combustion, Explosion, and Shock Waves*, 1998, vol. 34, issue 2, pp. 191–197. DOI: 10.1007/bf02672820.
48. V. G. Zverev, V. D. Golédin, V. V. Nesmelov, A. F. Tsimbalyuk. Modeling heat and mass transfer in intumescent fire-retardant coatings. *Combustion, Explosion, and Shock Waves*, 1998, vol. 34, issue 2, pp. 198–205. DOI: 10.1007/bf02672821.
49. A. N. Garashchenko, V. L. Strakhov, V. P. Rudzinsky, A. A. Ryzhkov. Approval of the design method for intumescent fire retardance applied on building constructions by example of Hensotherm 4KC. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 1999, vol. 8, no. 5, pp. 29–37 (in Russian).
50. V. L. Strakhov, A. N. Garashchenko, G. V. Kuznetsov, V. P. Rudzinskii. High-temperature heat and mass transfer in a layer of moisture-containing fireproof material. *High Temperature*, 2000, vol. 38, issue 6, pp. 921–925. DOI: 10.1023/a:1004149625276.

51. V. L. Strakhov, A. N. Garashchenko, G. V. Kuznesov, V. P. Rudzinski. Heat and mass transfer in thermo- and fire protection, taking into account the processes of thermal decomposition, evaporation – condensation, mass transfer and swelling – shrinkage. *Matematicheskoye modelirovaniye / Mathematical Models and Computer Simulations*, 2000, vol. 12, no. 5, pp. 107–113.
52. V. L. Strakhov, A. N. Garashchenko, V. P. Rudzinskii. Software for simulation of temperature fields in fire resistant building constructions with taking into account the processes of thermal decomposition, intumescence – shrinkage and evaporation – condensation. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2001, vol. 10, no. 4, pp. 9–11 (in Russian).
53. V. L. Strakhov, A. N. Garashchenko, G. V. Kuznetsov, V. P. Rudzinskii. Mathematical simulation of thermo-physical and thermochemical processes during combustion of intumescent fire-protective coatings. *Combustion, Explosion, and Shock Waves*, 2001, vol. 37, issue 2, pp. 178–186. DOI: 10.1023/a:1017557726294.
54. M. Bartholmai, R. Schriever, B. Schartel. Influence of external heat flux and coating thickness on the thermal insulation properties of two different intumescent coatings using cone calorimeter and numerical analysis. *Fire and Materials*, 2003, vol. 27, issue 4, pp. 151–162. DOI: 10.1002/fam.823.
55. T. Yu. Eremina. Modelling and estimation of fire protection efficiency of bloating fireproof compounds. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2003, vol. 12, no. 5, pp. 22–29 (in Russian).
56. V. L. Strakhov, A. N. Garashchenko, V. P. Rudzinskii, V. A. Aleinik. Mathematical modelling of performance of water-contained intumescent fire-retardant coverings. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2003, vol. 12, no. 1, pp. 39–46 (in Russian).
57. N. M. Bessonov, T. Yu. Eremina, Yu. N. Dmitrieva, M. V. Krashenninnikova. Calculated method for determining the fire resistance of metal structures coated with flame retardant intumescent composition. *Pozharnaya bezopasnost / Fire Safety*, 2007, no. 1, pp. 89–96 (in Russian).
58. G. J. Griffin. The modeling of heat transfer across intumescent polymer coatings. *Journal of Fire Sciences*, 2010, vol. 28, issue 3, pp. 249–277. DOI: 10.1177/0734904109346396.
59. V. G. Zverev, A. V. Teploukhov, A. F. Tsimbaluyk. Investigation of properties and fire protection efficiency of intumescent coatings. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Fizika / Russian Physics Journal*, 2014, vol. 57, no. 8-2, pp. 148–153 (in Russian).
60. S. A. Nenakhov, V. P. Pimenova. Physico-chemical foaming fire-retardant coatings based on ammonium polyphosphate (review of the literature). *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2010, vol. 19, no. 8, pp. 11–58 (in Russian).
61. S. L. Barbotko, O. S. Volnij, O. A. Kiriyyenko, E. N. Shurkova. Creation of the mathematical model and calculation of sample temperatures at tests on fire resistance. *Trudy VIAM / Proceedings of VIAM*, 2017, no. 7(55), pp. 110–122 (in Russian). Available at: https://elibrary.ru/download/elibrary_29678401_94671304.pdf (Accessed 10 January 2019).
62. S. Novak, E. Kharchenko, P. Krukovskiy. Analytical-experimental assessment for solving problems of optimal thermal design of fire resistance structures. *Fire Safety*, 1997, no. 4, pp. 24–26 (in Ukrainian).
63. Krukovskiy P. G. *Obratnyye zadachi teplomassoobmena (obshchiy inzhenernyy podkhod)* [Inverse heat and mass transfer problems (general engineering approach)]. Kiev, Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine Publ., 1998. 218 p. (in Russian).
64. S. V. Novak, E. F. Yakimenko. Analysis of modern methods, determination of the fire-protective methods and coatings characteristics. *Pozhezhna bezpeka: teoriya i praktika / Fire Safety: Theory and Practice*, 2011, no. 8, pp. 56–61 (in Russian).
65. N. B. Grigoryan, V. D. Polishchuk, P. G. Krukovsky, S. V. Novak. Assessment of the intumescent fire-protective coating “Phenix STS” ability. *Pozhezhna bezpeka: teoriya i praktika / Fire Safety: Theory and Practice*, 2014, no. 17, pp. 34–38 (in Russian).
66. A. Kovaliov, N. Zobenko. Preliminary assessment technique of coating flame retardant capacity for steel structures under hydrocarbon fire temperature conditions. *Naukoviy visnik: tsivilniy zakhist ta pozhazhna bezpeka / Scientific Bulletin: Civil Protection and Fire Safety*, 2016, no. 1(1), pp. 59–64 (in Ukrainian).
67. A. N. Garashchenko, A. A. Kulikov, V. P. Vasin, T. A. Rudakova. Influence of the compound and fracturing behavior of intumescent flame retardant coatings on their effectiveness. *Voprosy obronnoy tekhniki. Seriya 15. Kompozitsionnyye nemetallicheskiye materialy v mashinostroyenii / Military Engineering. Issues 15. Composite Non-Metallic Materials in Mechanical Engineering*, 2010, vol. 15, no. 4(159), pp. 33–38 (in Russian).
68. T. A. Rudakova, Yu. M. Yevtushenko, Yu. A. Grigoryev, A. A. Batrakov. Ways of reducing the temperature of foaming in the system ammonium polyphosphate — pentaerythritol in intumescent systems. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 3, pp. 24–31 (in Russian).

69. A. N. Garashenko, A. V. Sukhanov, N. A. Garashenko, V. P. Rudzinskiy, S. S. Marakhovskiy. Fire protection of polymeric composite structures and its effectiveness estimation. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2009, vol. 18, no. 5, pp. 15–24 (in Russian).
70. A. N. Garashchenko, N. A. Garashchenko, V. P. Rudzinsky, A. V. Soukhanov, S. S. Marakhovsky, I. V. Teminovskiy. Fire safety of polymeric composite building structures. *Konstrukcii iz kompozitsionnykh materialov / Composite Materials Constructions*, 2010, no. 2, pp. 45–59 (in Russian).
71. V. P. Rudzinskiy, A. N. Garashchenko, N. A. Garashchenko. Thermotechnical calculations of two-dimensional temperature fields in polymer composite structures with intumescent fire protection. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 8, pp. 42–47 (in Russian).
72. A. N. Garashchenko, V. P. Rudzinsky, V. O. Kaledin. Use of fire protection for reducing fire hazard of polymer composites and structures on their basis. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskiye nauki / Izvestiya SFedU. Engineering Sciences*, 2013, no. 8(145), pp. 143–149 (in Russian).
73. V. P. Rudzinsky, A. N. Garashchenko. Numerical analysis of heat transfer in fire-protective coatings deformable upon heating. *EPJ Web of Conferences “Thermophysical Basis of Energy Technologies 2015”*, 2016, vol. 110, art. no. 01067. DOI: 10.1051/epjconf/201611001067.
74. A. N. Garashchenko, A. A. Berlin, A. A. Kulikov, I. Z. Dashtiev. Features of the creation of structures made of polymer composites in the presence of requirements for their fire safety indicators. *Voprosy oboronnay tekhniki. Seriya 15. Kompozitsionnyye nemetallicheskiye materialy v mashinostroyenii / Military Engineering. Issues 15. Composite Non-Metallic Materials in Mechanical Engineering*, 2018, no. 2(189), pp. 62–69 (in Russian).
75. A. N. Garashchenko, V. P. Rudzinsky, N. A. Garashchenko. Solving heat conduction problems in movable boundary domains under intensive physical-chemical transformation conditions. *EPJ Web of Conferences “Thermophysical Basis of Energy Technologies 2015”*, 2016, vol. 110, art. no. 01020. DOI: 10.1051/epjconf/201611001020.

Поступила 12.02.2019; после доработки 22.03.2019; принята к публикации 29.03.2019
Received 12 February 2019; received in revised form 22 March 2019; accepted 29 March 2019

Информация об авторах

ГАРАЩЕНКО Анатолий Никитович, д-р техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник Центрального научно-исследовательского института специального машиностроения, г. Хотьково Московской обл., Российская Федерация; e-mail: a.n.gar@mail.ru

БЕРЛИН Александр Александрович, д-р техн. наук, профессор, академик Российской академии наук, научный руководитель Института химической физики Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация

КУЛЬКОВ Александр Алексеевич, д-р техн. наук, профессор, первый заместитель директора и главного конструктора Центрального научно-исследовательского института специального машиностроения, г. Хотьково Московской обл., Российская Федерация

Information about the authors

Anatoliy N. GARASHCHENKO, Dr. Sci. (Eng.), Docent, Leading Researcher of Central Research Institute for Special Machinery, Khotkovo, Moscow Region, Russian Federation; e-mail: a.n.gar@mail.ru

Aleksandr A. BERLIN, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Scientific Director of the Semenov Institute of Chemical Physics of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

Aleksandr A. KULKOV, Dr. Sci. (Eng.), Professor, First Deputy of General Director and Chief Designer, Central Research Institute for Special Machinery, Khotkovo, Moscow Region, Russian Federation

Особенности исследования полиуретана при поджогах

© Г. В. Плотникова^{1(✉)}, К. А. Кузнецов², С. Ф. Малышева³

¹ Восточно-Сибирский институт МВД России (Россия, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 110)

² Судебно-экспертное учреждение Федеральной противопожарной службы "Испытательная пожарная лаборатория" по Иркутской области (Россия, 664009, г. Иркутск, ул. Култукская, 10)

³ Иркутский институт химии им. А. Е. Фаворского СО РАН (Россия, 664033, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1)

РЕЗЮМЕ

Введение. Для интенсификации горения в большинстве случаев злоумышленниками применяются инициаторы горения — доступные и дешевые нефтепродукты (бензин, дизельное топливо, моторные масла или их смеси). Чтобы установить причину криминального пожара, необходимо определить наличие инициатора горения на месте пожара. Исследование проводилось с целью установления мешающего влияния продуктов разложения объекта-носителя на определение наличия дизельного топлива.

Материалы и методы. В качестве объекта-носителя был выбран полиуретан (обивка автомобильных кресел), который способен адсорбировать на своей поверхности жидкость, в качестве инициатора горения — дизельное топливо как наиболее распространенный инициатор горения. Для исследования применялся метод флуоресцентной спектроскопии.

Результаты исследования и их обсуждение. Пробы полиуретана с дизельным топливом на поверхности и без него обжигались в муфельной печи при температурах от 200 до 300 °С в течение 5–20 мин. После обжига проводилось экстрагирование измельченных проб, и на флуориметре снимались спектры флуоресценции.

Выводы. Анализ результатов исследований показал, что при нагревании образцов полиуретана, обработанного дизельным топливом, до 250 °С включительно в течение 5, 10, 15 и 20 мин возможна идентификация инициатора горения как сильно выгоревшего дизельного топлива. При нагревании образцов полиуретана до температуры выше 250 °С идентификация инициатора горения как сильно выгоревшего дизельного топлива невозможна.

Ключевые слова: полиуретан; инициатор горения; флуоресцентный анализ; моноароматические углеводороды; биароматические углеводороды; светлые нефтепродукты; люминесценция; дизельное топливо.

Для цитирования: Плотникова Г. В., Кузнецов К. А., Малышева С. Ф. Особенности исследования полиуретана при поджогах // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2019. — Т. 28, № 2. — С. 31–38. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.02.31-38.

✉ Плотникова Галина Викторовна, e-mail: plotnikovagv@mail.ru

Введение

Количество поджогов в России год от года растет угрожающими темпами. В результате этого преступного деяния уничтожаются автомобили, недвижимость, документы. Более того, жертвами поджога становятся люди [1]. В настоящее время поджог в России относится к наиболее доступному и простому методу сведения счетов, устрашения, давления на конкурента или иное неугодное лицо. "Количество поджогов неуклонно увеличивается, так как вероятность раскрытия преступления после пожара, уничтожающего, по мнению злоумышленника, все следы, значительно снижается. Подобная тенденция ведет к неукоснительному росту нераскрытых пожаров, поскольку вместе с ростом популярности поджогов среди криминальных элементов растет и мастерство поджигателей, совершенствуются их методы, применяются новые поджигающие вещества" [2].

Занесение открытого источника огня с применением инициаторов горения следует отнести к социально опасным причинам пожара. Проблема определения инициаторов горения становится все более

актуальной, при этом роль пожарно-технического эксперта является ключевой, так как от его грамотных и быстрых действий зависит успех дальнейшего расследования.

Наличие нескольких очагов, быстрое распространение горения, нехарактерное для имеющихся на объекте горючих материалов, может быть следствием применения инициаторов горения, чаще всего легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ), реже горючих (ГЖ), которые и используются преступниками в качестве средств поджога [2].

Многие специалисты считают, "что главным фактором, который определяет частоту применения тех или иных легковоспламеняющихся и горючих жидкостей в качестве инициаторов горения, является их распространенность и доступность для поджигателей, основная масса которых использует первое, что попадает под руку. Именно поэтому часто применяются так называемые светлые нефтепродукты — бензины, керосин, дизельные топлива. За последние три-четыре года поджигатели используют для совершения преступления дизельные топлива, авто-

мобильные бензины, но наиболее часто применяют смеси ЛВЖ и ГЖ (смесь автомобильного бензина с дизельным топливом, моторным маслом: смесь моторного масла с дизельным топливом и смесевым растворителем)” [2, 3].

Установление очага и причины любого пожара — задача сложная и требует от специалиста высокой квалификации. Одной из главных задач эксперта при идентификации инициаторов горения является обнаружение их в зоне очага пожара, установление их причастности к возникновению горения, определение компонентного состава. Задача трудноразрешимая, так как в условиях развившегося пожара обнаружить следы инициаторов горения затруднительно ввиду их быстрого выгорания, но есть возможность определить их на объектах-носителях. В качестве таких объектов выступают твердые материалы, на поверхности которых адсорбируются остатки ЛВЖ или ГЖ [3]. Одним из таких материалов является полиуретан, широко распространенный как в быту, так и в промышленности.

На основе полиуретанов получают всевозможные типы материалов и изделий: наполненные, армированные, вспененные, ламинированные, в виде плит, листов, блоков, профилей, волокон, пленок. Благодаря разнообразию форм, которые могут принимать полиуретаны — от мягких пенопластов до твердых материалов с различными свойствами, они применяются в производстве продукции для автомобильной и электронной промышленности, товаров бытового назначения, в составе изоляционных материалов и т. п.

Изделия и конструкции на основе полиуретанов широко применяются во всех отраслях промышленности без исключения [4–7], что обуславливает большую вероятность их использования в качестве объектов для поджога с применением инициаторов горения.

Полиуретаны относятся к материалам, на поверхности которых могут адсорбироваться инициаторы горения при поджогах. Исследование полиуретана в качестве объекта-носителя, на котором адсорбировались остатки ЛВЖ или ГЖ, позволит получить значимую информацию о причинах возникновения пожара.

Выбор в качестве объекта исследования полиуретана, широко применяемого для обивки автомобильных кресел, обусловлен тем фактором, что автомобили (в том числе автомобильные кресла) часто становятся объектами поджогов. Выбор дизельного топлива для исследования связан с частым применением его злоумышленниками в качестве средства поджога ввиду доступности и низкой стоимости.

При горении большинство полимерных материалов разлагается с выделением различных продук-

тов разложения. Полиуретаны не являются исключением. Выделяющиеся продукты горения могут повлиять на результаты определения следов и вида инициатора горения.

Актуальность темы исследования состоит в том, что мешающее влияние продуктов разложения полиуретана на идентификацию инициаторов горения, применяемых при поджоге, ранее не изучалось. Во всяком случае материалов о мешающем влиянии продуктов разложения полиуретана на результаты определения наличия и вида инициаторов горения не обнаружено.

Целью настоящей работы является исследование влияния продуктов термического разложения полиуретана на обнаружение и идентификацию инициаторов горения.

В соответствии с поставленной целью решались следующие задачи:

- изучение свойств полиуретана и его поведения в условиях пожара;
- изучение методов исследования инициаторов горения и выбор наиболее оптимального;
- исследование экстрактивных компонентов обугленных остатков полиуретана методом флуоресцентной спектроскопии.

В качестве объектов исследования использовались образцы полиуретана, применяемого для обивки автомобильных кресел, обработанные инициатором горения.

Материалы и методы

При проведении пожарно-технической экспертизы применяются различные методы исследования. Для обнаружения следов нефти и нефтепродуктов широко используются методы газовой, газожидкостной, тонкослойной хроматографии, инфракрасной, флуоресцентной спектроскопии, полевые методы исследования и др. [8–19].

Метод флуоресцентной спектроскопии является “быстрым, простым и, вместе с тем, очень чувствительным методом обнаружения легковоспламеняющихся и горючих жидкостей в объектах, изымаемых с мест пожара” [2, 3].

Способность нефти, отдельных нефтяных фракций и нефтепродуктов, например дизельного топлива, люминесцировать известна давно. Этот эффект активно используется не только в науке, но и в технике, медицине, экологии [12–22], например при обнаружении нефти и нефтяных пластов в геологии, нефтепродуктов (НП) в природных и сточных водах, исследовании лекарственных препаратов, производстве анализов в аналитических природоохранных лабораториях и т. п.

При длине волны возбуждающего света 255 нм в области 270–300 нм люминесцируют моноаромати-

ческие углеводороды (МАУ) — гомологи бензола, главным образом ди- и тризамещенные алкилбензолы; в области 300–330 нм — бициклические ароматические углеводороды (БАУ) — дифенил, гомологи нафталина, в том числе моно-, ди-, три- и тетразамещенные, и т. д. Длина волны флуоресценции ароматических углеводородов и ее интенсивность увеличиваются с возрастанием числа колец и сопряженных двойных связей [2, 3].

Из составных компонентов ЛВЖ (ГЖ) способностью флуоресцировать под действием ультрафиолетовых лучей обладают ароматические углеводороды: бициклические ароматические углеводороды, трициклические ароматические углеводороды (ТАУ), полициклические ароматические углеводороды (ПАУ). Возможна флуоресценция асфальтово-смолистых компонентов — продуктов пиролиза исходных ЛВЖ, а также объектов-носителей органической природы. К таким веществам и материалам относится дизельное топливо как инициатор горения и полиуретан как объект-носитель [2, 3].

Экспериментальные исследования проводились в соответствии с методом, изложенным в [23].

Для исследования использовали полиуретан, предварительно нарезанный на образцы размером 50×50 мм (рис. 1).

Были подготовлены и испытаны образцы полиуретана без нанесения на поверхность дизельного топлива по три образца на каждый момент времени при заданной температуре и образцы, на поверхность которых было нанесено по 0,5 мл дизельного топлива по три образца на каждый момент времени при заданной температуре. Полученные образцы обжигались в муфельной печи (рис. 2) при температурах от 200 до 300 °С в течение 5, 10, 15 и 20 мин.

Обугленные остатки полиуретана (рис. 3) были отобраны для дальнейшего исследования методом флуоресцентной спектроскопии.

Подготовка проб для исследования проводилась путем растворения остатков ЛВЖ в подходящем для этой цели органическом растворителе (гексан). Гексан не способен флуоресцировать, поэтому его применяют при исследовании методом флуоресцентного анализа.



Рис. 1. Образец полиуретана



Рис. 2. Муфельная печь



Рис. 3. Обугленные образцы полиуретана после обжига при $t = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение: 1 — 5 мин; 2 — 10 мин; 3 — 15 мин; 4 — 20 мин



Рис. 4. Встряхивание измельченного образца с остатками инициатора горения



Рис. 5. Фильтрование экстрактов

Измельченный полиуретан (без инициатора и с инициатором горения) помещали в плоскодонную колбу с притертой пробкой и заливали минимально необходимым количеством гексана таким образом, чтобы проба была покрыта растворителем, и в течение примерно 0,5 ч подвергали встряхиванию (рис. 4).

Необходимой стадией подготовки проб является фильтрация подготовленных к исследованию экстрактов (рис. 5).

Спектрофлуориметрическое исследование анализируемых проб проводили на спектрофлуориметре «Флюорат-02-Панорама» (ТУ 4321-001-20506233-94). Анализируемые пробы в объеме 5 мкл с помощью микрошприца помещали в кювету вместимостью 3 мл, заполненную на 3/4 гексаном, и перемешивали. Условия съемки спектров флуоресценции были следующими: спектральный диапазон измерений — 270–450 нм, длина волны возбуждения — 255 нм, шаг сканирования — 1 нм, число вспышек — 25, чувствительность — низкая.

Результаты исследования и их обсуждение

Для того чтобы выделить области основных максимумов спектра флуоресценции, необходимо найти по табл. 7 ([23], с. 51) комбинацию областей максимумов флуоресценции, характерную для спектра флуоресценции исследуемого объекта, и отнести анализируемый объект к соответствующему этой комбинации классу (разновидности) ЛВЖ или ГЖ.

На рис. 6 представлен спектр, на котором наблюдается интенсивный пик в области 270–290 нм, в которой люминесцируют МАУ. Интенсивность флуоресценции составляет 0,15 отн. ед. Указанный пик при данной интенсивности соответствует спектру флуоресценции чистого гексана.

На рис. 7 представлен спектр флуоресценции дизельного топлива, в котором наблюдается максимум в области 300–330 нм. Наличие данного пика свидетельствует о присутствии в пробе бициклических ароматических углеводородов, например дифенила и гомологов нафталина. Интенсивность флуоресценции составляет 21 отн. ед.

Спектр флуоресценции полиуретана, не подвергнувшегося термическому воздействию, приведен на рис. 8.

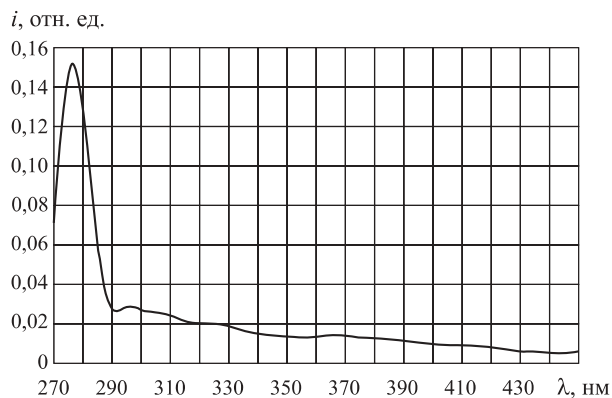


Рис. 6. Спектр флуоресценции чистого гексана: λ — длина волны, нм; i — интенсивность флуоресценции

На рис. 9 представлен спектр флуоресценции обугленного образца полиуретана после обжига при температуре 200 °С в течение 5 мин.

Изучение спектров, представленных на рис. 8 и 9, показало следующее. В спектре образца чистого полиуретана (см. рис. 8) наблюдается пик максимальной флуоресценции в области 370–385 нм, в которой люминесцируют ТАУ (например, фенантрен). В спектре обугленного образца полиуретана (см. рис. 9) наблюдается плечо максимальной флуоресценции в обла-

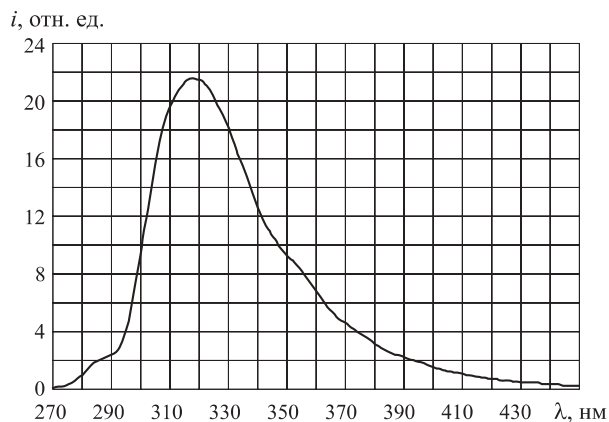


Рис. 7. Спектр флуоресценции дизельного топлива

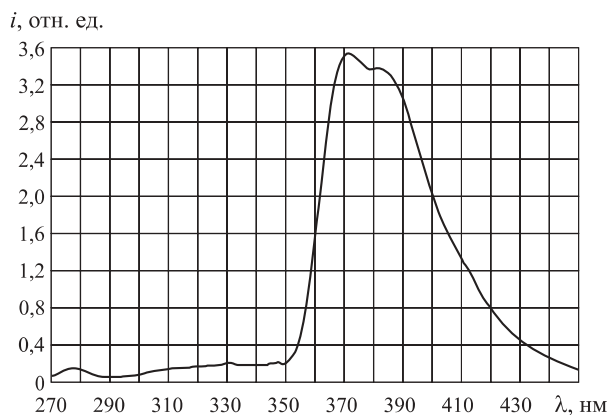


Рис. 8. Спектр флуоресценции чистого полиуретана при комнатной температуре

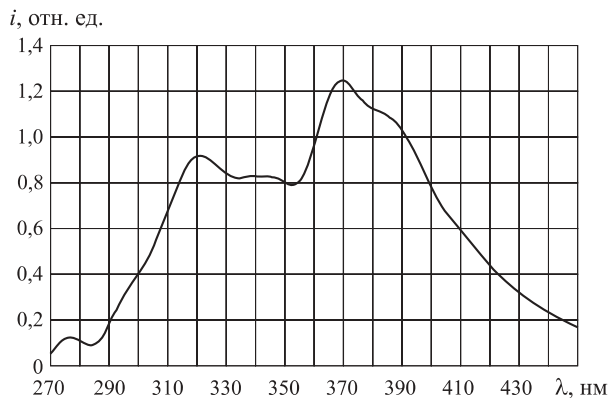


Рис. 9. Спектр флуоресценции обугленного полиуретана после обжига при $t = 200$ °С в течение 5 мин

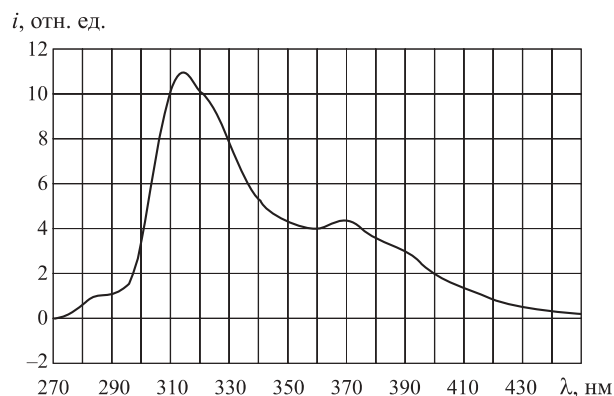


Рис. 10. Спектр образца обугленного полиуретана с дизельным топливом после обжига при $t = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 5 мин

сти 310–330 нм, соответствующей люминесценции БАУ, и пики максимальной флуоресценции в области 360–380 нм, характерной для люминесценции ТАУ. Интенсивность флуоресценции в спектре чистого полиуретана (см. рис. 8) составляет 3,6 отн. ед., в спектре обугленного полиуретана (см. рис. 9) — 1,25 отн. ед. Полученные результаты свидетельствуют об уменьшении содержания ТАУ и появлении БАУ в спектре обугленного полиуретана (см. рис. 9).

На рис. 10 показан спектр флуоресценции образца полиуретана с нанесенным на него дизельным топливом после обжига при температуре $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 5 мин.

В спектре обугленного образца полиуретана с дизельным топливом (см. рис. 10) наблюдаются пики максимальной флуоресценции в области 300–330 нм, соответствующей люминесценции БАУ, в области 360–380 нм, характерной для люминесценции ТАУ, и пик небольшой интенсивности в области 285 нм, характерной для люминесценции МАУ. Интенсивность флуоресценции в спектре на рис. 9 составляет 1,25 отн. ед., в спектре на рис. 10 — 11 отн. ед., что свидетельствует об увеличении содержания БАУ и уменьшении ТАУ в спектре на рис. 10. Согласно табл. 7 ([23], с. 51) обнаруженные в спектре на рис. 10 пики флуоресценции в области БАУ и ТАУ позволяют идентифицировать инициатор горения как сильно выгоревшее дизельное топливо.

На рис. 11 представлены спектры флуоресценции образцов полиуретана, не содержащих дизельное топливо и обработанных им, после нагревания в муфельной печи в течение 10 мин при температуре $200\text{ }^{\circ}\text{C}$.

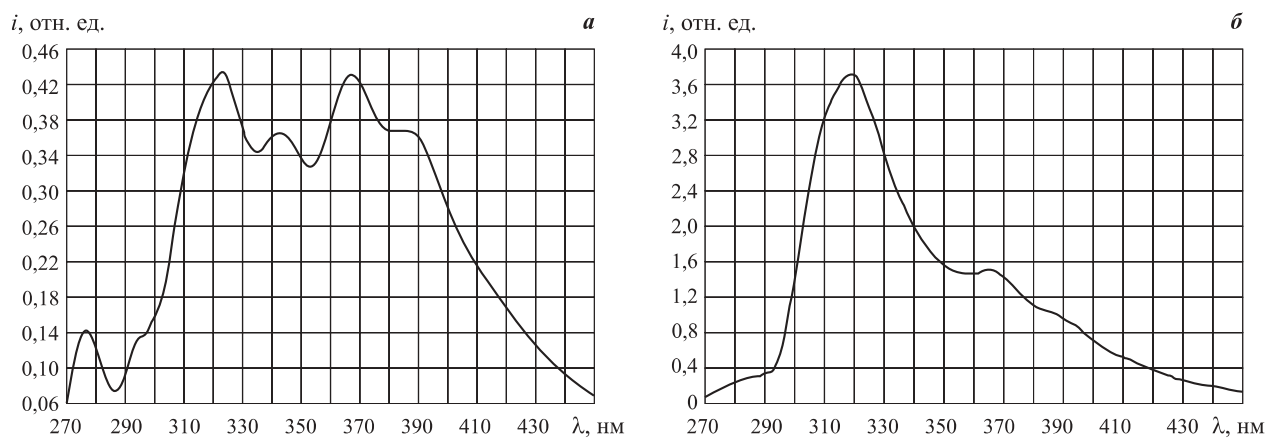


Рис. 11. Спектр флуоресценции обугленного полиуретана чистого (а) и с дизельным топливом (б) после обжига при $t = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 10 мин

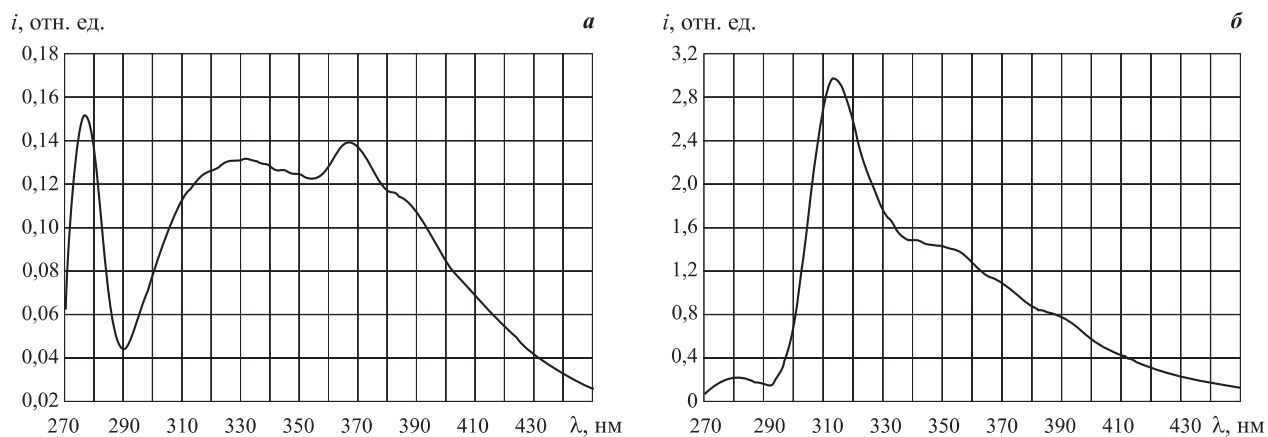


Рис. 12. Спектр флуоресценции обугленного полиуретана чистого (а) и с дизельным топливом (б) после обжига при $t = 250\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 20 мин



Рис. 13. Вспышка при нагревании полиуретана

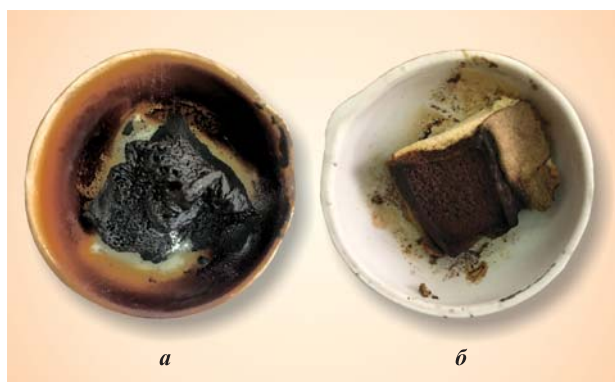


Рис. 14. Образец полиуретана после обжига при температуре 500 °С в течение 3 мин: а — с дизельным топливом; б — без дизельного топлива

В спектре обугленного полиуретана (см. рис. 11,а) наблюдаются пики максимальной флуоресценции в областях 315–330 и 335–355 нм, соответствующих люминесценции БАУ, а также в области 360–380 нм, характерной для люминесценции ТАУ.

В спектре обугленного полиуретана с дизельным топливом (рис. 11,б) наблюдаются пики максимальной флуоресценции в области 310–325 нм, в которой люминесцируют БАУ, и в области 360–375 нм, характерной для люминесценции ТАУ. Интенсивность флуоресценции в спектре на рис. 11,а составляет 0,44 отн. ед., в спектре на рис. 11,б — 3,7 отн. ед., что свидетельствует об увеличении содержания БАУ и уменьшении ТАУ в спектре обугленного полиуретана с дизельным топливом. Обнаруженные в спектре на рис. 11,б пики флуоресценции в области БАУ и ТАУ позволяют идентифицировать инициатор горения как сильно выгоревшее дизельное топливо ([23], с. 51, табл. 7).

Спектры флуоресценции образцов полиуретана, необработанных и обработанных дизельным топливом, после обжига при температуре 250 °С в течение 20 мин представлены на рис. 12.

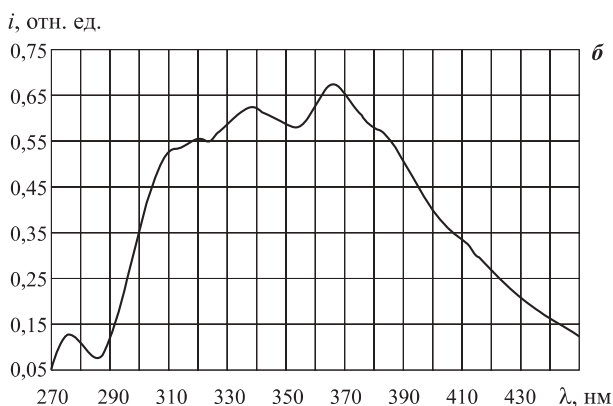
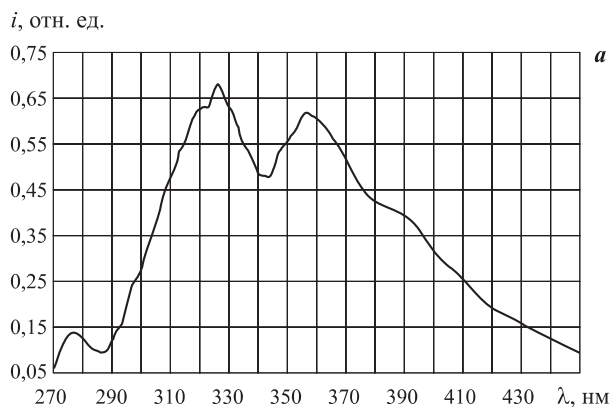


Рис. 15. Спектр обугленного полиуретана чистого (а) и с дизельным топливом (б) после обжига при температуре 500 °С в течение 3 мин

В спектре флуоресценции обугленного полиуретана (рис. 12,а) наблюдаются пики в области 315–345 нм, соответствующей люминесценции БАУ, и в области 360–375 нм, характерной для люминесценции ТАУ. Интенсивность флуоресценции составляет 0,15 отн. ед. Так как интенсивность флуоресценции ниже 0,25 отн. ед., данный результат, как считается, относится к фоновым загрязнениям.

В спектре флуоресценции обугленного полиуретана с дизельным топливом (рис. 12,б) наблюдаются пики максимальной флуоресценции в области 310–325 нм, в которой люминесцируют БАУ, и в области 340–375 нм, характерной для люминесценции ТАУ. Интенсивность флуоресценции в спектре на рис. 12,а составляет 0,15 отн. ед., в спектре на рис. 12,б — 3,0 отн. ед., что свидетельствует об увеличении количества БАУ и уменьшении ТАУ в спектре на рис. 12,б. Согласно табл. 7 [23] обнаруженные в спектре на рис. 12,б пики флуоресценции в области БАУ и ТАУ позволяют идентифицировать инициатор горения как сильно выгоревшее дизельное топливо.

При нагревании образцов полиуретана с дизельным топливом при температуре 300 °С через 3 мин внутри муфельной печи произошла вспышка, которая сопровождалась несколькими хлопками, темпе-

ратура резко увеличилась до 500 °С (рис. 13), произошло самовоспламенение паров дизельного топлива и продуктов горения полиуретана. Полиуретан выгорел с образованием пористого остатка черного цвета.

На рис. 14 показаны образцы полиуретана без добавок дизельного топлива и с добавкой инициатора горения после выдержки в муфельной печи при 500 °С в течение 3 мин.

Анализ полученных спектров (рис. 15) показывает следующее.

В спектре флуоресценции обугленного полиуретана (см. рис. 15,а) наблюдаются пики в области 315–335 нм, в которой люминесцируют БАУ, и в области 350–370 нм, характерной для люминесценции ТАУ. Интенсивность флуоресценции составляет соответственно 0,68 и 0,63 отн. ед.

В спектре обугленного полиуретана с дизельным топливом (рис. 15,б) наблюдаются пики в области 310–340 нм, в которой люминесцируют БАУ, и в области 360–375 нм, характерной для люминесценции ТАУ, которые также наблюдаются в спектре полиуретана. Максимальная интенсивность флуоресценции при этом составляет соответственно 0,6 и 0,68 отн. ед. Таким образом, при сравнении спектров флуоресценции, представленных на рис. 15, можно

сделать вывод, что идентифицировать инициатор горения как дизельное топливо в этом случае не представляется возможным.

Выводы

1. Анализ полученных результатов исследований показал, что при нагревании образцов полиуретана до 250 °С включительно и выдержке в муфельной печи в течение 5, 10, 15 и 20 мин возможна идентификация инициатора горения как сильно выгоревшего дизельного топлива.

2. При нагревании образцов полиуретана до температуры выше 250 °С идентификация инициатора горения как сильно выгоревшего дизельного топлива невозможна.

3. При нагревании образцов полиуретана с дизельным топливом до температуры 250 °С продукты разложения полиуретана не мешают идентификации инициатора горения.

4. При нагревании образцов полиуретана с дизельным топливом до 300 °С происходит воспламенение образцов с резким повышением температуры до 500 °С. По полученным спектрам флуоресценции установить инициатор горения в данном случае не представляется возможным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пожары и пожарная безопасность в 2016 году : стат. сб. / Под общ. ред. Д. М. Гордиенко. — М. : ВНИИПО, 2017. — 124 с.
2. Чешко И. Д., Галишев М. А., Шарапов С. В., Кривых Н. Н. Техническое обеспечение расследования поджогов, совершенных с применением инициаторов горения. — М. : ВНИИПО, 2002. — 120 с.
3. Воронцова А. А., Калашиников Д. В., Липский А. А., Эсатов О. А. Проблемы и перспективы использования пожарно-техническими специалистами современных способов обнаружения и исследования средств для поджога // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. — 2017. — № 2. — С. 72–77. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_29344433_42880380.pdf (дата обращения: 07.02.2019).
4. Балакин В. М., Галлямов А. А., Гарифуллин Д. Ш., Абдуллина К. Д. Фосфорсодержащие антипирены для древесины на основе продуктов аминолитиза полиуретанов // Известия ЮФУ. Технические науки. — 2013. — № 8(145). — С. 98–105. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_20214763_82156503.pdf (дата обращения: 05.02.2019).
5. Ксенофонтов М. А. Пенополиуретаны. Структура и свойства // Вестник БГУ. Сер. 1: Физика. Математика. Информатика. — 2011. — № 3. — С. 48–52. URL: <http://www.elib.bsu.by/bitstream/123456789/29937/1/48-52.pdf> (дата обращения: 05.02.2019).
6. Дмитриенко С. Г., Аняри В. В. Пенополиуретаны. Сорбционные свойства и применение в химическом анализе. — М. : URSS, 2010. — 264 с.
7. Бесчастных А. Н., Чешко И. Д., Андреева Е. Д., Сиротинкин Н. В. Экспертное исследование после пожара остатков пенополиуретанов // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2004. — Т. 13, № 1. — С. 80–86.
8. Хроматографические методы в экспертизе пожаров. URL: <https://poznayka.org/s87402t1.html> (дата обращения: 10.02.2019).
9. Bonetti J., Quarino L. Comparative forensic soil analysis of New Jersey State Parks using a combination of simple techniques with multivariate statistics // Journal of Forensic Sciences. — 2014. — Vol. 59, No. 3. — P. 627–636. DOI: 10.1111/1556-4029.12375.
10. Шеков А. А., Плотникова Г. В. Факторы, влияющие на обнаружение и идентификацию интенси-фикаторов горения методом газовой хроматографии // Эксперт-криминалист. — 2019. — № 1. — С. 36–38.

11. *Fettig I., Krüger S., Deubel J. H., Werrel M., Raspe T., Piechotta C.* Evaluation of a headspace solid-phase microextraction method for the analysis of ignitable liquids in fire debris // *Journal of Forensic Sciences*. — 2014. — Vol. 59, No. 3. — P. 743–749. DOI: 10.1111/1556-4029.12342.
12. *Захаров А. А., Сошина Н. Л., Нагорный Р. В.* Применение метода флуоресцентной спектроскопии и газожидкостной хроматографии для установления причин пожаров // *Auditorium*. — 2017. — № 3(15). — С. 97–103. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_30450106_11677834.pdf (дата обращения: 01.02.2019).
13. *Илларионова Е. А., Сыроватский И. П.* Метод флуориметрии. Применение в фармацевтическом анализе. — Иркутск : ИГМУ, 2017. — 41 с.
14. *Ueno T., Nagano T.* Fluorescent probes for sensing and imaging // *Nature Methods*. — 2011. — Vol. 8, Issue 8. — P. 642–645. DOI: 10.1038/nmeth.1663.
15. *Клантюк И. В., Чешко И. Д.* Обнаружение следов светлых нефтепродуктов на месте пожара при поджогах // *Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС службы МЧС России*. — 2012. — № 3. — С. 38–43.
16. *Беккер Ю.* Спектроскопия / Пер. с нем. — М. : Техносфера, 2009. — 528 с.
17. *Wysocki L. M., Lavis L. D.* Advances in the chemistry of small molecule fluorescent probes // *Current Opinion in Chemical Biology*. — 2011. — Vol. 15, Issue 6. — P. 752–759. DOI: 10.1016/j.cbpa.2011.10.013.
18. *Chen X., Pradhan T., Wang F., Kim J. S., Yoon J.* Fluorescent chemosensors based on spiroring-opening of xanthenes and related derivatives // *Chemical Reviews*. — 2012. — Vol. 112, Issue 3. — P. 1910–1956. DOI: 10.1021/cr200201z.
19. *Grimm J. B., Heckman L. M., Lavis L. D.* The chemistry of small-molecule fluorogenic probes // *Progress in molecular biology and translational science* / May C. M. (ed.). — USA : Academic Press, 2013. — Vol. 113. — P. 1–34. DOI: 10.1016/B978-0-12-386932-6.00001-6.
20. *Boens N., Leen V., Dehaen W.* Fluorescent indicators based on BODIPY // *Chemical Society Reviews*. — 2012. — Vol. 41, Issue 3. — P. 1130–1172. DOI: 10.1039/c1cs15132k.
21. *Drummen G. P. C.* Fluorescent probes and fluorescence (microscopy) techniques — Illuminating biological and biomedical research // *Molecules*. — 2012. — Vol. 17, Issue 12. — P. 14067–14090. DOI: 10.3390/molecules171214067.
22. *Ettinger A., Wittmann T.* Fluorescence live cell imaging // *Methods in Cell Biology* / Wilson L., Tran P. (eds.). — USA : Academic Press, 2014. — Vol. 123. — P. 77–94. DOI: 10.1016/b978-0-12-420138-5.00005-7.
23. *Чешко И. Д., Принцева М. Ю., Яценко Л. А.* Обнаружение и установление состава легковоспламеняющихся и горючих жидкостей при поджогах : метод. пособие. — М. : ВНИИПО, 2010. — 90 с.

Поступила 07.02.2019; после доработки 25.03.2019; принята к публикации 29.03.2019

Информация об авторах

ПЛОТНИКОВА Галина Викторовна, канд. хим. наук, доцент, доцент кафедры пожарно-технической экспертизы, Восточно-Сибирский институт МВД России, г. Иркутск, Российская Федерация; e-mail: plotnikovagv@mail.ru

КУЗНЕЦОВ Константин Леонидович, канд. хим. наук, начальник Судебно-экспертного учреждения Федеральной противопожарной службы “Испытательная пожарная лаборатория” по Иркутской области, г. Иркутск, Российская Федерация; e-mail: kuznets84@inbox.ru

МАЛЫШЕВА Светлана Филипповна, д-р хим. наук, ведущий научный сотрудник, Иркутский институт химии им. А. Е. Фаворского СО РАН, г. Иркутск, Российская Федерация; e-mail: mal@irioch.irk.ru

Features of the polyurethane study as a result of arson attacks

© Galina V. Plotnikova¹, Konstantin L. Kuznetsov²,
Svetlana F. Malysheva³

- 1 Eastern-Siberian Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation (Lermontova St., 110, Irkutsk, 664074, Russian Federation)
- 2 Judicial and Expert Establishment Fire-Fighting Service "Testing Fire Laboratory" across Irkutsk Region (Kultuksaya St., 10, Irkutsk, 664009, Russian Federation)
- 3 A. E. Favorsky Irkutsk Institute of Chemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Favorskogo St., 1, Irkutsk, 664033, Russian Federation)

ABSTRACT

Introduction. In most cases, the attackers use combustion initiators — affordable and cheap oil products (gasoline, diesel fuel, engine oils, or their mixtures) to intensify combustion. In order to establish the cause of a criminal fire, it is necessary to determine the presence of a fire initiator at the fire site. The study has been conducted in order to establish the interfering effect of decomposition products of the carrier object on the determination of the presence of diesel fuel.

Materials and methods. Polyurethane (car upholstery), which is able to adsorb liquid on its surface, was chosen as the carrier object, and diesel fuel was used as the combustion initiator, as the most common combustion initiator. The method of fluorescence spectroscopy was used in the study process.

Study results and discussion. Polyurethane samples with diesel fuel on its surface and without it were burned in a muffle furnace at temperatures from 200 to 300 °C for 5–20 min. After firing, the crushed samples were extracted, and fluorescence spectra were measured with the help of fluorimeter.

Conclusion. Analysis of the study results showed that when heating polyurethane samples covered with diesel fuel, it is possible to identify the combustion initiator as a strongly burned diesel fuel up to 250 °C inclusive for 5, 10, 15, and 20 min. When polyurethane samples are heated to temperatures above 250 °C, the identification of the combustion initiator as highly burnt diesel fuel is impossible.

Keywords: polyurethane; arson attack; combustion initiator; fluorescence analysis; monoaromatic hydrocarbons; biaromatic hydrocarbons; light oil products; luminescence; diesel fuel.

For citation: G. V. Plotnikova, K. L. Kuznetsov, S. F. Malysheva. Features of the polyurethane study as a result of arson attacks. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2019, vol. 28, no. 2, pp. 39–46. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.02.39-46.en.

 Galina Viktorovna Plotnikova, e-mail: plotnikovagv@mail.ru

Introduction

In Russia, the number of arson attacks is increasing at an alarming rate from year to year. Cars, real estate, documents are destroyed as a result of this criminal act. Moreover, people become victims of arson attacks [1]. Nowadays, an arson attack in Russia is one of the most accessible and simple method of settling accounts, intimidation, putting pressure on a competitor or other persona non grata. "The number of arson attacks is steadily increasing, since the probability of solving a crime after a fire, which destroys all traces, in attacker's opinion, is significantly reduced. This trend leads to a rigorous growth of undiscovered fires, as along with the growing popularity of arson attacks among criminal elements, the skill of the arsonists is growing, their methods are improved, new igniting substances are used" [2].

The bringing of an open fire source with the use of combustion initiators should be attributed to socially dangerous causes of fire. The problem of determining

the combustion initiators is becoming ever more important, and a fire-technical expert plays the key role, since the success of further investigation depends on his/her competent and quick actions.

The presence of several fire areas, the rapid spread of combustion, uncharacteristic for combustible materials, which are present at the facility, may be a consequence of the use of combustion initiators, they are typically highly flammable liquid (HFL), less often flammable liquid (FL), which are used by criminals as a mean for an arson attack [2].

Many experts believe that "the main factor that determines the frequency of use of certain highly flammable and flammable liquids as combustion initiators is their prevalence and accessibility to arsonists, the majority of whom use the first thing that is ready at hand. That is why so-called light oil products are often used — gasolines, kerosene, diesel fuels. Over the past three to four years, the arsonists use diesel fuels and motor

gasolines to commit a crime, but most often they use mixtures of HFL and FL (mixture of motor gasoline with diesel fuel and engine oil: a mixture of engine oil with diesel fuel and mixed solvent)” [2, 3].

Establishing the source and causes of any fire is a complex task and requires highly qualified specialists. One of the main tasks of the expert in identifying the combustion initiators is to detect them in the fire area, to establish their involvement in the beginning of combustion, to determine the component composition. The task is difficult to solve, since it is difficult to detect traces of combustion initiators in the conditions of a developed fire due to its fast burning out, but it is possible to identify them on carrier objects. Such objects are solid materials on the surface of which residues of HFL or FL are adsorbed [3]. One of such materials is polyurethane, which is widespread both in everyday life and in industry.

Various types of materials and products are produced on the basis of polyurethane: filled, reinforced, foamed, laminated, in the form of plates, sheets, blocks, profiles, fibers, films. Due to the variety of forms that polyurethanes can take — from soft foams to hard materials with different properties, they are used in the manufacture of products for the automotive and electronic industries, household goods, as a part of insulation materials, etc.

Polyurethane-based products and structures are widely used in all industries without exception [4–7], which causes a high probability of their use as objects for an arson attack with the use of combustion initiators.

Polyurethanes are materials on the surface of which combustion initiators can be adsorbed during an arson attack. The study of polyurethane as a carrier object, which adsorbed the remnants of flammable liquids or FL, will provide significant information about the causes of the fire.

The choice of polyurethane as a study subject, which is widely used for car upholstery, is due to the fact that cars (including car seats) are often the targets of arson attacks. The choice of diesel fuel for study is connected with its frequent use by attackers as a means of an arson attack due to its availability and low cost.

When burning, most polymeric materials decompose with the release of various decomposition products. Polyurethanes are no exception. The released combustion products can affect the results of determining the presence or type of combustion initiator.

The relevance of the study topic is that the interfering effect of polyurethane decomposition products on the identification of combustion initiators used during an arson attack has not been previously studied. In any case, materials on the interfering effect of the decomposition products of polyurethane on the results of determining the presence and type of combustion initiators has not been found.

The purpose of this work is to study the effect of polyurethane thermal decomposition products on the detection and identification of combustion initiators.

In accordance with the goal, the following tasks were solved:

- study of the properties of polyurethane and its behavior in fire conditions;
- study of research methods for combustion initiators and the selection of the most optimal one;
- study of the extractive components of carbonized polyurethane residues by fluorescence spectroscopy.

Some samples of polyurethane used for upholstery of car seats covered with the combustion initiator were used as study objects.

Materials and methods

When conducting a fire investigation, various research methods are used. Gas, gas-liquid, thin layer chromatography, infrared, fluorescence spectroscopy, field research methods, etc. are widely used to detect traces of oil and oil products [8–19].

The method of fluorescence spectroscopy is “a fast, simple and, at the same time, a very sensitive method of detecting highly flammable and flammable liquids in objects taken from fire sites” [2, 3].

The ability of oil, separate petroleum fractions and petroleum products, such as diesel fuel, to luminesce has been known for a long time. This effect is actively used not only in science, but also in engineering, medicine, and ecology [12–22], for example, in the detection of oil and oil reservoirs in geology, oil products (OP) in natural and waste waters, the study of drugs, the carrying out of analyzes in analytical environmental laboratories, etc.

At an excitation light wavelength of 255 nm in range of 270–300 nm, monoaromatic hydrocarbons (MH) luminesce — benzene homologues, mainly di- and tri-substituted alkyl benzenes; in the range of 300–330 nm — bicyclic aromatic hydrocarbons (BAH) — diphenyl, naphthalene homologues, including mono-, di-, tri- and tetrasubstituted, etc. The fluorescence wavelength of aromatic hydrocarbons and its intensity increase with increasing number of rings and conjugated double bonds [2, 3].

Aromatic hydrocarbons have the ability to fluoresce under the action of ultraviolet rays, from among the constituent components of HFL (FL): bicyclic aromatic hydrocarbons, tricyclic aromatic hydrocarbons (TAH), polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH). Fluorescence of asphalt-resinous components is possible — products of the pyrolysis of the original HFL, as well as organic carrier objects. Such substances and materials include diesel fuel as a combustion initiator and polyurethane as a carrier object [2, 3].



Fig. 1. Polyurethane sample



Fig. 2. Muffle furnace



Fig. 3. Charred at $t = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ polyurethane samples: 1 — 5 min; 2 — 10 min; 3 — 15 min; 4 — 20 min

Experimental studies were conducted in accordance with the method set out in [23].

Polyurethane pre-cut into samples with dimensions of $50 \times 50\text{ mm}$ was used for the study (Fig. 1).

Polyurethane samples were prepared and tested without covering their surface with diesel fuel, there were three samples at each time point at a given temperature, as well as samples covered with 0.5 ml of diesel fuel, there were three samples at each time point at given temperature.

The samples obtained were fired in a muffle furnace (Fig. 2) at temperatures from 200 to $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ for 5, 10, 15, and 20 min.

Charred polyurethane residues (Fig. 3) were selected for further study by fluorescence spectroscopy.

Sample preparation for the study was carried out by dissolving residues of HFLs in an organic solvent (hexane) being suitable for this purpose. Hexane is not able to fluoresce, so it is used in the study by the fluorescence analysis method.

The crushed polyurethane (without initiator and with the combustion initiator) was placed in a flat-bottomed flask with a glass stopper and poured with the minimum



Fig. 4. Shaking the crushed sample with the residues of the combustion initiator



Fig. 5. Extracts filtering

necessary amount of hexane so that the sample was covered with solvent, and then shook for about 0.5 h (Fig. 4).

The necessary stage of sample preparation is the extracts filtering prepared for the study (Fig. 5).

The spectrofluorimetric study of the analyzed samples was performed on a Fluorat-02-Panorama spectrofluorimeter (TU 4321-001-20506233-94). The analyzed samples with a volume of 5 mcl were placed in a cuvette with a capacity of 3 ml filled with $3/4$ hexane using a microsyringe and mixed. The conditions for the fluorescence spectra measurements were as follows: the spectral range of measurements is 270–450 nm, the excitation wavelength is 255 nm, the scanning step is 1 nm, the number of flares is 25, and the sensitivity is low.

Study results and discussion

In order to highlight the areas of the main maxima of the fluorescence spectrum, it is necessary to find in the Table 7 ([23], p. 51) the combination of areas of maxima of fluorescence, characteristic of the fluorescence spectrum of the object under study, and rank the analyzed object (categories) of HFLs or FLs corresponding to this combination.

Fig. 6 shows the spectrum on which an intense peak is observed in the range of 270–290 nm, in which MH is luminescent. The fluorescence intensity is 0.15 rel. units.

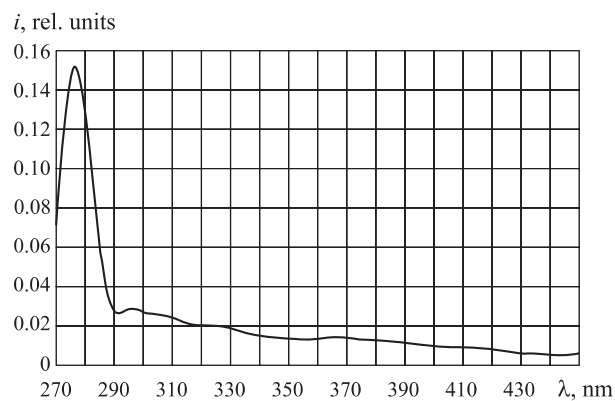


Fig. 6. Fluorescence spectrum of pure hexane: λ — wavelength, nm; i — fluorescence intensity

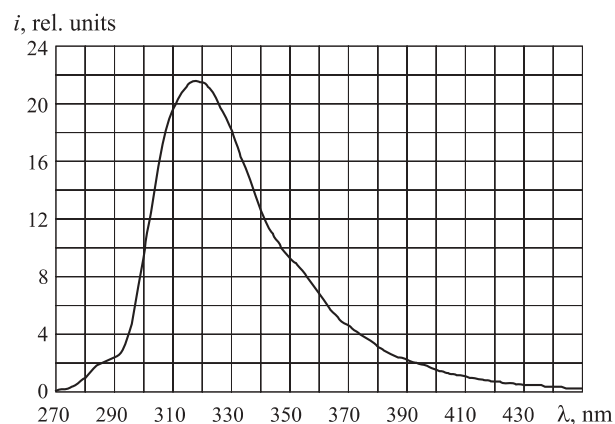


Fig. 7. Fluorescence spectrum of diesel fuel

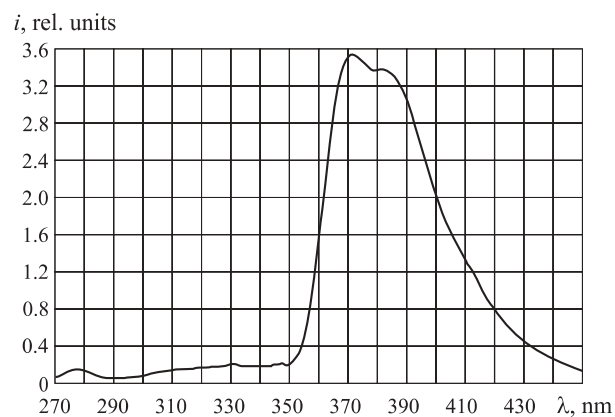


Fig. 8. Fluorescence spectrum of pure polyurethane at room temperature

This peak at a given intensity corresponds to the fluorescence spectrum of pure hexane.

Fig. 7 shows the fluorescence spectrum of diesel fuel, in which a maximum is observed in the range of 300–330 nm. The presence of this peak indicates the presence in the sample of bicyclic aromatic hydrocarbons, such as diphenyl and naphthalene homologues. The fluorescence intensity is 21 rel. units

The fluorescence spectrum of polyurethane that is not exposed to thermal effects is shown in Fig. 8.

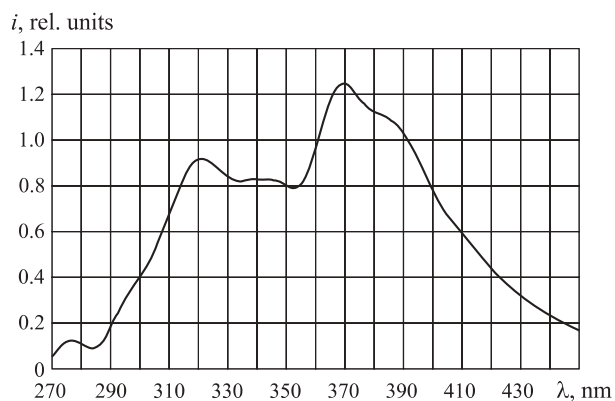


Fig. 9. Fluorescence spectrum of charred polyurethane at $t = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ for 5 min

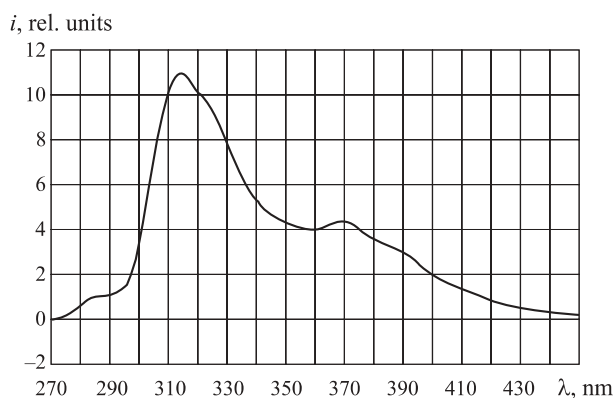


Fig. 10. Spectrum of a charred polyurethane sample with diesel fuel at $t = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ for 5 min

Fig. 9 shows the fluorescence spectrum of a polyurethane sample charred at $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ for 5 min.

The study of the spectra presented in Fig. 8 and 9 showed the following facts. In the spectrum of a sample of pure polyurethane (see Fig. 8), there is a peak of maximum fluorescence in the range of 370–385 nm, in which TAH (for example, phenanthrene) is luminescent. In the spectrum of a charred polyurethane sample (see Fig. 9), there is an arm of maximum fluorescence in the range of 310–330 nm, corresponding to the BAH luminescence, and maximum fluorescence peaks in the range of 360–380 nm characteristic of TAH luminescence. The fluorescence intensity in the spectrum of pure polyurethane (see Fig. 8) is 3.6 rel. units, in the spectrum of charred polyurethane (see Fig. 9) — 1.25 rel. units. The obtained results indicate a decrease in TAH and the appearance of BAH in the spectrum of charred polyurethane (see Fig. 9).

Fig. 10 shows the fluorescence spectrum of a sample of polyurethane covered with diesel fuel charred at a temperature of $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ for 5 min.

The spectrum of a charred polyurethane sample with diesel fuel (see Fig. 10) shows peaks of maximum fluorescence in the range of 300–330 nm corresponding to the BAH luminescence, in the range of 360–380 nm

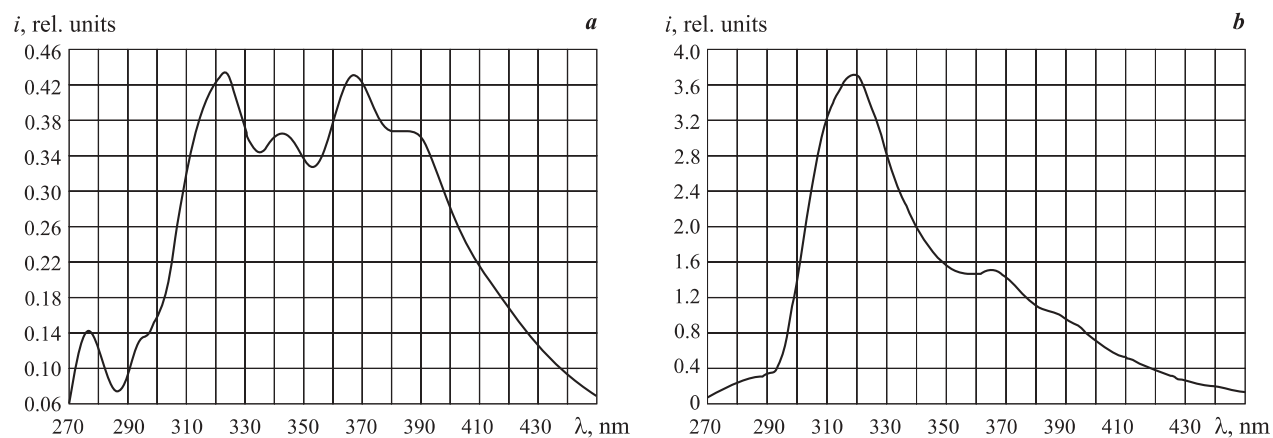


Fig. 11. Fluorescence spectrum of pure carbonized polyurethane (a) and with diesel fuel (b) at $t = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ for 10 min

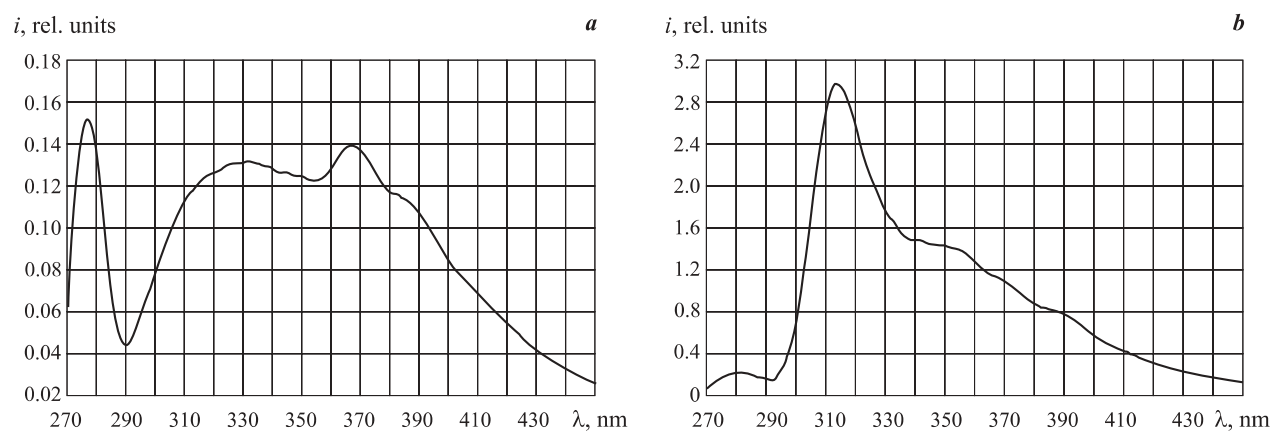


Fig. 12. Fluorescence spectrum of pure carbonized polyurethane (a) and with diesel fuel (b) at $t = 250\text{ }^{\circ}\text{C}$ for 20 min

characteristic of TAH luminescence, and a peak of low intensity in the range of 285 nm characteristic of MH luminescence. The fluorescence intensity in the spectrum in Fig. 9 is 1.25 rel. units, in the spectrum in Fig. 10 — 11 rel. units, which indicates an increase in BAH and a decrease in TAH in the spectrum in Fig. 10. According to Table 7 ([23], p. 51) fluorescence peaks found in the spectrum in Fig. 10 in the area of BAH and TAH give a possibility to identify the combustion initiator as a highly burned diesel fuel.

Fig. 11 shows the fluorescence spectra of polyurethane samples that do not contain diesel fuel and are covered with it, after heating in a muffle furnace for 10 min at a temperature of $200\text{ }^{\circ}\text{C}$.

In the spectrum of charred polyurethane (see Fig. 11,a), peaks of maximum fluorescence are observed in the range of 315–330 and 335–355 nm corresponding to the BAH luminescence, as well as in the range of 360–380 nm characteristic of TAH luminescence.

In the spectrum of charred polyurethane with diesel fuel (Fig. 11,b), there are peaks of maximum fluorescence in the range of 310–325 nm, in which BAH is luminescent, and in the range of 360–375 nm characteristic of TAH luminescence. The fluorescence intensity in the spectrum in Fig. 11,a is 0.44 rel. units, in the spectrum

in Fig. 11,b — 3.7 rel. units, indicating an increase in BAH and a decrease in TAH in the spectrum of charred polyurethane with diesel fuel. It is possible to identify the combustion initiator as intensity burned diesel fuel ([23], p. 51, Table 7) on the basis of fluorescence peaks discovered in the spectrum in Fig. 11,b in the area of BAH and TAH.

Fluorescence spectra of polyurethane samples heated to a temperature of $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ for 20 min, which are covered and uncovered with diesel fuel are shown in Fig. 12.

In the fluorescence spectrum of charred polyurethane (Fig. 12,a), there are peaks in the range of 315–345 nm, corresponding to the BAH luminescence, and in the range of 360–375 nm characteristic of the TAH luminescence. The fluorescence intensity is 0.15 rel. units. Since the fluorescence intensity is below 0.25 rel. units, this result is considered to be related to background contamination.

In the fluorescence spectrum of charred polyurethane with diesel fuel (Fig. 12,b), there are peaks of maximum fluorescence in the range of 310–325 nm, in which BAH is luminescent, and in the range of 340–375 nm characteristic of TAH luminescence. Fluorescence intensity in the spectrum in Fig. 12,a is 0.15 rel. units,



Fig. 13. The outburst when heating polyurethane

in the spectrum in Fig. 12,*b* — 3.0 rel. units, which indicates an increase in the amount of BAH and a decrease in TAH in the spectrum in Fig. 12,*b*. According to Table 7 [22], fluorescence peaks found in the spectrum in Fig. 12,*b* in the area of BAH and TAH give a possibility to identify the combustion initiator as a highly burned diesel fuel.

When heating samples of polyurethane with diesel fuel at a temperature of 300 °C, an outburst occurred within 3 min inside the muffle furnace, which was accompanied by several claps, the temperature sharply increased up to 500 °C (Fig. 13), the fumes of diesel fuel and combustion products of polyurethane self-ignited. Polyurethane burned out with the formation of a porous black residue.

Fig. 14 shows samples of polyurethane without the addition of diesel fuel and with the addition of a combustion initiator after time-exposure in a muffle furnace at 500 °C for 3 min.

An analysis of the spectra obtained (Fig. 15) shows the following facts.

In the fluorescence spectrum of charred polyurethane (see Fig. 15,*a*), there are observed peaks in the range of 315–335 nm, in which BAH is luminescent, and in the range of 350–370 nm characteristic of TAH luminescence. The fluorescence intensity is 0.68 and 0.63 rel. units.

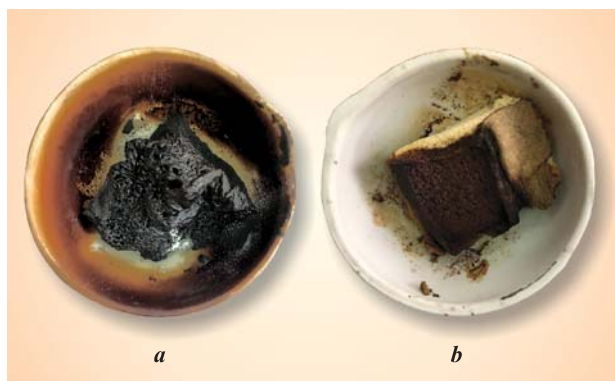


Fig. 14. Polyurethane sample after heating at 500 °C for 3 min: *a* — with diesel fuel; *b* — without diesel fuel

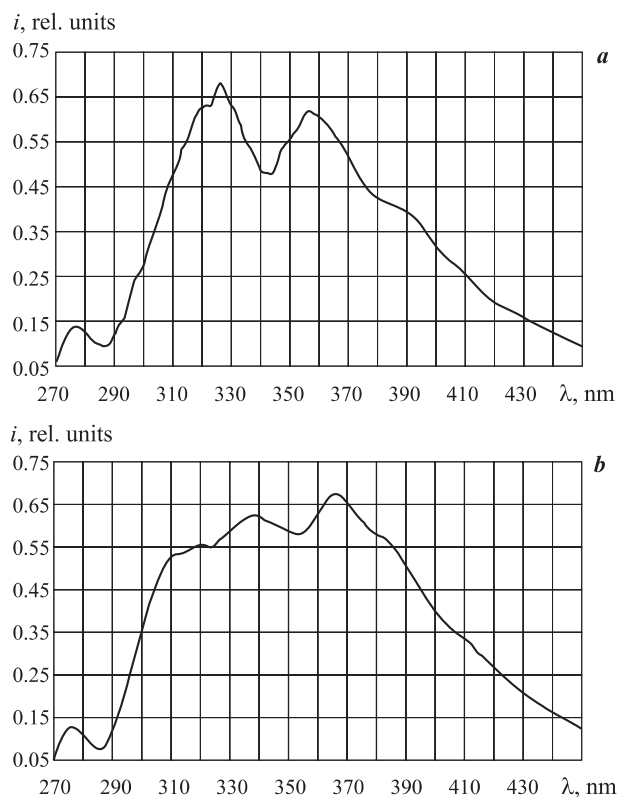


Fig. 15. Spectrum of pure charred polyurethane (*a*) and with diesel fuel (*b*) when heated at a temperature of 500 °C for 3 min

In the spectrum of charred polyurethane with diesel fuel (Fig. 15,*b*), there are observed peaks in the range of 310–340 nm, in which BAHs are luminescent, and in the range of 360–375 nm characteristic of the TAH luminescence, which are also observed in the polyurethane spectrum. The maximum fluorescence intensity is 0.6 and 0.68 rel. units in this case. Thus, when comparing the fluorescence spectra presented in Fig. 15, it can be concluded that it is not possible to identify the combustion initiator as diesel fuel in this case.

Conclusions

1. Analysis of the obtained study results has shown that when heating polyurethane samples up to 250 °C inclusive for 5, 10, 15, and 20 min, it is possible to identify the combustion initiator as a highly burned diesel fuel.

2. When polyurethane samples are heated to temperatures above 250 °C, the identification of the combustion initiator as intensely burnt diesel fuel is impossible.

3. When heating polyurethane samples with diesel fuel to a temperature up to 250 °C, the decomposition products of polyurethane do not interfere with the identification of the combustion initiator.

4. When heating polyurethane samples with diesel fuel up to 300 °C, the samples ignite with a sharp rise in temperature up to 500 °C. According to the obtained fluorescence spectra, it is impossible to establish the combustion initiator in this case.

REFERENCES

1. D. M. Gordienko (gen. ed.). *Pozhary i pozharnaya bezopasnost v 2016 godu. Statisticheskii sbornik* [Fires and fire safety in 2016. Statistical yearbook]. Moscow, VNIPO Publ., 2017. 124 p. (in Russian).
2. I. D. Cheshko, M. A. Galishev, S. V. Sharapov, N. N. Krivykh. *Tekhnicheskoye obespecheniye rassledovaniya podzhogov, sovershennykh s primeneniye initsiatorov goreniya* [Technical support for the investigation of arson committed with the use of combustion initiators]. Moscow, VNIPO Publ., 2002. 120 p. (in Russian).
3. A. A. Vorontsova, D. V. Kalashnikov, A. A. Lipsky, O. A. Asatov. Problems and prospects for the use of fire-technical experts, modern methods of detection and study tools for arson. *Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MChS Rossii / Bulletin of Voronezh Institute of State Firefighting Service of Emercom of Russia*, 2017, no. 2, pp. 72–77 (in Russian). Available at: https://elibrary.ru/download/elibrary_29344433_42880380.pdf (Accessed 7 February 2019).
4. V. M. Balakin, A. A. Gallyamov, D. Sh. Garifullin, Ch. D. Abdullina. Phosphorus-containing fire-retarding agents for wood on the basis of aminoliz's products polyurethane. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskiye nauki / Izvestiya SFedU. Engineering Sciences*, 2013, no. 8(145), pp. 98–105 (in Russian). Available at: https://elibrary.ru/download/elibrary_20214763_82156503.pdf (Accessed February 5, 2019).
5. M. A. Ksenofontov. Polyurethane foams. Structure and properties. *Vestnik BGU. Seriya 1: Fizika. Matematika. Informatika / Vestnik BSU. Series 1: Physics. Mathematics. Information Science*, 2011, no. 3, pp. 48–52 (in Russian). Available at: <http://www.elib.bsu.by/bitstream/123456789/29937/1/48-52.pdf> (Accessed 5 February 2019).
6. S. G. Dmitrienko, V. V. Apyari. *Penopoliuretany. Sorbtsionnyye svoystva i primeneniye v khimicheskoy analize* [Polyurethane foams. Sorption properties and application in chemical analysis]. Moscow, URSS Publ., 2010. 264 p. (in Russian).
7. A. N. Beschastnykh, I. D. Cheshko, E. D. Andreeva, N. V. Sirotinkin. An expert investigation of foamed polyurethane's residues after fire. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2004, vol. 13, no. 1, pp. 80–86 (in Russian).
8. *Chromatographic methods in the examination of fires* (in Russian). Available at: <https://poznayka.org/s87402t1.html> (Accessed February 10, 2019).
9. J. Bonetti, L. Quarino. Comparative forensic soil analysis of New Jersey State Parks using a combination of simple techniques with multivariate statistics. *Journal of Forensic Sciences*, 2014, vol. 59, no. 3, pp. 627–636. DOI: 10.1111/1556-4029.12375.
10. A. A. Shekov, V. Plotnikov. Factors affecting detection and identification of accelerants using the gas chromatography method. *Ekspert-kriminalist / Expert-Criminalist*, 2019, no. 1, pp. 36–38 (in Russian).
11. I. Fetting, S. Krüger, J. H. Deubel, M. Werrel, T. Raspe, C. Piechotta. Evaluation of a headspace solid-phase microextraction method for the analysis of ignitable liquids in fire debris. *Journal of Forensic Sciences*, 2014, vol. 59, no. 3, pp. 743–749. DOI: 10.1111/1556-4029.12342.
12. A. A. Zakharov, N. L. Soshina, R. V. Nagorny. Application of the method of fluorescence spectroscopy and gas-liquid chromatography to determine the cause of the fire. *Auditorium*, 2017, no. 3(15), pp. 97–103 (in Russian). Available at: https://elibrary.ru/download/elibrary_30450106_11677834.pdf (Accessed 1 February 2019).
13. E. A. Illarionova, I. P. Syrovatskiy. *Metod fluorimetrii. Primeneniye v farmatsevticheskoy analize* [The method of fluorimetry. Application in pharmaceutical analysis]. Irkutsk, Irkutsk State Medical University Publ., 2017. 41 p. (in Russian).
14. T. Ueno, T. Nagano. Fluorescent probes for sensing and imaging. *Nature Methods*, 2011, vol. 8, issue 8, pp. 642–645. DOI: 10.1038/nmeth.1663.
15. I. V. Klaptyuk, I. D. Cheshko. The discovery of traces of light oil on the fire spot at the case of arson. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta GPS MChS Rossii / Herald of St. Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia*, 2012, no. 3, pp. 38–43 (in Russian).
16. J. Böcker. *Spektroskopie*. Wurzburg, Vogel Buchverlag, 1997 (in German) (Russ. ed.: J. Böcker. *Spektroskopiya*. Moscow, Tekhnosfera Publ., 2009. 528 p.).
17. L. M. Wysocki, L. D. Lavis. Advances in the chemistry of small molecule fluorescent probes. *Current Opinion in Chemical Biology*, 2011, vol. 15, issue 6, pp. 752–759. DOI: 10.1016/j.cbpa.2011.10.013.
18. X. Chen, T. Pradhan, F. Wang, J. S. Kim, J. Yoon. Fluorescent chemosensors based on spiroring-opening of xanthenes and related derivatives. *Chemical Reviews*, 2012, vol. 112, issue 3, pp. 1910–1956. DOI: 10.1021/cr200201z.
19. J. B. Grimm, L. M. Heckman, L. D. Lavis. The chemistry of small-molecule fluorogenic probes. In: C. M. May (ed.). *Progress in molecular biology and translational science*. USA, Elsevier, 2013. — Vol. 113. — P. 1–34. DOI: 10.1016/B978-0-12-386932-6.00001-6.

20. N. Boens, V. Leen, W. Dehaen. Fluorescent indicators based on BODIPY. *Chemical Society Reviews*, 2012, vol. 41, issue 3, pp. 1130–1172. DOI: 10.1039/c1cs15132k.
21. G. P. C. Drummen. Fluorescent probes and fluorescence (microscopy) techniques — Illuminating biological and biomedical research. *Molecules*, 2012, vol. 17, issue 12, pp. 14067–14090. DOI: 10.3390/molecules171214067.
22. A. Ettinger, T. Wittmann. Fluorescence live cell imaging. In: L. Wilson, P. Tran (eds.). *Methods in cell biology*. USA, Academic Press, 2014, vol. 123, pp. 77–94. DOI: 10.1016/b978-0-12-420138-5.00005-7.
23. I. D. Cheshko, M. Yu. Printseva, L. A. Yatsenko. *Obnaruzheniye i ustanovleniye sostava legkovosplamenyayushchikhsya i goryuchikh zhidkostey pri podzhogakh* [Detection and determination of the composition of flammable and combustible liquids in arson]. Moscow, VNIPO Publ., 2010. 90 p. (in Russian).

Received 7 February 2019; received in revised form 25 March 2019; accepted 29 March 2019

Information about the authors

Galina V. PLOTNIKOVA, Cand. Sci. (Chem.), Docent, Associate Professor of Fire Technical Examination Department, Eastern-Siberian Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation, Irkutsk, Russian Federation; e-mail: plotnikovagv@mail.ru

Konstantin L. KUZNETSOV, Cand. Sci. (Chem.), Chief of Judicial and Expert Establishment Fire-Fighting Service “Testing Fire Laboratory” across Irkutsk Region, Irkutsk, Russian Federation; e-mail: kuznets84@inbox.ru

Svetlana F. MALYSHEVA, Dr. Sci. (Chem.), Leading Researcher of A. E. Favorsky Irkutsk Institute of Chemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russian Federation; e-mail: mal@irioc.irk.ru



Издательство «ПОЖНАУКА»

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

ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ во взрывопожароопасных зонах

Справочное пособие



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

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

121352, г. Москва, а/я 6; тел./факс: (495) 228-09-03; e-mail: info@fire-smi.ru

<https://doi.org/10.18322/PVB.2019.28.02.47-56>

УДК 681.518.5

Формализованная модель оценки надежности функционирования тепловых электрических станций

© **Е. В. Гвоздев**^{1(✉)}, **С. Ю. Бутузов**², **Т. Г. Сулима**¹, **С. Б. Арифджанов**³

¹ Академия гражданской защиты МЧС России (Россия, 141435, Московская обл., г. Химки, мкр. Новогорск)

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

³ Кокшетауский технический институт Комитета по чрезвычайным ситуациям МВД Республики Казахстан (Республика Казахстан, 020000, Акмолинская обл., г. Кокшетау, ул. Акана-серы, 136)

РЕЗЮМЕ

Введение. В отраслевой структуре управления России важное место занимают территориально распределенные объекты (филиалы) крупных производственных предприятий топливно-энергетического комплекса (ТЭК). Рассматриваемые предприятия в соответствии с утвержденными законодательством критериями относятся к категории опасных производственных объектов. Важной задачей является определение причины возникновения опасности.

Методы исследования. Для обнаружения опасностей в любых автоматизированных системах управления используются методы, с помощью которых осуществляется сбор информации о параметрических значениях функционирования производственных объектов. Для проведения исследований по обнаружению опасностей применяется ряд подходов, основанных: на определении параметров (инвариантов) моделей контролируемых объектов; на решении задач моделирования (прогнозирование); на использовании аналитической избыточности. Существует безмодельный метод обнаружения опасностей в автоматизированных системах управления, в основе которого заложено представление только данных сигналов управления и измерений параметров функционирования динамических объектов. Он основан на алгебраическом условии разрешимости задачи идентификации математической модели функционирования динамического объекта.

Постановка задачи. Требуется на основе результатов измерений входных сигналов, поступающих в автоматизированную систему управления, разработать параметрические значения для критической зоны возникновения опасностей в целях отображения информации на дисплее автоматизированного рабочего места оператора.

Решение задачи. Предложено представлять модели объекта в исправном и неисправном состояниях в виде матриц, что позволит решать задачи идентификации замкнутых объектов для любых входных сигналов, независимо от наличия информации о параметрах системы управления. Быстродействие и точность обнаружения факта и времени возникновения опасности (отказа системы) определяются частотой дискретизации сигналов и совпадают с интервалом времени между двумя последовательными измерениями.

Заключение. Достоинством предлагаемого подхода является его независимость от параметров модели контролируемого объекта. Использование предлагаемого подхода для обнаружения дает возможность перевести систему управления безопасностью предприятия на новый качественный уровень за счет постоянной отслеживаемости процесса функционирования объектов производства, повышения скорости и достоверности обнаружения факта и времени возникновения опасности.

Ключевые слова: система управления безопасностью ТЭС; математическая модель; оценка надежности ТЭС; распределенные каналы передачи информации, опасные факторы ТЭС.

Для цитирования: Гвоздев Е. В., Бутузов С. Ю., Сулима Т. Г., Арифджанов С. Б. Формализованная модель оценки надежности функционирования тепловых электрических станций // Пожаровзрывобезопасность/ Fire and Explosion Safety. — 2019. — Т. 28, № 2. — С. 47–56. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.02.47-56.

✉ Гвоздев Евгений Владимирович, e-mail: evgvozdev@mail.ru

Formal model of evaluating the reliability of thermal power plants

© **E. V. Gvozdev**^{1(✉)}, **S. Yu. Butuzov**², **T. G. Sulima**¹, **S. B. Arifjanov**³

¹ Civil Defence Academy of Emercom of Russia (md. Novogorsk, Khimki, Moscow Region, 141435, Russian Federation)

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

³ Kokshetau Technical Institute of the Committee for Emergency Situations of the Ministry of Internal Affairs of the Republic of Kazakhstan (Akan-seri St., 136, Akmol Region, Kokshetau, 020000, Republic of Kazakhstan)

ABSTRACT

Introduction. In the branch structure of management of Russia an important place is occupied by geographically distributed objects (branches) of large industrial enterprises of the fuel and energy complex. The considered enter-

prises, in accordance with the criteria approved by the legislation, belong to the category of hazardous production facilities. An important task is to determine the cause of the danger.

Methods of research. To detect hazards in any automated control systems used methods by which information is collected on the parametric values of the functioning of production facilities. To conduct research on the detection of hazards, a number of approaches are used: based to determine the parameters (invariants) of the models of controlled objects; to solve the problems of modeling (forecasting); to use analytical redundancy. There is a model-free method of hazard detection in automated control systems, which is based on the representation of only the data of control signals and measurements of the parameters of the functioning of dynamic objects. It is based on the algebraic condition of solvability of the problem of identification of a mathematical model of dynamic object functioning.

Problem statement. It's required on the basis of the measurement results the input signals coming into the automated control system, to develop a parametric value for the critical zone of occurrence of hazards with the aim of displaying information on the display of the workstation operator.

Problem solution. It is offered to represent models of object, in serviceable and faulty States, in the form of matrices that will allow solving problems of identification of the closed objects for any input signals, irrespective of availability of information on parameters of control system. The speed and accuracy of detection of the fact and time of danger (system failure) are determined by the sampling frequency of the signals and coincide with the time interval between the two consecutive measurements.

Conclusion. The advantage of the proposed approach is its independence from the parameters of the controlled object model. The use of the proposed approach for detection makes it possible to transfer the security management system of the enterprise to a new qualitative level due to constant traceability of the process of functioning of production facilities, increasing the speed and reliability of detection of the fact and time of danger.

Keywords: safety management system of TPP; mathematical model; reliability evaluation TPP; distributed communication channels; hazards TPP.

For citation: E. V. Gvozdev, S. Yu. Butuzov, T. G. Sulima, S. B. Arifjanov. Formal model of evaluating the reliability of thermal power plants. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2019, vol. 28, no. 2, pp. 47–56 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2019.28.02.47-56.

✉ Evgeniy Vladimirovich Gvozdev, e-mail: evgvozdev@mail.ru

Введение

В отраслевой структуре управления России важное место занимают территориально распределенные объекты (филиалы) крупных производственных предприятий топливно-энергетического комплекса (ТЭК). К основным организациям ТЭК, осуществляющим производство, передачу, распределение тепловой и электрической энергии, относятся тепловые электрические станции (ТЭС), которые не только производят электроэнергию, но и являются источниками тепловой энергии в централизованных системах теплоснабжения. Рассматриваемые предприятия в соответствии с критериями, прописанными в Федеральном законе № 123-ФЗ (далее — ФЗ № 123), относятся к категории опасных производственных объектов (далее — ОПО). Признаками опасности ОПО являются:

- использование в производственной деятельности аварийно-химических отравляющих веществ (АХОВ);
- аккумулярование и возможный несанкционированный выброс огромных запасов кинетической, тепловой, акустической и вибрационной энергии из-за высокого давления в трубопроводах подачи пара и горячей воды;
- использование водорода для охлаждения обмотки и возбуждения турбин;
- хранение значительных запасов мазута для использования в качестве топлива в аварийных ситуациях.

В проведенных исследованиях [1–4] автор предлагает рассматривать безопасность предприятий ТЭК в комплексе, в виде совокупности взаимодействующих функциональных направлений безопасности (промышленной и пожарной безопасности, предупреждения и ликвидации ЧС природного и техногенного характера, охраны труда и экологической безопасности, антитеррористической защищенности и т. д.), т. е. представлять ее в виде системы комплексной техносферной безопасности (СКТБ) предприятия для реализации главной цели, направленной на минимизацию (исключение условий) вероятности возникновения опасностей (рис. 1).

Безопасность предприятия ТЭК определяется способностью его территориально распределенных объектов (филиалов) противостоять реализации деструктивных воздействий, не допускать катастрофических разрушений на этапах закритического функционирования объектов защиты после достижения предельных состояний. К источникам закритического функционирования относятся:

- естественная вариативность параметров объекта и внешней среды, ограниченность знаний о событиях и процессах, протекающих в сложных технических системах объекта;
- неточность имеющихся статистических данных и оценок;
- несовершенство используемого контрольно-измерительного оборудования и математических моделей [5–7].



Рис. 1. Отраслевые направления безопасности в составе СКТБ предприятия

Fig. 1. Industry security areas incoming the content of the enterprise SKTB

Вопросы обеспечения безопасной эксплуатации ОПО являются приоритетными для государства. В связи с этим разрабатываются и принимаются к исполнению основы единой государственной политики для отраслевых направлений безопасности на долгосрочный период, утверждаемые Указами Президента России. Например, в документе стратегического планирования “Основы государственной политики в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций на период до 2030 года”, утвержденном в январе 2018 г. Указом Президента России, определена главная цель по реализации рассматриваемого направления — *обеспечение устойчивого социально-экономического развития РФ, а также приемлемого уровня безопасности жизнедеятельности населения в чрезвычайных ситуациях (ЧС)*.

Приемлемый уровень безопасности жизнедеятельности населения в ЧС будет поддерживаться за счет требуемого уровня защищенности в подсистемах безопасности (см. рис. 1), создания в них запаса надежности для устойчивого функционирования.

Производственные предприятия ТЭС имеют множество площадок (территорий) ОПО, поскольку их производственная деятельность связана с транспортировкой и хранением углеводородов, обращением в технологическом процессе АХОВ, аккумулированием и возможным несанкционированным выбросом огромных запасов кинетической, тепловой, акустической и вибрационной энергии, получаемой при переработке углеводородов технологическим оборудованием.

К технологическому оборудованию ТЭС относятся:

- трубопроводы, работающие под давлением, для подачи углеводородов;

- динамическое оборудование (насосы, компрессоры, турбины);
- статическое оборудование (высоконагруженные сосуды, в том числе колонны, сепараторы, адсорберы, технологические трубопроводы, работающие при криогенных и высоких температурах) [8–10].

Для надежной реализации контроля и регулирования режимов работы технологического оборудования ТЭС используются специальные автоматизированные системы управления технологическим процессом (АСУ ТП), обеспечивающие надежный уровень их функционирования в течение всего срока эксплуатации ТЭС. С этой же целью принимаются меры по минимизации:

- отказов в аппаратуре;
- воздействия отказов на выполнение функций управления и контроля;
- времени на восстановление аппаратуры [8, 11–13].

Реализация указанных требований обеспечивается за счет надежного исполнения функций контроля и управления в АСУ ТП, в которые входит индивидуальная защита АСУ ТП и возможность отключения всех ее каналов ввода/вывода, а также контроль состояний автоматов защиты контроллерной части и запорно-регулирующей арматуры [14, 15].

Отказы, возникающие в процессе функционирования подсистем обеспечения ТЭС, являются наиболее опасными и могут привести к чрезвычайной ситуации. При возникновении таких отказов изменяются показатели функциональных параметрических значений обеспечивающих подсистем, моментные характеристики подсистем управления, структура системных связей [11, 14, 16, 17].

В сложившихся условиях функционирования объектов ТЭС возникает необходимость, наряду с реализуемыми методами обеспечения безопасности их технологического процесса, дополнительно использовать наиболее прогрессивные методы, апробированные на моделях других динамических объектов, для решения важных задач по своевременному выявлению (до наступления аварийной ситуации) предпосылок к деструктивному воздействию на персонал, оборудование и имущество ТЭС, т. е. своевременному определению места и причины возникновения отказа [18–20].

Методы исследования

Для обнаружения отказов в любых автоматизированных системах управления (АСУ), как правило, используются методы [16, 21], предусматривающие наличие априорной информации о параметрических значениях функционирования производственных объектов, которые в некоторых случаях по-

лучить бывает достаточно трудно, а иногда принципиально невозможно.

С точки зрения принципов обнаружения отказов выделяется ряд подходов, основанных:

- *первый*, наиболее применяемый в АСУ, — на определении параметров (инвариантов) моделей контролируемых объектов [9, 21];
- *второй* — на решении задач моделирования (прогнозирования) [16, 18];
- *третий* — на использовании аналитической избыточности [6, 19].

Первый принцип требует знания инвариантов объекта диагностирования. Его суть сводится к выявлению некоторых характеристик объекта, остающихся неизменными при его нормальном функционировании и изменяющихся при возникновении отказов. Далее эти характеристики используются в качестве прямых или косвенных диагностических признаков. Они могут быть двух типов — параметрические и сигнальные (алгебраические). Основная трудность при контроле по параметрическим инвариантам связана со сложностью измерения реальных значений параметров, тогда как их номинальные значения бывают известны. При контроле по сигнальным инвариантам главная проблема состоит в необходимости непрерывного определения теоретических значений выходных сигналов, исходя из известных текущих значений входных сигналов.

Второй принцип контроля опирается на использование моделей проверяемого объекта. Известны два главных подхода к решению задач обнаружения отказа такими методами — в пространстве сигналов и в пространстве параметров. Обнаружение отказов модельными методами в пространстве сигналов осуществляется путем генерации так называемой невязки и последующего анализа ее статистических свойств. В качестве генераторов невязки используются диагностические наблюдатели и диагностические устройства, основанные на соотношении паритета. Во втором подходе определяются оценки текущих значений физических параметров объекта, которые сравниваются с номинальными. Подход может быть реализован с использованием методов параметрической идентификации. Однако применение данных методов существенно ограничивается проблемой неидентифицируемости объектов управления с замкнутой обратной связью [22].

Третий принцип контроля связан с использованием аналитической избыточности. Согласно этому принципу обнаружение отказов осуществляется на основе проверки аналитических зависимостей, существующих между измеряемыми входами и выходами системы. Такие зависимости (их называют контрольными условиями или уравнениями) могут связывать сигналы, относящиеся к одному и тому же

моменту времени, и тогда говорят об алгебраических инвариантах, либо к разным моментам, и тогда говорят о динамических инвариантах или временной избыточности. В схемах аналитической избыточности результирующее различие формируется из проверки на непротиворечивость различных переменных, называемых рассогласованиями. Рассогласование должно быть равно нулю, когда система работает нормально, и отличаться от нуля в случае отказа. Это свойство рассогласования используется для определения того, есть отказ в системе или нет.

Применение методов, основанных на моделях, неизбежно приводит к увеличению пороговых значений используемых критериев при наличии ошибок в параметрах моделей. Это, в свою очередь, обуславливает увеличение времени обнаружения отказов и снижение достоверности определения времени их возникновения. При этом в некоторых случаях достоверное определение времени возникновения отказов становится невозможным в принципе [22, 23].

Широко известные методы, не использующие априорную информацию о параметрах модели, требуют длительного обучения либо используют статистические вычисления, которые сами подвержены неизбежным ошибкам. Получение точных и достоверных решений с помощью таких алгоритмов требует большого объема данных. Кроме того, они характеризуются высокими вычислительными затратами и низкими показателями быстродействия. Эти факторы определяют высокую вероятность ложного срабатывания или пропуска отказов на практике. В условиях эксплуатации применение таких методов может потребовать время, превышающее критическое время реакции АСУ ТП, и подсистемы обеспечения ТЭС могут перейти в невосстанавливаемое состояние [24].

Известен безмодельный метод обнаружения отказов в системах управления, в основе которого заложено представление только данных сигналов управления и измерений параметров функционирования динамических объектов [9, 23]. Он не требует априорной информации о параметрах их функционирования, не использует статистических вычислений и основан на алгебраическом условии разрешимости задачи идентификации функционирования динамических объектов, что делает возможным его применение в отношении подсистем обеспечения ТЭС при действии возмущений.

В настоящей работе предлагается новый подход к обнаружению отказов в подсистемах обеспечения ТЭС, позволяющий использовать только данные измерений входных и выходных сигналов системы управления. Он, так же как и упомянутый выше безмодельный метод, не требует априорной информации о параметрах объекта, не предусматривает решения

задачи прогнозирования, не применяет статистических вычислений, а основан на алгебраическом условии разрешимости задачи идентификации математической модели функционирования динамического объекта.

Постановка задачи. Пусть модель исправного динамического объекта с замкнутой системой управления представлена в пространстве состояний в виде [23]:

$$x_{i+1} = Ax_i + B(u_i + u_o), \quad (1)$$

$$u_i = Kx_i + Gv_i, \quad (2)$$

где A, B, K, G — матрицы соответственно собственной динамики, эффективности управления, регулятора и предкомпенсатора;

x — вектор состояния объекта размерности n_x ;

u — сигнал на выходе АСУ ТП, совпадающий при отсутствии опасности (отказа системы) с вектором отклонения органа управления размерности n_u ;

v — вектор входных сигналов размерности n_v ;

u_o — вектор допустимых отклонений параметров, запрограммированных и отображаемых в АСУ ТП, соответствующих равновесному состоянию динамического объекта;

$i = 0, I - 1$ — дискретное время до возникновения опасности (отказа системы);

I — момент возникновения опасности (отказа системы).

Запишем модель (1) в виде:

$$x_{i+1} = Ax_i + Bu_i + m_o(u_i + u_o), \quad (3)$$

где m_o — вектор постоянных коэффициентов, обусловленных допустимыми отклонениями параметров, отображаемых в АСУ ТП; $m_o = Bu_o$;

u_i — вектор допустимых отклонений параметров, запрограммированных и отображаемых в АСУ ТП, за временной период t .

При возникновении опасности (отказа системы) в АСУ ТП модель объекта будет иметь вид:

$$x_{j+1}^f = Ax_j^f + Bu_j^f + m_o; \quad (4)$$

$$u_j = Kx_j^f + Gv_i, \quad (5)$$

где $j = 0, I + 1, \dots$ — дискретное время после возникновения опасности (отказа системы);

x_j^f — вектор состояния опасности (отказа системы), отображаемый в критической зоне отклонения параметров, запрограммированных в АСУ ТП, которые описываются выражением

$$x_j^f = Fu_j + (I - F)u_o^f, \quad (6)$$

F — матрица возникновения опасности (отказа системы) в условиях снижения эффективности управления безопасностью производственных

территориально распределенных объектов управления;

$$F = \text{diag}[f(1) \dots f(k) \dots f(n_u)]; \quad (7)$$

u_o^f — вектор возникновения опасности (отказа системы), отображаемый в критической зоне отклонения в АСУ ТП;

$$u_o^f = [u_o^f(1) \dots u_o^f(k) \dots u_o^f(n_u)]. \quad (8)$$

Подставим (6) в (4) и запишем модель объекта с неисправной системой управления u_j :

$$x_{j+1}^f = Ax_j^f + B_f u_j + m_o^f, \quad (9)$$

где B_f — матрица эффективности управления неисправного объекта; $B_f = BF$;

m_o^f — постоянный вектор, характеризующий совокупное отклонение параметров, запрограммированных в АСУ ТП и отображаемых в критической зоне; $m_o^f = B(I - F)u_o^f + m_o$.

Требуется на основе результатов измерений входных сигналов, поступающих в АСУ ТП, разработать параметрические значения для критической зоны возникновения опасностей (отказа системы) в целях отображения информации на дисплее АСУ ТП. Это позволит лицу, принимающему решение (далее — ЛПР), принять обоснованное решение для устранения причин возникновения опасности, скорректировать управляемое воздействие на объект управления, подвергающийся опасности (отказ системы).

Решение задачи. Предположим, что наблюдение за объектом ведется на протяжении некоторого времени. Тогда модели объекта в исправном (3) и неисправном (9) состояниях будут иметь матричный вид:

$$X_{i+1} = AX_i + BU_i = m_o e;$$

$$X_{j+1}^f = AX_j^f + B_f U_j + m_o^f e,$$

где $X_i = [x_i \dots x_{i+h}]$; $X_j^f = [x_j^f \dots x_{j+h}^f]$;

$$U_i = [u_i \dots u_{i+h}]; U_j = [u_j \dots u_{j+h}]; e = [1 \dots 1];$$

h, h^f — количество шагов наблюдения за объектом соответственно в исправном и неисправном состояниях.

При этом задачи идентификации параметров модели контролируемого объекта в каждом случае описываются линейными правосторонними матричными уравнениями относительно неизвестных A, B, m_o, B_f, m_o^f :

$$[ABm_o] \begin{bmatrix} X_i \\ U_i \\ e \end{bmatrix} = X_{i+1}; \quad [AB_f m_o^f] \begin{bmatrix} X_j^f \\ U_j \\ e \end{bmatrix} = X_{j+1}^f. \quad (10)$$

Для решения матричных уравнений (10) воспользуемся результатами работы [14], где показано, что линейное матричное уравнение вида

$$XC = D$$

с известными матрицами C и D разрешимо относительно X тогда и только тогда, когда выполняется условие разрешимости

$$D\bar{C}^R = 0. \quad (11)$$

При этом все множество решений определяется формулой

$$X = [D\bar{C}^R \Theta] \begin{bmatrix} \bar{C}^L \\ \bar{C}^L \end{bmatrix} = D\bar{C} + \Theta\bar{C}^L, \quad (12)$$

где Θ — произвольная матрица;

$\bar{C}^L, \bar{C}^R$ — левый и правый делители нуля максимального ранга (т. е. матрицы, для которых выполняются условия $\bar{C}^L C = 0, \bar{C}^R C = 0$);

$\bar{C}^L, \bar{C}^R$ — левый и правый делители единицы ($\bar{C}^L C \bar{C}^R = I$);

$\bar{C} = \bar{C}^R \bar{C}^L$ — обобщенно-обратная матрица, определяемая с помощью канонического разложения вида:

$$C = \begin{bmatrix} \bar{C}^L \\ \bar{C}^L \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} I & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} [\bar{C}^R \bar{C}^R]^{-1}. \quad (13)$$

Каноническое разложение (13) имеет в общем случае неединственный вид и фактически формализует прямые и обратные эквивалентные преобразования матрицы [25]. Использование канонического разложения позволяет получать в аналитическом виде множество решений, имеющих минимальный ранг.

Тогда в соответствии с (11) условиями разрешимости задач идентификации моделей (10), т. е. условиями наличия хотя бы одного решения, являются эквивалентные с точностью до обозначения переменных выражения:

$$X_{i+1} \begin{bmatrix} X_i \\ U_i \\ e \end{bmatrix}^R = 0; \quad X_{j+1}^f \begin{bmatrix} X_j^f \\ U_j^f \\ e \end{bmatrix}^R = 0. \quad (14)$$

При выполнении условий разрешимости (14) все идентифицированные модели согласно (12) могут быть записаны в виде множеств:

$$\begin{aligned} [ABm_o] &= X_{i+1} \begin{bmatrix} X_i \\ U_i \\ e \end{bmatrix} + \Psi \begin{bmatrix} X_i \\ U_i \\ e \end{bmatrix}^L; \\ [AB_f m_o^f] &= X_{j+1}^f \begin{bmatrix} X_j^f \\ U_j^f \\ e \end{bmatrix} + \Upsilon \begin{bmatrix} X_j^f \\ U_j^f \\ e \end{bmatrix}^L, \end{aligned} \quad (15)$$

где Ψ, Υ — произвольные матрицы.

В соответствии с (15) условиями идентифицируемости, т. е. условиями получения единственного решения, являются равенства нулю левых делителей нуля:

$$\begin{bmatrix} X_i \\ U_i \\ e \end{bmatrix}^L = 0; \quad \begin{bmatrix} X_j^f \\ U_j^f \\ e \end{bmatrix}^L = 0. \quad (16)$$

Для определения условий их существования подставим выражения для управлений (2), (5) в (16):

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} X_i \\ U_i \\ e \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} I & 0 & 0 \\ K & G & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_i \\ V_i \\ e \end{bmatrix}; \\ \begin{bmatrix} X_j^f \\ U_j^f \\ e \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} I & 0 & 0 \\ K & G & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_j^f \\ V_j^f \\ e \end{bmatrix}, \end{aligned}$$

где $V_i = [v_i \dots v_{i+h}]$; $V_j = [v_j \dots v_{j+h}^f]$.

Тогда условия идентифицируемости (16) примут вид делителей нуля произведений блочных матриц:

$$\begin{bmatrix} I & 0 & 0 \\ K & G & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_i \\ V_i \\ e \end{bmatrix}^L = 0; \quad \begin{bmatrix} I & 0 & 0 \\ K & G & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_j^f \\ V_j^f \\ e \end{bmatrix}^L = 0,$$

которые при наличии левого делителя нуля матрицы предкомпенсатора ($\bar{G}^L G = 0$) всегда могут быть записаны в виде:

$$\begin{aligned} [0\bar{G}^L 0] \begin{bmatrix} I & 0 & 0 \\ K & G & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_i \\ V_i \\ e \end{bmatrix} &= 0; \\ [0\bar{G}^L 0] \begin{bmatrix} I & 0 & 0 \\ K & G & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_j^f \\ V_j^f \\ e \end{bmatrix} &= 0. \end{aligned}$$

Матрица предкомпенсатора преобразует входные сигналы в сигналы, поступающие непосредственно в АСУ ТП. В научном источнике [23] показано, что в этом случае проблема получения единственного решения задачи идентификации замкнутых объектов будет характерна для любых входных сигналов независимо от наличия информации о параметрах системы управления. Этот факт показывает, что на практике параметрические методы идентификации используются либо с учетом априорной информации о модели объекта, либо с помощью подачи тестовых сигналов непосредственно на АСУ ТП (орган управления) [24, 25].

Проанализируем более подробно условия разрешимости без непосредственного решения задач идентификации. Выражения (14) показывают, что задача идентификации линейной модели объекта разрешима как до, так и после возникновения опасностей (отказа системы). Однако непосредственно в мо-

2. Гвоздев Е. В. Разработка метода обнаружения и агрегирования показателей опасностей, воздействующих на объекты защиты предприятия и окружающую среду // XXI век. Техносферная безопасность. — 2018. — Т. 3, № 3(11). — С. 69–81. DOI: 10.21285/1814-3520-2018-3-69-81.
3. Гвоздев Е. В. Анализ надежности функционирования системы комплексной техносферной безопасности предприятия на основе вероятностей деструктивного воздействия и его преодоления подсистемой безопасности // XXI век. Техносферная безопасность. — 2018. — Т. 3, № 4(12). — С. 51–66. DOI: 10.21285/1814-3520-2018-4-51-66.
4. Гвоздев Е. В. Обоснование централизованного управления комплексной безопасностью объектов защиты техносферы // XXI век. Техносферная безопасность. — 2017. — Т. 2, № 4(8). — С. 97–107.
5. Махутов Н. А., Пермяков В. Н., Ахметханов Р. С., Резников Д. О., Дубинин Е. Ф. Анализ рисков и обеспечение защищенности критически важных объектов нефтегазохимического комплекса : учеб. пособие. — Тюмень : ТюмГНГУ, 2013. — 560 с.
6. Sutton I. Process risk and reliability management. — 2nd ed. — Oxford : Gulf Professional Publishing, 2015. — 798 p. URL: <https://b-ok.org/book/2463300/b6cf53> (дата обращения: 01.12.2018).
7. Assessment of large power transformer risk mitigation strategies. — Fairfax : ICF, October 2016. URL: <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2017/01/f34/Assessment%20of%20Large%20Power%20Transformer%20Risk%20Mitigation%20Strategies.pdf> (дата обращения: 10.12.2018).
8. Махутов Н. А., Резников Д. О., Петров В. П., Кукова В. И. Нормативные подходы к обеспечению защищенности критически важных объектов // Безопасность в техносфере. — 2011. — № 4. — С. 5–12.
9. Billinton R., Allan R. N. Reliability assessment of large electric power systems. — Boston, MA : Springer, 1988. DOI: 10.1007/978-1-4613-1689-3.
10. Popoola J. J., Ponnle A. A., Ale T. O. Reliability worth assessment of electric power utility in Nigeria: Residential customer survey results. URL: http://www.journal.au.edu/au techno/2011/jan2011/journal143_article08.pdf (дата обращения: 10.12.2018).
11. Бутузов С. Ю., Любавский А. Ю. Оценка времени наработки на отказ накопителей информации автоматизированных систем пожаровзрывобезопасности // Технологии техносферной безопасности. — 2011. — Вып. 6(40). URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_20329697_28243844.htm (дата обращения: 01.12.2018).
12. Aneiba A., Melad M. Performance evaluation of AODV, DSR, OLSR, and GRP MANET routing protocols using OPNET // International Journal of Future Computer and Communication. — 2016. — Vol. 5, No. 1. — P. 57–60. DOI: 10.18178/ijfcc.2016.5.1.444.
13. Bhavaraju M. P., Billinton R., Brown R. E., Endrenyi J., Li W., Meliopoulos A. P., Singh C. IEEE tutorial on electric delivery system reliability evaluation // IEEE Power Engineering Society (PES). — 2005. — Publication 05TP175. — P. 39–51.
14. Топольский Н. Г., Бутузов С. Ю., Минеев Е. Н. Автоматизированная система предотвращения аварийных режимов электродвигателей при обнаружении токов утечки и короткого замыкания // Технологии техносферной безопасности. — 2015. — Вып. 3(61). — С. 246–251. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_25101416_29886300.pdf (дата обращения: 01.12.2018).
15. Abhilash B. T., Manjunatha H. M., Ranjan N. A., Tejamoorthy M. E. Reliability assessment of induction motor drive using failure mode effects analysis // IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE). — 2013. — Vol. 6, Issue 6. — P. 32–36.
16. Billinton R., Li W. Reliability assessment of electric power systems using Monte Carlo methods. — New York — London : Plenum Press, 1994. — 351 p. DOI: 10.1007/978-1-4899-1346-3.
17. Special reliability assessment: potential bulk power system impacts due to severe disruptions on the natural gas system. Technical Report. — Atlanta : NERC, November 2017. URL: https://www.nerc.com/ra/RAPA/ra/Reliability%20Assessments%20DL/NERC_SPOD_11142017_Final.pdf (дата обращения: 10.12.2018).
18. Ястребенецкий М. А., Иванова Г. М. Надежность автоматизированных систем управления технологическими процессами : учеб. пособие для вузов. — М. : Энергоатомиздат, 1989. — 264 с.
19. Биргер И. А. Техническая диагностика. — М. : Машиностроение, 1978. — 240 с.
20. Арефьева Е. В., Рыбаков А. В., Арифджанов С. Б. Оценка техногенного риска на основе интегрального индекса // Новости науки Казахстана. — 2018. — Вып. 1(135). — С. 30–42.
21. Мироновский Л. А. Функциональное диагностирование динамических систем. — М.—СПб. : Изд-во МГУ-ГРИФ, 1998. — 256 с.
22. Зыбин Е. Ю. Об идентифицируемости линейных динамических систем в замкнутом контуре в режиме нормальной эксплуатации // Известия ЮФУ. Технические науки. — 2015. — № 4(165). — С. 160–170.

23. Зыбин Е. Ю., Косьянчук В. В. Алгебраический критерий обнаружения факта и времени возникновения отказов в системах управления динамическими объектами // Известия Российской Академии наук. Теория и системы управления. — 2016. — № 4. — С. 50–61. DOI: 10.7868/S0002338816040168.
24. Зыбин Е. Ю. Об особенности моделирования и идентификации дискретных систем в пространстве состояний // Управление в технических системах : матер. конф. — СПб. : ГНЦ РФ–ЦНИИ “Электроприбор”, 2010. — С. 23–26.
25. Зыбин Е. Ю., Косьянчук В. В. Синтез системы управления многосвязного объекта на основе технологии вложения // Автоматика и телемеханика. — 2002. — № 8. — С. 22–36.

REFERENCES

1. E. V. Gvozdev. Deviation algorithm for risk identification by a safety management system of the enterprise. *XXI vek. Tekhnosfernaya bezopasnost' / XXI century. Technosphere Safety*, 2018, vol. 3, no. 2(10), pp. 25–34 (in Russian). DOI: 10.21285/2500-1582-2018-2-25-34.
2. E. V. Gvozdev. Development of a method of detection and aggregation of the indicators of danger influencing subjects to protection of the enterprise and the environment. *XXI vek. Tekhnosfernaya bezopasnost' / XXI century. Technosphere Safety*, 2018, vol. 3, no. 3(11), pp. 69–81 (in Russian). DOI: 10.21285/1814-3520-2018-3-69-81.
3. E. V. Gvozdev. Analysis of reliability of complex enterprise technosphere safety systems based on destructive impact probabilities and destructive impact overcoming by the security subsystem. *XXI vek. Tekhnosfernaya bezopasnost' / XXI century. Technosphere Safety*, 2018, vol. 3, no. 4(12), pp. 51–66 (in Russian). DOI: 10.21285/1814-3520-2018-4-51-66.
4. E. V. Gvozdev. Validation of a centralized complex safety management method for technosphere safety objects. *XXI vek. Tekhnosfernaya bezopasnost' / XXI century. Technosphere Safety*, 2017, vol. 2, no. 4(8), pp. 97–107 (in Russian).
5. N. A. Makhutov, V. N. Permyakov, R. S. Akhmetkhanov, D. O. Reznikov, E. F. Dubinin. *Analiz riskov i obespecheniye zashchishchennosti kriticheski vazhnykh ob'ektov neftegazokhimicheskogo kompleksa* [Risk analysis and ensuring the security of critical facilities of a petrochemical complex]. Tyumen, Tyumen State Oil and Gas University Publ., 2013. 560 p. (in Russian).
6. I. Sutton. *Process risk and reliability management*. 2nd ed. Oxford, Gulf Professional Publishing, 2015. 798 p. Available at: <https://b-ok.org/book/2463300/b6cf53> (Accessed 1 December 2018).
7. *Assessment of large power transformer risk mitigation strategies*. Fairfax, ICF, October 2016. Available at: <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2017/01/f34/Assessment%20of%20Large%20Power%20Transformer%20Risk%20Mitigation%20Strategies.pdf> (Accessed 10 December 2018).
8. N. A. Makhutov, D. O. Reznikov, V. P. Petrov, V. I. Kuksova. Regulatory approaches to ensure safety of critical facilities. *Bezopasnost v tekhnosfere / Safety in Technosphere*, 2011, no. 4, pp. 5–12 (in Russian).
9. R. Billinton, R. N. Allan. *Reliability assessment of large electric power systems*. Boston, MA, Springer, 1988. DOI: 10.1007/978-1-4613-1689-3.
10. J. J. Popoola, A. A. Ponnle, T. O. Ale. Reliability worth assessment of electric power utility in Nigeria: Residential customer survey results. Available at: http://www.journal.au.edu/au_techno/2011/jan2011/journal143_article08.pdf (Accessed 10 December 2018).
11. S. Yu. Butuzov, A. Yu. Lyubavsky. Evaluation of mean time between failure of stores of information of automated systems fire and explosion safety. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti / Technology of Technosphere Safety*, 2011, issue 6(40) (in Russian). Available at: https://elibrary.ru/download/elibrary_20329697_28243844.htm (Accessed 1 December 2018).
12. A. Aneiba, M. Melad. Performance evaluation of AODV, DSR, OLSR, and GRP MANET routing protocols using OPNET. *International Journal of Future Computer and Communication*, 2016, vol. 5, no. 1, pp. 57–60. DOI: 10.18178/ijfcc.2016.5.1.444.
13. M. P. Bhavaraju, R. Billinton, R. E. Brown, J. Endrenyi, W. Li, A. P. Meliopoulos, C. Singh. IEEE tutorial on electric delivery system reliability evaluation. *IEEE Power Engineering Society (PES)*, 2005, Publication 05TP175, pp. 39–51.
14. N. G. Topolskii, S. Yu. Butuzov, E. N. Mineev. The automated system of prevention of emergency operation of electric motors at detection of currents of leak and short circuit. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti / Technology of Technosphere Safety*, 2015, issue 3(61), pp. 246–251 (in Russian). Available at: https://elibrary.ru/download/elibrary_25101416_29886300.pdf (Accessed 1 December 2018).
15. B. T. Abhilash, H. M. Manjunatha, N. A. Ranjan, M. E. Tejamoorthy. Reliability assessment of induction motor drive using failure mode effects analysis. *IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE)*, 2013, vol. 6, issue 6, pp. 32–36.

16. R. Billinton, W. Li. Reliability assessment of electric power systems using Monte Carlo methods. New York, London, Plenum Press, 1994. 351 p. DOI: 10.1007/978-1-4899-1346-3.
17. *Special Reliability Assessment: Potential Bulk Power System Impacts Due to Severe Disruptions on the Natural Gas System*. Technical Report. Atlanta, NERC, November 2017. Available at: https://www.nerc.com/pa/RAPA/ra/Reliability%20Assessments%20DL/NERC_SPOD_11142017_Final.pdf (Accessed 10 December 2018).
18. M. A. Yastrebenetskiy, G. M. Ivanova. *Nadezhnost avtomatizirovannykh sistem upravleniya tekhnologicheskimi protsessami* [Reliability control systems]. Moscow, Energoatomizdat, 1989. 264 p. (in Russian).
19. I. A. Birger. *Tekhnicheskaya diagnostika* [Technical diagnostics]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1978. 240 p. (in Russian).
20. E. V. Aref'eva, A. V. Rybakov, S. B. Arifdjanov. Evaluation of technogenic risk on the basis integral index. *Novosti nauki Kazakhstana / Science News of Kazakhstan*, 2018, issue 1(135), pp. 30–42 (in Russian).
21. L. A. Mironovskiy. *Funktsionalnoye diagnostirovaniye dinamicheskikh sistem* [Functional diagnostics of dynamic systems]. Moscow, Saint Petersburg, MGU-GRIF Publ., 1998. 256 p. (in Russian).
22. E. Yu. Zybin. On identifiability of closed-loop linear dynamical systems under normal operating conditions. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskiye nauki / Izvestiya SFedU. Engineering Sciences*, 2015, no. 4(165), pp. 160–170 (in Russian).
23. E. Yu. Zybin, V. V. Kos'yanchuk. An algebraic criterion for detecting the fact and time a fault occurs in control systems of dynamic plants. *Journal of Computer and Systems Sciences International*, 2016, vol. 55, no. 4, pp. 546–557. DOI: 10.1134/s1064230716040146.
24. E. Yu. Zybin. On the features of modeling and identification of discrete systems in the state space. In: *Upravleniye v tekhnicheskikh sistemakh* [Control in Technical Systems]. Proceedings of Conference. Saint Petersburg, GNTs RF – TsNII “Elektropribor” Publ., 2010, pp. 23–26 (in Russian).
25. E. Yu. Zybin, V. V. Kos'yanchuk. Design of the control system of a multivariable controlled plant using the embedding technology. *Automation and Remote Control*, 2002, vol. 63, no. 8, pp. 1225–1238. DOI: 10.1023/a:1019871124522.

Поступила 03.12.2018; после доработки 28.02.2019; принята к публикации 06.03.2019
Received 3 December 2018; received in revised form 28 February 2019; accepted 6 March 2019

Информация об авторах

ГВОЗДЕВ Евгений Владимирович, канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры пожарной безопасности, Академия гражданской защиты МЧС России, Московская обл., г. Химки, Российская Федерация; e-mail: evgvozdev@mail.ru

БУТУЗОВ Станислав Юрьевич, д-р техн. наук, доцент, заслуженный работник высшей школы РФ, профессор кафедры информационных технологий, Академия ГПС МЧС России, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: butuzov_s_yu@mail.ru

СУЛИМА Тимофей Геннадьевич, канд. воен. наук, начальник научно-исследовательского отдела, Академия гражданской защиты МЧС России, Московская обл., г. Химки, Российская Федерация; e-mail: sulima977@mail.ru

АРИФДЖАНОВ Султан Бахтиярович, канд. техн. наук, чл.-корр. Академии военных наук Республики Казахстан, профессор кафедры гражданской обороны и военной подготовки, Кокшетауский технический институт Комитета по чрезвычайным ситуациям МВД Республики Казахстан, г. Кокшетау, Республика Казахстан; e-mail: ayna_04112011@mail.ru

Information about the authors

Evgeniy V. GVOZDEV, Cand. Sci. (Eng.), Senior Lecturer of Fire Safety Department, Civil Defence Academy of Emercom of Russia, Moscow Region, Khimki, Russian Federation; e-mail: evgvozdev@mail.ru

Stanislav Yu. BUTUZOV, Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor, Honoured Worker of Higher School of the Russian Federation, Professor of Information Technologies Department, State Fire Academy of Emercom of Russia, Moscow, Russian Federation; e-mail: butuzov_s_yu@mail.ru

Timofey G. SULIMA, Cand. Sci. (Military), Head of Research Department, Civil Defence Academy of Emercom of Russia, Moscow Region, Khimki, Russian Federation; e-mail: sulima977@mail.ru

Sultan B. ARIFJANOV, Cand. Sci. (Eng.), Corresponding Member of the Military Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Professor of the Department of Civil Defense and Military Training, Kokshetau Technical Institute of the Committee for Emergency Situations of the Ministry of Internal Affairs of the Republic of Kazakhstan, Kokshetau, Republic of Kazakhstan; e-mail: ayna_04112011@mail.ru

<https://doi.org/10.18322/PVB.2019.28.02.57-65>

УДК 614.841

Натурная проверка противопожарной подготовки сотрудников объекта

© А. А. Семин¹

¹ АО “Первый Московский приборостроительный завод им. В. А. Казакова”
(Россия, 121170, г. Москва, Кутузовский просп., 36)

РЕЗЮМЕ

Введение. Обеспечение безопасности людей в зданиях требует систематического мониторинга как прочности и устойчивости зданий, что обеспечивает их механическую безопасность, так и противопожарной безопасности. Важнейшим мероприятием в системе мониторинга противопожарной защиты людей в зданиях и сооружениях всех классов функциональной пожарной опасности является регулярное (не реже 1 раза в полугодие) проведение практических тренировок лиц, осуществляющих свою деятельность на объекте защиты. При этом, как правило, применяются: печатная информация, лекции, аудиозаписи, слайды, плакаты, кодограммы, видеофильмы, телепрограммы, групповые дискуссии, моделирование ситуации, деловые игры. Однако ни одна из этих форм подготовки не дает возможности оценить реальный уровень знаний и умений, достигнутый персоналом, тем более в сочетании с профилактическими мероприятиями функционирования автоматизированных систем противопожарной защиты.

Аналитическая часть. В статье рассматривается случай “невольного эксперимента” — пожара ограниченного размера в здании лечебного учреждения, который дал возможность оценить достигнутый уровень противопожарного менеджмента и предложить ряд мероприятий по его перспективному совершенствованию. Для достижения поставленных целей решался ряд задач, а именно: проведено анкетирование сотрудников лабораторного корпуса, в котором произошло возгорание; выполнен краткий анализ системы обеспечения пожарной безопасности медицинского учреждения; сформулированы выводы по состоянию уровня культуры безопасности в медицинском учреждении; даны рекомендации по усилению противопожарного режима на объекте.

Выводы. Анализ состояния оперативных служб объекта показал готовность персонала к действиям при возникновении чрезвычайной ситуации. Вместе с тем позднее обнаружение возгорания и в целом неэффективность систем обнаружения подталкивают специалистов к выводам о необходимости применения инновационных технологий в системах пожарной сигнализации для уменьшения времени начала эвакуации.

Ключевые слова: безопасность; автоматизированная система пожаробезопасности; подготовка персонала; практические тренировки; время начала эвакуации; поведение людей; опасные факторы пожара; противопожарный менеджмент.

Для цитирования: Семин А. А. Натурная проверка противопожарной подготовки сотрудников объекта // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2019. — Т. 28, № 2. — С. 57–65. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.02.57-65.

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

Full-scale verification of site personnel’s fire safety training

© Aleksey A. Semin¹

¹ JSC “First Moscow Instrument-Making Plant named after V. A. Kazakov”
(Kutuzovskiy Avenue, 36, Moscow, 121170, Russian Federation)

ABSTRACT

Introduction. Employees’ safety in buildings demands systematic monitoring of both the robustness and stability of buildings, which provide its mechanical safety and fire safety. The most important event in the personnel’s fire-safety monitoring system in building and facilities of all functional fire hazard classes are the systematic (not less than once per six months) practical training of the people, which perform their work on hazard location. As a rule, the following is applied: printed information, lectures, audio recordings, slides, posters, code grams, video films, TV shows, group discussions, situation modeling, game management. However not a single of those training types gives the possibility for assessing the actual level of knowledge of skills achieved by personnel, all the more so in combination with the prevention measures of automated fire safety systems functioning.

Analytical part. In this article we review the case of “involuntary experiment” — small-scale fire in a medical facility, which provided the possibility to assess the achieved level of fire-safety management and offered the range of the measures for its prospective improvement. The number of the problems was solved to achieve the goals, namely: personnel survey of laboratory building, in which the fire outbreak happened; the brief analysis of fire

safety system of the medical facility was conducted; the conclusions were made about the safety culture level in the medical facility; the recommendations were given for enhancing the facility's fire safety system.

Conclusion. The analysis of the facility's operation unit condition showed the personnel's readiness for action during emergency. However, the late detection of fire and low efficiency of the fire detection systems made the specialists think that it is necessary to use innovative technology in fire alarm systems to reduce the evacuation start time.

Keywords: safety; automated fire safety system; personnel training; practical training; evacuation start time; personnel behavior; dangerous fire factors; fire prevention management.

For citation: A. A. Semin. Full-scale verification of site personnel's fire safety training. *Pozharovzryvobezopasnost/ Fire and Explosion Safety*, 2019, vol. 28, no. 2, pp. 57–65 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2019.28.02.57-65.

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

Введение

Самостоятельное спасение человека при пожаре зависит от того, насколько быстро он обнаружит очаг возгорания, сможет ли подавить его и, если ему не удастся этого сделать, сумеет ли покинуть здание до воздействия на него опасных факторов пожара (ОФП), достигших критического для жизни уровня. Как видно, время, имеющееся у него для спасения себя (самоспасения) путем эвакуации, складывается из двух интервалов: времени до начала эвакуации $t_{н.э}$ и времени движения после начала эвакуации от места его нахождения до выхода из здания $t_{э.д}$, а затем удаления от него на безопасное расстояние (вне зоны поражения вторичными факторами пожара и возможного обрушения здания) $t_{д.вн}$.

Очевидно, что время эвакуации $t_{эв}$ людей из зданий ($t_{эв} = t_{н.э} + t_{э.д}$), обеспечивающее их безопасность, должно быть меньше необходимого времени эвакуации $t_{нб}$, т. е. времени, в течение которого люди эвакуируются в безопасную зону до достижения ОФП критических уровней воздействия. Это соотношение и нормируется всеми Техническими регламентами в области обеспечения пожарной безопасности в чрезвычайных ситуациях [1] и нормативными документами, детализирующими их требования [2].

Эти требования должны соблюдаться при проектировании зданий и сооружений. Однако при пожаре может оказаться, что $t_{эв} > t_{нб}$. Такая ситуация может возникнуть как из-за неэффективного срабатывания автоматизированных систем противопожарной защиты, так и из-за недостаточной подготовки людей, находящихся на объекте, к целесообразным действиям при пожаре. Во избежание возникновения такой ситуации на объекте следует регулярно проводить тренировочные занятия по эвакуации, в процессе которых должно проверяться функционирование автоматизированных систем противопожарной защиты, а также подготовленность персонала и посетителей данного объекта. Провести в полном объеме тренировочную эвакуацию весьма сложно, прежде всего из-за проблем, связанных с привлечением к участию в ней посетителей. Эта задача еще более осложняется, если среди по-

сетителей много людей, имеющих проблемы со здоровьем, и/или несовершеннолетних. Для последнего случая эти трудности описаны в исследованиях А. П. Парфененко [3, 4] и Р. Н. Истратова [5, 6]. (Нужно отметить, что проведение таких исследований стало неожиданностью для зарубежных специалистов; публикации их результатов [7] стимулировали проведение подобных исследований за рубежом.) Что касается лечебных учреждений, тренировочная эвакуация с участием пациентов была проведена впервые в поликлиническом корпусе ГБУЗ МО МОНИКИ им. М. Ф. Владимирского [8]. Однако перечисленные примеры можно считать уникальными случаями. В связи с трудностями, возникающими при проведении тренировок по эвакуации, и требованиями нормативных документов проводить их регулярно на объектах медицины такие тренировки ограничиваются в основном взаимодействием с персоналом. Несомненно, поведение персонала — важная составляющая организации эвакуации, влияющая на своевременность ее начала. Показательно, что ISO/TR 16738:2009 [9] устанавливает три уровня менеджмента (М1–М3) в зависимости от степени подготовленности персонала:

- **М1** — высокоподготовленный к действиям при пожаре персонал, в требуемом количестве; проводится независимый аудит пожарной безопасности;
- **М2** — высокоподготовленный к действиям при пожаре персонал, но в меньшем количестве, чем необходимо; независимый аудит пожарной безопасности, как правило, проводится;
- **М3** — персонал, способный выполнить минимальные требования по обеспечению пожарной безопасности; независимый аудит пожарной безопасности не проводится.

Считается, что при уровне менеджмента М3 инженерную оценку пожарной безопасности объекта проводить нецелесообразно.

Однако ни в ISO/TR 16738:2009, ни в одном из отечественных нормативных документов или методических пособий не указываются способы под-

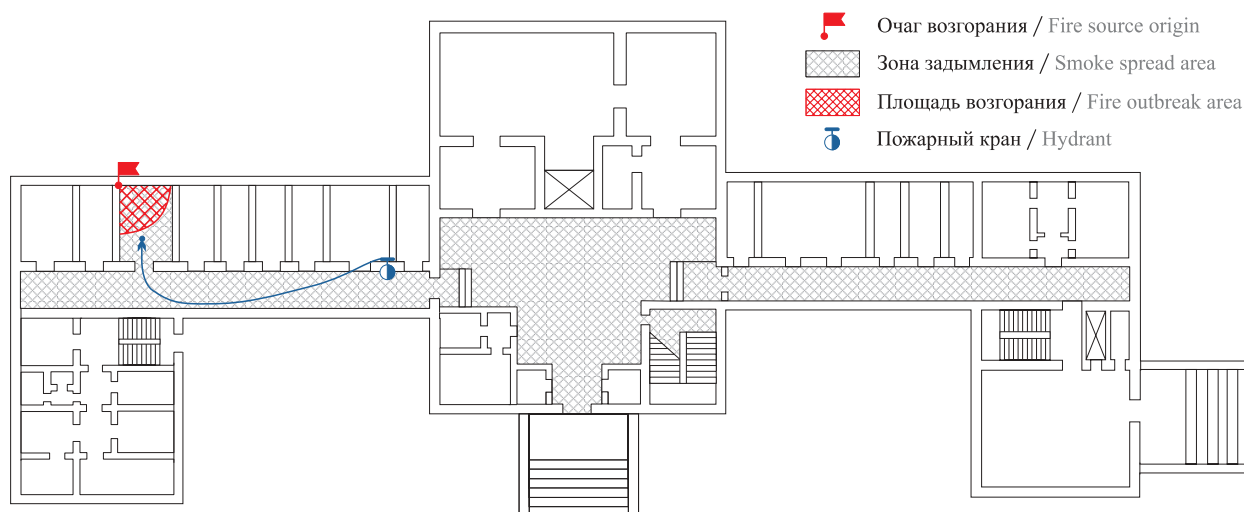


Рис. 1. Место возникновения очага возгорания в помещении на 1-м этаже корпуса № 13 ГБУЗ МО МОНИКИ им. М. Ф. Владимирского в г. Москве

Fig. 1. Fire source origin in the premises on the 1st floor of the building No. 13 of the State-financed health institution, Moscow Region Research and Development Clinical Institution named after M. F. Vladimirovsky in Moscow

тверждения того или иного уровня менеджмента, достигнутого персоналом конкретного объекта.

В связи с этим особый интерес представляет пожар (площадью 4 м²), происшедший в лабораторном корпусе МОНИКИ 03.03.2018 г. Пожар был потушен за 9 мин прибывшим пожарно-спасательным подразделением (далее — ПСП) МЧС.

Основной функциональный контингент в корпусе составляют сотрудники лабораторий (95 %), пациентов всего 5 %. Поэтому в данном случае поведение сотрудников при пожаре можно рассматривать как “невольный эксперимент” по проверке уровня их подготовки к действиям при пожаре.

Целями написания настоящей статьи являются: установление времени начала эвакуации в медицинских учреждениях; определение психологического состояния сотрудников во время эвакуации и после нее; анализ уровня подготовки к действиям при пожаре дежурного персонала медицинского учреждения. Для достижения поставленных целей решались следующие задачи: проводилось анкетирование сотрудников лабораторного корпуса, которые являлись непосредственными участниками ситуации; осуществлялся мониторинг состояния системы обеспечения пожарной безопасности медицинского учреждения.

Невольный эксперимент

Пожар возник в результате короткого замыкания в электропитании компьютера, расположенного в помещении на 1-м этаже корпуса (рис. 1). Сработала автоматическая система оповещения, и сотрудники отдела пожарной безопасности МОНИКИ вызвали службы МЧС по прямой телефонной линии, а сами выдвинулись к месту возникновения пожара.

Прибывшие пожарные подразделения при въезде на территорию встречал сотрудник охраны. Они достаточно оперативно произвели развертывание сил и средств, хотя из-за плотного дыма попасть в помещение не удалось и первый ствол на локализацию возгорания пришлось подавать почти “на ощупь”. Возгорание было полностью ликвидировано в течение 9 мин (рис. 2). По оценке техника ПСП площадь пожара составила 4 м².

Специальными исследованиями установлено [10], что время начала эвакуации определяется затратами времени на обнаружение очага возгорания $t_{об}$; оповещение и объявление тревоги $t_{оп}$; осмысление и оценку сложившейся ситуации после оповещения t_o ;



Рис. 2. Очаг возгорания (компьютер) после тушения пожара
Fig. 2. Fire source origin (computer) after fire extinguishing

физическую подготовку $t_{\text{подг}}$ (сбор документов, вещей, выключение оборудования и т. п.):

$$t_{\text{н.э}} = (t_{\text{об}} + t_{\text{оп}}) + t_0 + t_{\text{подг}}. \quad (1)$$

Сумма $(t_{\text{об}} + t_{\text{оп}})$ характеризует не только техническую инерционность систем обнаружения и оповещения о пожаре [11], но и их надежность: при $(t_{\text{об}} + t_{\text{оп}}) \Rightarrow \infty$ имеем практический отказ систем.

Корпус № 13 оборудован традиционной СОУЭ типа II, и ее срабатывание свидетельствует о надлежном проведении профилактических мероприятий противопожарной службой ГБУЗ МО МОНИКИ.

В то же время какими бы системами СОУЭ ни был оборудован объект, они не могут ликвидировать возгорание: для этого нужны автоматизированные системы пожаротушения. Однако оснащение автоматическими установками пожаротушения зданий здравоохранения такой этажности, как корпус № 13, нормативными документами не предусматривается. Хорошо, что пожарно-спасательное подразделение 10 ПЧ 21-го отряда ФПС по г. Москве сумело (при пробках на дорогах) прибыть в МОНИКИ своевременно. Тем не менее к этому времени возгорание уже перешло в стадию начала активного распространения горения с интенсивным выделением ОФП.

К моменту прибытия ПСП МЧС весь персонал корпуса № 13 успел эвакуироваться. Для оказания помощи пострадавшим, если они есть, на место ЧС прибыл дежурный врач со списком людей, находившихся в корпусе. Пересчет эвакуировавшихся людей проводился старшей медицинской сестрой и заведующим отделением. Последующая проверка по спискам, не остался ли кто-либо в корпусе, подтвердила отсутствие в нем людей. Никто из эвакуировавшихся людей не делал попыток и не высказывал желания вернуться в корпус во время пожара и при его ликвидации.

Самопроверка персонала своей готовности к действиям при пожаре

В формуле (1) учитываются не только технические параметры функционирования систем противопожарной автоматики, но и факторы, которые напрямую зависят от человека. Это время на осмысление и оценку ситуации t_0 и время на подготовку к эвакуации $t_{\text{подг}}$. Значения именно этих параметров и определяют уровень пожарного менеджмента (рис. 3).

Для анализа достигнутого уровня противопожарного менеджмента сотрудниками корпуса № 13 и разработки мероприятий по его повышению позже было решено провести анкетный опрос о восприятии сотрудниками обстановки в период возникновения пожара и об их действиях. Вопросы анкеты и структура ответов на них приведены в таблице.

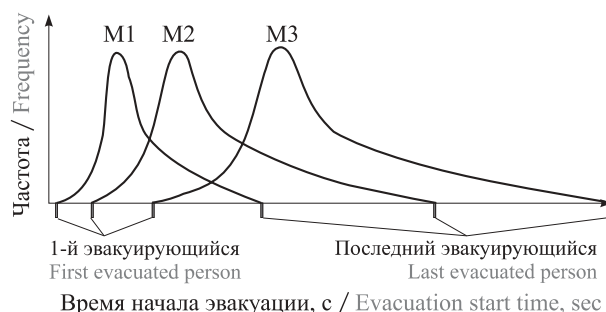


Рис. 3. Влияние уровня противопожарного менеджмента на время начала эвакуации людей [9]

Fig. 3. The influence of fire safety management on evacuation start time [9]

Анкетирование проводилось анонимно. Количество подготовленных анкет равнялось числу сотрудников, которые забирали их самостоятельно, без постороннего контроля. Возвращение заполненных анкет также не контролировалось. Было возвращено 50 % анкет, что соответствует международному опыту проведения такой формы анкетирования [12–15]. Полученные на вопросы анкеты ответы позволяют сформулировать следующие комментарии.

Вопрос № 1 предполагал три варианта ответов. Ответы на него показывают, что 40 % сотрудников получили информацию о начале пожаре, ощутив запах гари и дыма. Эта часть людей находилась, по-видимому, ближе к источнику возгорания. Следовательно, системы обнаружения и оповещения сработали позже, чем появились признаки опасных факторов пожара. Этот факт говорит о слишком высокой инерционности СОУЭ, которой оборудовано здание.

Вопрос № 2 касался первых действий людей после получения информации о пожаре и имел для ответа на него два варианта подсказки: испугался, растерялся. При том что 100 % персонала действовали рационально, эти подсказки позволили выявить наличие среди них двух категорий людей: у первых реакцией на чрезвычайную ситуацию является чувство растерянности и страха, вторые реагируют на возникшую угрозу четко и решительно. Можно констатировать, что полученные ответы характеризуют видение своих первых действий непосредственными участниками эвакуации вне зависимости от испытываемых ими чувств. Нужно отметить их искренность в ответах на вопросы анкеты.

Вопрос № 3 предлагает участникам эвакуации самим оценить, за какое время они покинули здание. В ответах на этот вопрос проявляется отмеченная ранее проф. В. В. Холщевниковым [16] такая особенность, как оценка людьми времени на основании их сенсорных ощущений, подчиняющаяся логарифмической зависимости. Так, из полученных ответов следует, что 60 % людей оценивают это время

Вопросы анкеты и ответы на них / Questions and answers in the questionnaire

Вопрос / Question	Вариант ответа / Answer variant	Число респондентов, % Number of surveyed, %
1. Из какого источника вы узнали о пожаре? / How did you learn about the fire?	Система оповещения, сотрудник службы безопасности / Public address system, safety department employee	60
	Запах гари и дыма / Burning and smoke odor	40
2. Ваши чувства (испугался, растерялся) и первые действия после получения информации? / What are your reaction (fear, was unfocused) and the first actions after receiving information about the fire?	Помогал пожилым сотрудникам и пациентам / Helped elderly employees and patients	5
	Отключил электричество, проинформировал коллег / Switched off electricity, informed colleagues	10
	Сразу покинул здание / Immediately left the building	85
3. Через какое время после получения информации Вы вышли из помещения? / How much time had passed when you left the building after receiving the information about the fire?	Сразу же / Immediately	25
	3–5 мин / 3–5 minutes	60
	Прочее / Other	15
4. Что вы взяли с собой при эвакуации из корпуса? / What did you take during the evacuation?	Личные вещи (сумка, верхняя одежда) / Personal belongings (bag, outdoor clothes)	100
5. Закрывали ли вы дверь после выхода из помещения? / Did you close the door after leaving the premises?	Да / Yes	10
	Нет / No	90
6. Чувствовали ли вы запах дыма? / Did you smell the smoke?	Да / Yes	95
	Нет / No	5
7. По какой лестничной клетке проводилась эвакуация? / What staircase was used for evacuation?	Основная / Primary	90
	Запасная / Safety staircase	10
8. Лестничная клетка была ли задымлена? / Was there smoke on the staircase?	Да / Yes	70
	Нет / No	30
9. Какие Ваши первые действия после выхода на улицу? / What were your first actions after getting outside?	Ожидали, когда закончат действовать пожарные подразделения; ушли в другие корпуса; отошли на безопасное расстояние / Waited until the fire-fighting team finishes their work; went to other buildings; went to safe distance	80
	Ступор и глубокое дыхание / Stupefaction and deep breathing	10
	Позвонил коллегам и родным / Called colleagues and close relatives	10

в 3–5 мин (среднее статистической выборки), некоторые — в 10 мин, а в одной из анкет было указано даже 30 мин.

Конечно, никто из сотрудников не дожидался начала общей эвакуации, как предлагается считать в методике [17].

Вопрос № 4 достаточно традиционен для подобных опросов, соответственно и ответ, полученный на него, также традиционен.

Вопрос № 5 содержит скрытую подоплеку, поскольку закрытая дверь ограничивает поступление кислорода в среду помещения и тем самым тормозит реакцию горения, но есть ли резон тратить время на закрывание двери на ключ?

Вопрос № 6 позволяет выяснить динамику развития опасных факторов пожара и эффективность системы противодымной вентиляции. Ответ на него

свидетельствует о низкой эффективности автоматизированных систем: во-первых, об их позднем срабатывании; во-вторых, о недостаточной производительности системы противодымной вентиляции для ограничения распространения ОФП помещением очага пожара, как того требуют Технические регламенты № 123 [2] и № 384 [1]. Несмотря на то что все системы отработали в заданном режиме, они не смогли определить возгорание на ранней стадии пожара и информировать людей о происшедшем возгорании в здании. Во всех нормативных документах считается, что достаточно проверять только функционирование извещателей методом избыточного давления (например, аэрозоль), при этом никогда не осуществляется проверка наиважнейшего параметра — фактического порога срабатывания [18]. Между тем в процессе эксплуатации пожарные

дымовые датчики теряют свою чувствительность, а такой критерий, как порог срабатывания, снижается до неизвестно каких низких значений.

Вопросы № 7 и 8 взаимосвязаны, и было бы лучше их совместить, поскольку исходя из ответа на вопрос о задымлении лестничной клетки трудно точно решить, к какой из двух использованных лестничных клеток он относится. Однако, поскольку 10 % людей эвакуировались по запасной лестничной клетке, более удаленной от помещения очага пожара, то можно полагать, что 10 % ответов об отсутствии дыма относится именно к этой лестничной клетке. Следовательно, 20 % людей из 90 % эвакуировавшихся по основной лестничной клетке шли по ней, когда она уже была задымлена. Этот факт еще раз свидетельствует о невыполнении требований Технических регламентов № 123 и № 384 по локализации ОФП в пределах помещения очага пожара. Поскольку известно [19], что при расчетах индивидуального пожарного риска [20] потеря видимости в дыму наступает раньше критических уровней воздействия других ОФП, фиксация большинством эвакуирующихся факта задымления лестничной клетки в ходе этого “невольного эксперимента” сигнализирует о низкой эффективности штатных автоматических систем и о возможности гибели людей из-за потери видимости на пути эвакуации при более длительном развитии пожара [21–24].

Вопрос № 9 касается принципиального положения — рациональности поведения людей после эвакуации из здания. Показательно, что доля людей (10 %), которые указали в ответе на вопрос № 9 “ступор и глубокое дыхание”, совпадает с долей людей, которые дополнительно указали, что они испытали “чувство растерянности и страха”. Можно полагать, что это были одни и те же люди.

В то же время более принципиальное значение имеет то, что 80 % эвакуирующихся образовали толпу “зевак”, любопытствующих, что же будет дальше. А дальше могло последовать разрушение здания, и они могли бы подвергнуться воздействию вторичных факторов пожара [2]. Следовательно, вместо того чтобы создавать “толкучку”, им следовало выйти из зоны возможного обрушения здания.

Выводы

Анализ действий пожарных подразделений ГБУЗ МО МОНИКИ им. М. Ф. Владимирского, МЧС г. Москвы и поведения сотрудников корпуса № 13 показывает, что они действовали штатно, в соответствии с требованиями инструкций. С позиций противопожарного менеджмента его состояние в корпусе № 13 можно отнести к уровню М1, но с замечаниями. Одни из них можно отнести к категории рекомендуемых для повышения целесообразности

поведения сотрудников учреждения при пожаре, другие же находятся вне сферы возможностей обучаемых сотрудников, поскольку они касаются инноваций в сфере создания автоматизированных систем противопожарной защиты здания.

К первой категории относится разъяснение сотрудникам необходимости самим и пациентам под их руководством после эвакуации из здания удалиться от него на безопасное расстояние из-за возможности его обрушения. Минимальное безопасное расстояние, на которое нужно удалиться от горящего здания, составляет 1,5 его высоты. Классическим примером обрушения зданий является обрушение зданий Всемирного торгового центра в Нью-Йорке в результате террористической атаки. Кроме того, имеются многочисленные отечественные примеры обрушения зданий, которые в последнее время активно обсуждаются в СМИ.

В плане повышения уровня готовности сотрудников к наиболее целесообразным действиям особое внимание следует обратить на тот факт, что около 10 % из них испытывают растерянность и чувство страха при обнаружении признаков начала пожара, а после окончания эвакуации у них наблюдается “ступор и глубокое дыхание”. Это говорит о необходимости деликатного подхода к выявлению этой группы лиц и организации для них специальной психологической подготовки.

Вторая категория замечаний обусловлена двумя факторами — очень поздним обнаружением автоматизированными системами загорания и их неэффективностью в локализации очага пожара. В настоящее время имеются два пути по устранению этих недостатков. Для повышения надежности и сокращения времени срабатывания систем обнаружения пожара необходимо: во-первых, оборудовать их современными датчиками сверхраннего обнаружения [25], которые уже прошли успешное испытание во ВНИИПО МЧС; во-вторых, делать современные системы оповещения беспроводными [26]. Подавление очага пожара должно выполняться на ранних стадиях его возникновения с использованием автоматизированных систем оперативного пожаротушения [27].

Оба эти направления по внедрению инноваций в области противопожарной защиты зданий соответствуют указу Президента о развитии приоритетных технологий и безопасности [28], но требуют значительных материальных затрат, финансовых средств на которые, как всегда, не хватает. Руководству учреждений и владельцам зданий, в которых они находятся, можно рекомендовать подумать о создании фондов накопления на реализацию этих мероприятий. Это будет соответствовать тенденциям устойчивого развития средств и методов обеспечения безопасности людей сегодня и в перспективе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений : Федер. закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ (ред. от 02.07.2013). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_95720/ (дата обращения: 10.01.2019).
2. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон РФ от 22.07.2008 № 123-ФЗ (ред. от 29.07.2017). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_78699/ (дата обращения: 25.01.2019).
3. Парфененко А. П. Нормирование требований пожарной безопасности к эвакуационным путям и выходам в зданиях детских дошкольных образовательных учреждений : дис. ... канд. техн. наук. — М., 2012. — 153 с.
4. Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A., Parfyonenko A. P., Belosokhov I. R. Study of children evacuation from pre-school education institutions // *Fire and Materials*. — 2012. — Vol. 36, No. 5-6. — P. 349–366. DOI: 10.1002/fam.2152.
5. Истратов Р. Н. Нормирование требований пожарной безопасности к эвакуационным путям и выходам в стационарах социальных учреждений по обслуживанию граждан пожилого возраста : дис. ... канд. техн. наук. — М., 2014. — 160 с.
6. Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A., Istratov R. N. The problems of elderly people safe evacuation from senior citizen health care buildings in case of fire // *Human Behaviour In Fire : Proceedings of 5th International Symposium*. — Cambridge, UK, 2012. — P. 587–593.
7. Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A., Parfenenko A. P. Pre-school and school children building evacuation // *Proceedings of the Fourth International Symposium on Human Behaviour in Fire*. — UK, Cambridge, 2009. — P. 243–254.
8. Сёмин А. А., Фомин А. М., Холицевников В. В. Проблема организации безопасной эвакуации пациентов лечебных учреждений при пожаре // *Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety*. — 2018. — Т. 27, № 7-8. — С. 74–88. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.07-08.74-88.
9. ISO/TR 16738:2009. Fire-safety engineering — Technical information on methods for evaluating behaviour and movement of people. — Geneva, Switzerland : ISO, 2009.
10. Холицевников В. В., Самошин Д. А., Парфененко А. П., Кудрин И. С., Истратов Р. Н., Белосохов И. Р. Эвакуация и поведение людей при пожаре : учеб. пособие. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2015. — 262 с.
11. Самошин Д. А., Холицевников В. В. Проблемы нормирования времени начала эвакуации // *Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety*. — 2016. — Т. 25, № 5. — С. 37–51. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.05.37-51.
12. Wood P. G. The behaviour people in fires // *British Note 933*. — Borehamwood, UK : Building Research Establishment, November 1972. — 113 p.
13. Дутов В. И., Чурсин И. Г. Психофизиологические и гигиенические аспекты деятельности человека при пожаре. — М. : Защита, 1993. — 202 с.
14. Pauls J. L. Building evacuation: findings and recommendations // *Fires and Human Behaviour / D. Canter (ed.)*. — London, John Wiley, 1980. — P. 251–276.
15. Boyce K. E. Egress capabilities of people with disabilities : PhD Thesis. — Belfast : University of Ulster, 1996.
16. Холицевников В. В. Людские потоки в зданиях, сооружениях и на территории их комплексов : дис. ... д-ра техн. наук. — М., 1983. — 442 с.
17. Пособие по применению “Методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности”. — М. : ВНИИПО, 2014. — 226 с.
18. Саутин И. Концепция построения безопасной противопожарной автоматики // *Алгоритм безопасности*. — 2015. — № 4. — С. 68–70.
19. Холицевников В. В., Самошин Д. А., Белосохов И. Р., Истратов Р. Н., Кудрин И. С., Парфененко А. П. Парадоксы нормирования обеспечения безопасности людей при эвакуации из зданий и пути их устранения // *Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety*. — 2011. — Т. 20, № 3. — С. 41–51.
20. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности : приказ МЧС России от 30.06.2009 № 382 (в ред. от 02.12.2015). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902167776> (дата обращения: 25.01.2019).
21. Hokugo Akihino. Observation study of people evacuation from buildings in fire : PhD Diss. — Japan, Kobe : Kobe University, 1985.

22. Boyce K. E., Purser D. A., Shields T. J. Experimental studies to investigate merging behaviour in a staircase // *Fire and Materials*. — 2012. — Vol. 36, Issue 5-6. — P. 383–398. DOI: 10.1002/fam.1091.
23. Lizhong Yang, Ping Rao, Kongjin Zhu, Shaobo Liu, Xin Zhan. Observation study of pedestrian flow on staircases with different dimensions under normal and emergency conditions // *Safety Science*. — 2012. — Vol. 50, Issue 5. — P. 1173–1179. DOI: 10.1016/j.ssci.2011.12.026.
24. Kholshchevnikov V. V., Shields T. J., Boyce K. E., Samoshin D. A. Recent developments in pedestrian flow theory and research in Russia // *Fire Safety Journal*. — 2008. — Vol. 43, Issue 2. — P. 108–118. DOI: 10.1016/j.firesaf.2007.05.005.
25. Саутин И. Новый взгляд. Дымовые точечные извещатели // *Инновации. Техника и технологии*. — 2016. — № 1(44). — С. 213–215.
26. Иванников А. П. Комплексная оценка функционирования беспроводных систем обнаружения пожаров на объектах энергетики : дис. ... канд. техн. наук. — М., 2017.
27. Холщевников В. В., Серков Б. Б. Значимость автоматических систем противопожарной защиты для обеспечения безопасности людей в высотных зданиях // *Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety*. — 2017. — Т. 26, № 9. — С. 44–53. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.09.44-53.
28. Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критичных технологий Российской Федерации : Указ Президента РФ от 07.07.2011 № 899 (ред. от 16.12.2015). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902287707> (дата обращения: 25.01.2019).

REFERENCES

1. *Technical regulation of buildings and structures safety*. Federal Law on 30 December 2009 No. 384-FZ (ed. 2 July 2013) (in Russian). Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_95720/ (Accessed 10 January 2019).
2. *Technical regulations for fire safety requirements*. Federal Law on 22 July 2008 No. 123-FZ (ed. 29 July 2017) (in Russian). Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_78699/ (Accessed 25 January 2019).
3. A. P. Parfenenko. *Rationing of fire safety requirements for evacuation routes and exits in buildings of preschool educational institutions*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, 2012. 153 p. (in Russian).
4. V. V. Kholshchevnikov, D. A. Samoshin, A. P. Parfyonenko, I. R. Belosokhov. Study of children evacuation from pre-school education institutions. *Fire and Materials*, 2012, vol. 36, no. 5-6, pp. 349–366. DOI: 10.1002/fam.2152.
5. R. N. Istratov. *Rationing of requirements of fire safety to evacuation ways and exits in hospitals of social establishments on service of citizens of advanced age*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, 2014. 160 p. (in Russian).
6. V. V. Kholshchevnikov, D. A. Samoshin, R. N. Istratov. The problems of elderly people safe evacuation from senior citizen health care buildings in case of fire. In: *Human Behaviour in Fire. Proceedings of 5th International Symposium*. Cambridge, UK, 2012, pp. 587–593.
7. V. V. Kholshchevnikov, D. A. Samoshin, A. P. Parfenenko. Pre-school and school children building evacuation. In: *Proceedings of the Fourth International Symposium on Human Behaviour in Fire*. UK, Cambridge, 2009, pp. 243–254.
8. A. A. Semin, A. M. Fomin, V. V. Kholshchevnikov. Problem of organization of safe evacuation of healthcare institution patients in case of fire. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 7-8, pp. 74–88 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.07-08.74-88.
9. ISO/TR 16738:2009. *Fire-safety engineering — Technical information on methods for evaluating behaviour and movement of people*. Geneva, Switzerland, ISO, 2009.
10. V. V. Kholshchevnikov, D. A. Samoshin, A. P. Parfenenko, I. S. Kudrin, I. R. Istratov, I. R. Belosokhov. *Evakuatsiya i povedeniye lyudey pri pozhare* [Evacuation and behavior of people in case of fire]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2015. 262 p. (in Russian).
11. D. A. Samoshin, V. V. Kholshchevnikov. Problems of regulation of time to start evacuation. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 5, pp. 37–51. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.05.37-51.
12. P. G. Wood. The behaviour people in fires. *British Note 933*. Borehamwood, UK, Building Research Establishment, November 1972. 113 p.
13. V. I. Dutov, I. G. Chursin. *Psikhofiziologicheskiye i gigiyenicheskiye aspekty deyatel'nosti cheloveka pri pozhare* [Psychophysiological and hygienic aspects of human activity in case of fire]. Moscow, Zashchita Publ., 1993. 202 p. (in Russian).

14. J. L. Pauls. Building evacuation: findings and recommendations. In: D. Canter (ed.). *Fires and Human Behaviour*. London, John Wiley, 1980, pp. 251–276.
15. K. E. Boyce. *Egress capabilities of people with disabilities*. PhD Thesis. Belfast, University of Ulster, 1996.
16. V. V. Kholshchevnikov. *Human flows in buildings, structures and on adjoining territories*. Dr. tech. sci. diss. Moscow, 1983. 442 p. (in Russian).
17. *Manual on the application of "Technique of determination of settlement sizes of fire risk in buildings, constructions and structures of various classes of functional fire danger"*. Moscow, VNIPO Publ., 2014. 226 p. (in Russian).
18. I. Sautin. The concept of building a safe fire automatics. *Algoritm bezopasnosti / Security Algorithm*, 2015, no. 4, pp. 68–70 (in Russian).
19. V. V. Kholshchevnikov, D. A. Samoshin, I. R. Belosokhov, R. N. Istratov, I. S. Kudrin, A. P. Parfenenko. The paradoxes of safe buildings evacuation regulations and their resolution. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 3, pp. 41–51 (in Russian).
20. Technique of determination of settlement sizes of fire risk in buildings, constructions and structures of various classes of functional fire danger. Order of Emercom of Russia on 30 June 2009 No. 382 (ed. on 2 December 2015) (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902167776> (Accessed 25 January 2019).
21. Hokugo Akihino. *Observation study of people evacuation from buildings in fire*. PhD Diss. Japan, Kobe, Kobe University, 1985.
22. K. E. Boyce, D. A. Purser, T. J. Shields. Experimental studies to investigate merging behaviour in a staircase. *Fire and Materials*, 2012, vol. 36, issue 5–6, pp. 383–398. DOI: 10.1002/fam.1091.
23. Lizhong Yang, Ping Rao, Kongjin Zhu, Shaobo Liu, Xin Zhan. Observation study of pedestrian flow on staircases with different dimensions under normal and emergency conditions. *Safety Science*, 2012, vol. 50, issue 5, pp. 1173–1179. DOI: 10.1016/j.ssci.2011.12.026.
24. V. V. Kholshchevnikov, T. J. Shields, K. E. Boyce, D. A. Samoshin. Recent developments in pedestrian flow theory and research in Russia. *Fire Safety Journal*, 2008, vol. 43, issue 2, pp. 108–118. DOI: 10.1016/j.firesaf.2007.05.005.
25. I. Sautin. New look. Smoke point detectors. *Innovatsii. Tekhnika i tekhnologii / Innovations. Equipment & Technologies*, 2016, no. 1(44), pp. 213–215 (in Russian).
26. A. P. Ivannikov. *Complex assessment of the operation of wireless fire detection systems at power facilities*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, 2017 (in Russian).
27. V. V. Kholshchevnikov, B. B. Serkov. Importance of automatic fire protection systems to ensure the safety of people in high-rise buildings. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 9, pp. 44–53 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.09.44-53.
28. *On the approval of the priority directions of development of science, technology and technology in the Russian Federation and the list of critical technologies of the Russian Federation*. Decree of the President of the Russian Federation on 7 July 2011 No. 899 (ed. on 16 December 2015) (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902287707> (Accessed 25 January 2019).

Поступила 20.02.2019; после доработки 25.03.2019; принята к публикации 01.04.2019
Received 20 February 2019; received in revised form 25 March 2019; accepted 1 April 2019

Информация об авторе

СЕМИН Алексей Алексеевич, ведущий специалист по пожарной безопасности, АО «Первый Московский приборостроительный завод им. В. А. Казакова», г. Москва, Российская Федерация; соискатель ученой степени канд. техн. наук Академии ГПС МЧС России, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: symin89@mail.ru

Information about the author

Aleksey A. SEMIN, Leading Fire Safety Engineer, JSC “First Moscow Instrument-Making Plant named after V. A. Kazakov”, Moscow, Russian Federation; Cand. Sci. (Eng.) Seeker, State Fire Academy of Emercom of Russia, Moscow, Russian Federation; e-mail: symin89@mail.ru

Моделирование процесса эвакуации из высотных зданий и сооружений с использованием пассажирских лифтов

© М. В. Гравит¹, И. Н. Карькин², И. И. Дмитриев^{1(✉)}, К. А. Кузенков¹

¹ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (Россия, 195251, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29)

² FireCat (ИП "Карькин И. Н.") (Россия, 620062, Свердловская обл., г. Екатеринбург, ул. Первомайская, 66, кв. 4)

РЕЗЮМЕ

Введение. В связи с возрастанием количества многоэтажных зданий и сооружений и тенденцией увеличения числа пожилых людей особенно остро встает вопрос об эвакуации людей с ограниченной мобильностью из таких зданий. В высотных зданиях пути эвакуации очень протяженные, что делает процесс эвакуации для данных групп не только трудным и опасным, но и физически невозможным. При этом большинство препятствий для использования лифтов в качестве основного пути эвакуации устранено если не полностью, то частично.

Цель статьи — моделирование эвакуации людей из высотного здания с применением лифтов в качестве одного из основных путей. При этом поставлены следующие задачи: 1) определить зависимость времени эвакуации от параметров движения людей разных групп мобильности; 2) сравнить расчетное время эвакуации по лестничной клетке и с использованием лифтов.

Методика. Программный комплекс Pathfinder применялся для расчета эвакуации людей из смоделированного здания. Время эвакуации рассчитывалось для случаев эвакуации как исключительно по лестницам, так и при частичном использовании лифтовых узлов. Расчеты проводились с учетом наличия маломобильной группы населения.

Результаты и обсуждение. Определено влияние на расчетное время эвакуации с использованием лифтов параметров времени (начала эвакуации и задержки подачи сигнала), состава потока (моделирование с учетом различных групп мобильности), а также этажа начала эвакуации для каждой группы. Выполнено сравнение времени эвакуации по лестничной клетке и с использованием лифтов. Получены зависимости наиболее оптимального процентного соотношения количества людей, использующих первый и второй варианты эвакуации.

Заключение. Требования к пожаробезопасности лифтов столь же высоки, как и для незадымляемых лестничных клеток. В 60-этажных офисных зданиях (в отличие от 20-этажных) использование лифтов и меры по управлению людским потоком существенно сокращают расчетное время эвакуации. Для высотных зданий в перспективе необходимо рассматривать организацию эвакуации с применением лифтов.

Ключевые слова: многоэтажные здания и сооружения; пожарная безопасность; моделирование пожара; эвакуация; параметры движения людей; опасные факторы пожара; пожарный лифт; группы мобильности.

Для цитирования: Гравит М. В., Карькин И. Н., Дмитриев И. И., Кузенков К. А. Моделирование процесса эвакуации из высотных зданий и сооружений с использованием пассажирских лифтов // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2019. — Т. 28, № 2. — С. 66–80. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.02.66-80.

✉ Дмитриев Иван Игоревич, e-mail: i.i.dmitriev@yandex.ru

Simulation of evacuation process in high-rise buildings and structures with using passenger elevators

© Marina V. Gravit¹, Ilya N. Karkin², Ivan I. Dmitriev^{1(✉)}, Kirill A. Kuzenkov¹

¹ Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (Polytechnicheskaya St., 29, Saint Petersburg, 195251, Russian Federation)

² FireCat (PE "I. N. Karkin") (Pervomayskaya St., 66, Apartment 4, Ekaterinburg, Sverdlovsk Region, 620062, Russian Federation)

ABSTRACT

Introduction. The number of multi-storey buildings and structures increases every year. Now there is an improving tendency of elderly people who remains be able to work even in old age. The issue of evacuation people with reduced mobility is especially acute. In high-rise buildings, evacuation paths are very long, which makes the evacuation process for these groups not only difficult and dangerous, but also physically impossible. At the same time, most problems with using elevators as the main evacuation path have been almost solved.

The article's purpose is to simulate the evacuation process from a high-rise building with using elevators as one of the main path. Tasks: 1) determine the evacuation time dependence on the movement parameters of people different mobility groups; 2) compare the evacuation time on the staircase and through the elevators.

Methods. The Pathfinder PC was used to calculate the people evacuation from a modeled building. The evacuation time was calculated using both ladders exclusively and with partial use of vertical elevator units. The calculations were carried out taking into account the presence of the reduced mobility population group.

Results and discussion. The evacuation time was obtained using only the ladder and compared with the theoretical computation. The effect on evacuation time with time parameters (the evacuation start and signal delay), the flow composition (various mobility groups), and the evacuation base level for each group are calculated. The evacuation time is compared on the staircase and through elevators. Optimal percentage dependences of people, who use the first and second versions of evacuation, are obtained.

Conclusion. The requirements for fire elevators safety are as high as for non-smoke-free staircases. In 60-storey office buildings (in contrast to the 20-storey), the use of elevators and manage measures for the human flow significantly reduce the evacuation time. For high-rise buildings in the future, it is necessary to consider the organization of evacuation with the use of elevators.

Keywords: multi-storey buildings and structures; fire safety; fire simulation; evacuation; movement parameters of people; dangerous fire factors; fire lift; mobility group.

For citation: M. V. Gravit, I. N. Karkin, I. I. Dmitriev, K. A. Kuzenkov. Simulation of evacuation process in high-rise buildings and structures with using passenger elevators. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2019, vol. 28, no. 2, pp. 66–80 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2019.28.02.66-80.

✉ Ivan Igorevich Dmitriev, e-mail: i.i.dmitriev@yandex.ru

Введение

Несмотря на развитие строительных технологий и наличие “умной” электроники в уникальных и высотных зданиях и сооружениях, выполнение требований пожарной безопасности, а также принятие дополнительных мер по ее усилению продолжает оставаться одним из важнейших аспектов как на этапе проектирования зданий и сооружений, так и в процессе эксплуатации объекта. С ростом этажности зданий увеличивается количество людей, проживающих в пределах одного объекта, что прямо пропорционально сказывается на плотности людского потока при эвакуации и, в свою очередь, отрицательно влияет на показатель индивидуального пожарного риска. И хотя по данным МЧС России наблюдается тенденция ежегодного снижения количества пожаров и числа погибших (табл. 1), данная тема продолжает оставаться актуальной [1].

Важным параметром, влияющим на скорость движения людского потока при эвакуации из здания, является возрастной состав, тип и количество маломобильных групп населения (МГН). По оценкам World Health Organization [2] к 2050 г. на планете число по-

жилых людей (в возрасте 60 лет и старше) увеличится в 3 раза и достигнет 2 млрд. чел., а в России — 50 млн. чел.

Существует общемировая направленность на модернизацию инфраструктуры с целью обеспечить ее адаптацию для маломобильных групп населения. Современные нормы пожарной безопасности должны учитывать доступность эвакуации для лиц пожилого возраста и МГН. Однако вопрос об эффективной эвакуации маломобильных групп населения недостаточно изучен [3]. В первую очередь это касается высотных зданий, из которых инвалиды из-за своих физических особенностей (низкая скорость движения, нарушение равновесия, рассеяние внимания, недостаточная выносливость) не способны эвакуироваться наравне со здоровыми людьми [4, 5]. Кроме того, динамические габариты инвалида (зона, которую человек занимает при движении с учетом вспомогательных средств передвижения) практически в 2 раза превышают габариты здорового человека, что обуславливает определенные трудности при движении людей с ограниченными физическими возможностями в плотном потоке, особенно в местах локальных сужений [6].

Протяженность путей эвакуации в высотных зданиях и сооружениях достаточно велика, превышает порой сотню метров. Это даже у здоровых людей может вызвать усталость, рассеяние внимания, неосторожность, что в конечном счете станет причиной травматизма. Для пожилых людей и МГН данный способ эвакуации становится особенно трудным, опасным и порой физически невозможным [7].

В [8] отмечается, что лестницы не обеспечивают достаточную пропускную способность для безопасной эвакуации людей из высотного здания. Запрет на использование лифтовых шахт аргументируется не только тем, что шахта лифта является

Таблица 1. Тенденция снижения количества пожаров и числа жертв в период 2015–2017 гг.

Table 1. The tendency to reduce the number of fires and victims in the period 2015–2017

Показатель / Index	Год / Year		
	2015	2016	2017
Количество пожаров Number of fires	145942	139475	132406
Число погибших при пожарах, чел. People died in fires, pers.	9405	8749	7782
В том числе детей, чел. Including children, pers.	462	426	358

по сути дополнительным каналом для распространения дыма и продуктов горения, но и возможностью деформации самой конструкции, что приведет к аварийной остановке устройства в межэтажном пространстве, заклиниванию дверей. Однако при правильной внутренней планировке внутреннего пространства и требуемом пределе огнестойкости конструкций лифтового узла [9] шахта будет изолирована от воздействия пожара, что обеспечит безопасность ее использования. В настоящее время проектируются пожарные лифты с применением специальных огнестойких материалов [7], однако в качестве путей эвакуации их рассматривать нельзя, так как согласно ст. 89 [10] лифт не является средством эвакуации при пожаре (за исключением МГН группы мобильности М4).

Анализ источников, рассматривающих процесс эвакуации [11–13], позволил сформулировать ряд причин, препятствующих эффективной эвакуации людей из высотного здания:

1) образование скоплений людей на входе в лестничную клетку из-за ее ограниченной пропускной способности и невозможности обеспечить беспрепятственное движение людей на нижних этажах из-за высокой плотности потока. Большое скопление людей в замкнутом пространстве приводит к нехватке воздуха, что может служить причиной гибели от компрессионной асфиксии;

2) отсутствие хорошей физической формы у людей, что не позволяет им преодолевать большие расстояния по лестнице и является причиной ее низкой пропускной способности;

3) сложность транспортирования людей с физическими ограничениями категории МГН, в том числе лиц пожилого возраста.

В качестве негативного примера, иллюстрирующего вышесказанное, можно привести эвакуацию при пожаре 1993 г. в ВТЦ в Нью-Йорке, длившуюся 6 ч. Движение по лестничной клетке людского потока высокой плотности привело к травмированию и гибели большого количества людей [14].

Существует ряд причин, препятствующих внедрению эвакуационных лифтов, часть которых приведена в [7], а именно:

- задымление шахты и кабин лифтов;
- отключение электроснабжения;
- остановка лифта на этаже, охваченном огнем;
- деформация и заклинивание дверей лифтов на этаже пожара;
- попадание воды при тушении пожара в шахту лифтов;
- возможное переполнение кабин лифтов эвакуирующимися людьми.

Большинство из перечисленных проблем решено, если не полностью, то частично. К пожарной без-

опасности лифтов предъявляются требования столь же жесткие, как и для лестничных клеток [7]. Эффективные объемно-планировочные решения позволяют рационально распределять человеческие потоки по всем путям эвакуации [15], убирая возможные непроходимые препятствия на пути движения, негативно влияющие на психоэмоциональное состояние человека и шансы его эвакуации в целом [16, 17]. Исследования поведения людей во время пожара [18, 19] выявили, что, если при пожаре лифты продолжают функционировать, часть людей использует их при эвакуации. В пятиэтажных домах доля людей, использующих лифты, достигает 15 %, а в 20-этажных зданиях (в статье рассматривались здания гостиниц) — 67 %. Стоит отдельно отметить, что эвакуация из башен-близнецов после теракта 11 сентября 2001 г. при помощи лифтов обеспечила спасение около 3000 чел. [20].

В настоящее время, когда устранено большинство причин, не позволяющих использовать лифт в качестве одного из основных путей эвакуации, исследования поведения людей в ситуации пожара подтверждают предрасположенность их к использованию лифта в качестве пути эвакуации. Известны также реальные случаи успешного спасения жизней с помощью данного технического средства. В связи с этим целесообразно рассмотреть возможность применения лифтов, особенно в высотных зданиях и сооружениях, в качестве основного пути эвакуации и перейти к комбинированной системе эвакуации людей.

Программные комплексы, использующие в основе расчета индивидуально-поточную модель движения, получили широкое распространение во многих странах. В статье [21] описаны наиболее известные представители расчетных программ данного класса, среди которых Simulex (Англия), Pathfinder (США), FDS+Evac (США – Финляндия), СИТИС (Россия), Сигма ПБ (Россия), Fenix 2+ (Россия) и др. [22–28].

В [29] подчеркивается, что из вышеперечисленных программных комплексов именно в модели Pathfinder реализован наиболее точный алгоритм, предусматривающий интеллектуальное движение людей в потоке (маневрирование, уклонение от столкновения, ускорение при наличии свободного пространства). В более поздних исследованиях [30] обращается внимание на то, что к результатам динамики эвакуации, полученным в программных комплексах, стоит подходить с осторожностью, так как данный процесс сильно зависит от алгоритма программы. Так, например, алгоритм программного комплекса Pathfinder может завышать интенсивность движения людского потока в местах локального сужения, в ре-

зультате чего может быть занижено расчетное время эвакуации.

Одним из примеров успешного моделирования эвакуации в программе Pathfinder является расчет пожаробезопасности библиотеки университета в Нанкине [31].

В статье [32] уделяется особое внимание тому, что наличие специальных транзитных зон (убежищ) внутри здания превращает высотное сооружение в сеть пожаробезопасных отсеков. Промежуточные технические этажи, помимо основного назначения — расположения сетей и коммуникаций здания, превращаются в зоны для отдыха людей при эвакуации и безопасные места, в которых люди могут укрыться от пожара. В проекте предусмотрено две зоны безопасности — 20-й и 40-й этажи.

Стоит отметить, что для получения окончательных данных по расчетному времени эвакуации, более соответствующих реальности, к полученному результату стоит прибавить время, затраченное на начало эвакуации. В статье [33] подчеркивается, что человек тратит часть времени на анализ аварийной ситуации, попытки собрать вещи. Данная задержка, по мнению авторов [34], является одной из основных причин травмирования и гибели людей.

Особенно актуальна данная поправка для офисных зданий и торговых комплексов. Несмотря на тот факт, что люди находятся в бодрствующем состоянии, много времени уходит на реакцию людей на оповещение о пожаре [35, 36], которая в офисных зданиях составляет примерно 170 с после срабатывания системы оповещения и управления эвакуацией (СОУЭ) [37]. При этом в [38] доказывается, что среднее время начала эвакуации может составлять всего 17 с при профессиональной работе обслуживающего персонала бизнес-центров. Данный параметр является комплексным и зависит от множества факторов, включающих как пожарно-технические характеристики здания, так и косвенные, например уровень противопожарной политики руководства (культуры пожаробезопасности) [39].

При организации процесса эвакуации важно рассматривать решения, направленные не только на сокращение времени эвакуации, но и на снижение плотности людских потоков. Это даст возможность минимизировать риски травматизма людей и образования помех в процессе движения. В качестве наиболее эффективного решения стоит рассматривать поэтапную эвакуацию [11]. Схема организации поэтапной эвакуации основана на разделении потоков эвакуирующихся людей и предотвращении их пересечения. Пример инструкции по организации пешей поэтапной эвакуации (без использования лифтов) приведен в [40]. На основе результатов моделирования рассчитана таблица временных задержек для каждого этажа рассматриваемой секции.

Цель настоящей статьи — моделирование эвакуации людей из высотного здания с применением лифтов в качестве одного из основных путей эвакуации.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

- определены зависимости времени эвакуации от параметров движения людей разных групп мобильности в смоделированном высотном многоэтажном офисном здании в ПК Pathfinder;
- проведено сравнение времени эвакуации по лестничной клетке и с использованием лифтов.

Методика

Программный комплекс Pathfinder применялся для расчета эвакуации людей из смоделированного здания. Расчетное время эвакуации вычислялось для случаев эвакуации как исключительно по лестницам, так и при частичном использовании лифтовых узлов. Расчеты проводились с учетом наличия маломобильной группы населения. За единицу времени (временной шаг), отвечающую за точность моделирования, принято 0,50 с. Время начала эвакуации $t_{нач.эв} = 170$ с.

Смоделировано высотное здание (рис. 1 и 2) со следующими параметрами:

- количество этажей — 60;
- количество секций — три по 20 этажей;
- количество жилых этажей в секции — 19 (20-й этаж — технический);
- высота этажа — 3 м;
- полезная площадь этажа — 600 м²;
- плотность 100 чел. на этаж (из расчета 1 чел. на 6 м² полезной площади). Соотношение людей групп мобильности М1, М2, М3, М4 принято соответственно 90, 4, 4 и 2 %. При расчете принято избыточное количество лиц МГН (10 %)

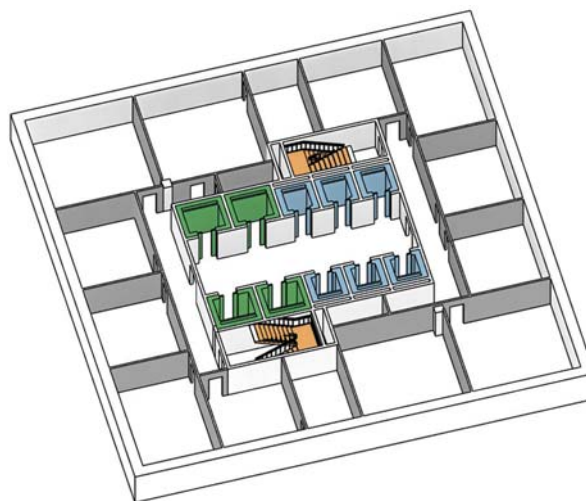


Рис. 1. План типового этажа моделируемого здания офисного центра

Fig. 1. The standard floor plan of the simulated office building

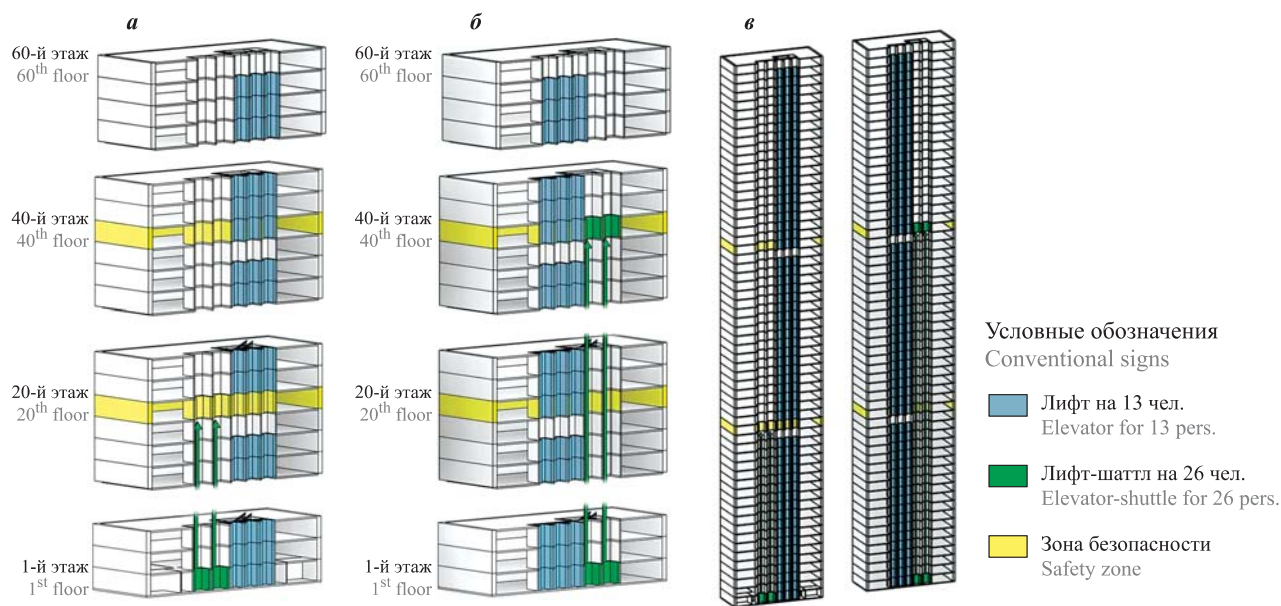


Рис. 2. Разрез моделируемого здания офисного центра: *а* — движение лифта-шаттла с 1-го по 20-й этаж; *б* — движение лифта-шаттла с 1-го по 40-й этаж; *в* — общий разрез здания для обоих случаев

Fig. 2. Simulated office-building section: *a* — elevator-shuttle movement from the 1st to the 20th floor; *b* — elevator-shuttle movement from the 1st to the 40th floor; *v* — common building section for both cases

из-за демографической тенденции сохранения работоспособности населения пенсионного возраста и в условиях доступности среды;

- количество людей в каждой секции — по 1900 чел.; всего людей в здании — 5700 чел.;
- две П-образные лестницы типа НЗ, марш — 1350 мм;
- 6 лифтов на 13 чел., перемещающиеся в пределах секции (ускорение $a = 1,2 \text{ м/с}^2$, максимальная скорость движения $v_{\text{max}} = 2,5 \text{ м/с}$);
- 4 лифта-шаттла на 26 чел., по 2 на секцию ($a = 1,2 \text{ м/с}^2$, $v_{\text{max}} = 4 \text{ м/с}$), которые являются вертикальными связями между 1-м этажом здания и 1-м этажом 2-й и 3-й секций (20-м и 40-м этажами соответственно).

Подбор лифтов представлен в табл. 2.

Методика расчета вертикального транспорта в общественных зданиях приводится в прил. 2 неактуализированного нормативного документа “Пособие по проектированию общественных зданий и сооружений к СНиП 2.08.02–85”. Представленный в Пособии расчет аналогичен расчету в ГОСТ Р 52941–2008 (Лифты пассажирские. Проектирование систем вертикального транспорта в жилых зданиях), поэтому, несмотря на то что расчет приведен для жилых зданий, используем его и для общественных.

Результаты и их обсуждение

Рассмотрим эвакуацию отдельной секции (1–19-й этажи).

Согласно ст. 89 [10] для эвакуации людей, относящихся к группе мобильности М4, используются

лифты, предусмотренные для транспортировки пожарных команд, остальным же группам населения пользоваться лифтами запрещено. Их эвакуация идет только по лестничным клеткам. Расчетное время эвакуации для групп М1–М3 для секции представлено в табл. 3.

Полученное расчетное время эвакуации не противоречит теоретическим результатам, представленным в статье [41] для одной лестницы и приведенным в табл. 4. В секции находится 1900 чел., следовательно, на одну лестницу приходится 950 чел. При этом стоит учитывать, что в табл. 4 указана нижняя граница временного интервала.

Рассмотрим изменение скорости эвакуации при использовании лифтов группами мобильности М2 и М3 при различных вариантах уровня посадочного этажа (табл. 5).

Из табл. 5 видно, что, помимо сокращения времени эвакуации лиц групп М2 и М3 при использовании ими лифта, наиболее рационально забирать людей, начиная с первых этажей. Примем за эффективный уровень начала эвакуации лиц групп М2 и М3 4-й этаж.

Рассмотрим влияние временной задержки начала эвакуации на общее время эвакуации в пределах одной секции (табл. 6). Данная мера должна обеспечить уменьшение плотности людского потока и, как следствие, предотвратить образование заторов, препятствующих его эффективному движению. Задержка достигается за счет задержки подачи сигнала СОУЭ на определенных этажах.

Таблица 2. Подбор лифтов по ГОСТ Р 52941–2008

Table 2. Elevator selection in according to National Standard of the Russian Federation 52941–2008

№ п/п No.	Показатель / Index	Внутри- секционные лифты Inside section elevator	Лифты-шаттлы Elevator-shuttles	
			1-19-й этажи 1–19 th floors	1–40-й этажи 1–40 th floors
I	Коэффициенты / Coefficients			
1	Коэффициент вероятной высоты подъема лифта / Coefficient of the probable height of the elevator	0,7	0,7	0,7
2	Коэффициент заполнения кабины лифта при подъеме / Coefficient of the elevator car filling during the ascent	0,8	0,8	0,8
3	Коэффициент заполнения кабины лифта при спуске / Coefficient of the elevator car filling during descent	1	1	1
4	Показатель интенсивности пассажиропотока ¹ / Indicator of the passenger traffic intensity ¹	4	4	4
II	Параметры лифта / Lift parameters			
1	Грузоподъемность, кг / Elevator capacity, kg	1000	2000	2000
2	Номинальная вместимость кабины ² , чел. / Nominal capacity of the cabin ² , pers.	13,0	26,0	26,0
3	Скорость движения лифта, м/с / Elevator speed, m/sec	2,5	4,0	4,0
4	Путь, проходимый лифтом при разгоне до номинальной скорости и торможении от номинальной скорости до полной остановки, м / Elevator path during acceleration to nominal speed and braking to the full stop, m	7,0	16,0	16,0
III	Результаты расчета количества лифтов / Calculation results of the elevator number			
1	Высота подъема лифта от уровня пола основного посадочного этажа до уровня пола верхнего обслуживаемого этажа, м / Lifting elevator height from the base level to the upper served floor, m	54,00	60,00	120,00
2	Вероятная высота подъема лифта, м / Probable elevator lifting, m	37,80	42,00	84,00
3	Число вероятных остановок лифта выше основного посадочного этажа при подъеме / The possible elevator stops number above the base floor during lifting	8,17	2,00	2,00
4	Число вероятных остановок лифта выше основного посадочного этажа при спуске / The possible elevator stops number above the base floor during descent	9,59	2,00	2,00
5	Число вероятных остановок лифта за круговой рейс выше основного посадочного этажа / The possible elevator stops number of circular voyage is higher than the main landing	17,76	4,00	4,00
6	Затраты времени на разгон лифта до номинальной скорости, торможение от номинальной скорости до полной остановки, пуск лифта, открывание и закрывание дверей, с / The acceleration elevator time to the nominal speed, deceleration from the nominal speed to a complete stop, the elevator start, the opening and closing of the doors, sec	12,00	12,00	12,00
7	Время на вход и выход пассажиров при подъеме, с / The entry and exit passenger time during the ascent, sec	16,64	33,28	33,28
8	Время на вход и выход пассажиров при спуске, с / The entry and exit passenger time during the descent, sec	20,80	41,60	41,60
9	Время на вход (выход) одного пассажира при ширине дверного проема более 1000 мм, с / Time to enter (exit) for one passenger with a doorway width more than 1000 mm, sec	0,80	0,80	0,80
10	Суммарное время задержки, с / The total delay time, sec	262,61	134,88	134,88
11	Время кругового рейса, с / Circular voyage time, sec	279,53	158,37	188,37
12	Расчетный пятиминутный пассажиропоток при равномерной заселенности этажей, чел./5 мин / Estimated five-minute passenger flow with uniform floor occupancy, pers. per 5 min	72,00	76,00	76,00
13	Расчетный часовой пассажиропоток, с / Estimated hourly passenger traffic, sec	864,00	912,00	912,00
14	Провозная способность лифта, чел.-ч / Elevator carrying capacity, pers. per hour	150,68	531,93	447,21

№ п/п No.	Показатель / Index	Внутри- секционные лифты Inside section elevator	Лифты-шаттлы Elevator-shuttles	
			1-19-й этажи 1–19 th floors	1–40-й этажи 1–40 th floors
15	Необходимое число лифтов в здании / Required elevator number in the building	5,73	1,71	2,04
16	Принимаемое количество лифтов / Accepted number of elevators	6,00	2,00	2,00
17	Интервал движения лифтов, с / The interval of elevator movement, sec	46,59	79,18	94,18
¹ Показатель интенсивности пассажиропотока характеризует число человек, подлежащих перевозке в течение 5 мин, % от числа людей, пользующихся лифтами в здании. / The indicator of passenger traffic intensity characterizes the number of people to be transported for 5 minutes, % of the number of people using elevators in the building. ² Определяется делением номинальной грузоподъемности лифта на 75 (вес одного пассажира). / It is determined by ratio the nominal elevator capacity to 75 (passenger weight).				

Таблица 3. Расчетное время эвакуации из секции с 1-го по 19-й этаж без использования лифтов

Table 3. Estimated evacuation time of a section 1–19 floor without the use of elevators

Сценарий Scenario	Группа, не использующая лифт The group that does not use the elevator	Использование лифта Using the elevator		Время, с Time, sec
		Группа Group	Посадочный этаж Boarding floor	
1	M1, M2, M3	M4 (100 %)	1–19	1043

Показано, что наличие задержки благоприятно сказывается на общем времени эвакуации ($830 < 859$) (см. табл. 6). Впоследствии при расчете модели можно найти наиболее рациональное соотношение времени задержки сигнала СОУЭ для каждого этажа.

При анализе графика зависимости количества эвакуировавшихся людей от расчетного времени эвакуации (рис. 3) отмечена точка перегиба, после прохождения которой функция нарастает более полого, что связано с неодновременным завершением эвакуации по лестнице и на лифтах.

По завершении использования лифтов (M2, M3 и M4) еще какое-то время люди группы мобильности M1 продолжают спускаться по лестнице, что приводит к увеличению общего времени эвакуации.

Для его минимизации необходимо сократить длительность движения по лестнице, т. е. линеаризовать график.

Рассмотрим ситуацию, когда часть людей группы M1 также использует лифт для спуска к базовому этажу (табл. 7). Данная мера должна привести в идеальном случае к одновременному окончанию эвакуации по лестничным клеткам и на лифтах.

Вышеприведенные расчеты показали, что решение назначить 4-й этаж уровнем начала эвакуации людей групп M2 и M3 не является оптимальным для запроектированного здания. Большое скопление людей, ожидающих прибытия лифта, при уменьшении числа эвакуирующихся по лестнице создает суммарную задержку, приводящую к тому, что лифты приезжают на базовый этаж позже окончания эвакуации по лестничным клеткам.

Учитывая данные табл. 6, в качестве уровня, с которого должна осуществляться эвакуация граждан групп мобильности M2 и M3, принимаем 7-й этаж. Подберем такое соотношение людей группы M1 для эвакуации на лифте, чтобы обеспечить минимальное суммарное время эвакуации (табл. 8).

Самым быстрым по времени стал сценарий с частичной эвакуацией 30 % людей группы M1, которые были направлены на лифт с 7-го по 14-й этаж, и 40 % группы M1 — с 15-го по 19-й этаж (рис. 4).

Таблица 4. Минимальное расчетное время эвакуации из высотного офисного здания

Table 4. Minimum evacuation time of a high-rise office building

Ширина марша, мм, проектная/эффективная Width of the march, mm, project / effective	Минимальное расчетное время эвакуации, мин, при количестве людей, эвакуирующихся по одной лестнице, чел. The minimum evacuation time, min, with the number of evacuating people on one staircase, pers.							
	500	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000
1078/882	9	17	33	50	66	83	99	115
1372/1176	7	13	25	36	48	60	72	84
1666/1470	6	10	19	29	38	48	57	66

Таблица 5. Влияние на суммарное расчетное время эвакуации использования лифтов группами М2 и М3 в секции с 1-го по 19-й этаж

Table 5. Influence on the total time of groups M2 and M3 people evacuation through elevators in a separate section 1–19 floor

Сценарий Scenario	Группа мобильности, использующая лифт Mobility group, using the elevator	Посадочный этаж Boarding floor	Время, с Time, sec
2	М4 (100 %)	1–19	867
	М2, М3 (100 %)	2–19	
3	М4 (100 %)	1–19	859
	М2, М3 (100 %)	4–19	
4	М4 (100 %)	1–19	888
	М2, М3 (100 %)	7–19	
5	М4 (100 %)	1–19	930
	М2, М3 (100 %)	10–19	
6	М4 (100 %)	1–19	985
	М2, М3 (100 %)	13–19	

Таблица 6. Влияние на суммарное расчетное время эвакуации задержки сигнала тревоги в секции с 1-го по 19-й этаж

Table 6. Influence on the total evacuation time of the alarm delay in a separate section 1–19 floor

Сценарий Scenario	Схема задержки сигнала*, с Scheme of the delay signal*, sec	Группа мобильности, использующая лифт Mobility group, using the elevator	Посадочный этаж Boarding floor	Время, с Time, sec
7	0-0-0	М4 (100 %)	1–19	859
		М2, М3 (100 %)	4–19	
8	0-120-240	М4 (100 %)	1–19	850
		М2, М3 (100 %)	4–19	
9	0-120-0-240-0-360	М4 (100 %)	1–19	830
		М2, М3 (100 %)	4–19	

* Согласно ранее принятым допущениям эвакуация лиц групп М2 и М3 осуществляется начиная с 4-го этажа. Сигнал запаздывает циклично, начиная со 2-го этажа, с различными промежутками. Например, схема задержки сигнала СОУЭ в сценарии 9 описывается как: 0-120-0-240-0-360, где 0 — задержка на 2-м этаже, 120 с — на 3-м этаже, 0 — на 4-м этаже, 240 с — на 5-м этаже, 0 — на 6-м этаже и 360 с — на 7-м этаже. / According to previously accepted assumptions, the evacuation of M2 and M3 mobility groups is carried out starting from the 4th floor. The signal is delayed cyclically with various intervals beginning from the 2nd floor. For example, the delayed evacuation alert in Scenario 9 is described as: 0-120-0-240-0-360, where 0 is the delay on the 2nd floor, 120 sec — on the 3rd floor, 0 — on the 4th floor, 240 sec — on the 5th floor, 0 — on the 6th floor, and 360 sec — on the 7th floor.

График на рис. 4 представляет собой практически линейную функцию, что свидетельствует об одновременном завершении эвакуации по лестничной клетке и на лифте. Более детально и точно вычислять процентное соотношение людей группы М1 нерационально, так как при эвакуации большая точность (несмотря на расчеты) не будет достигнута.

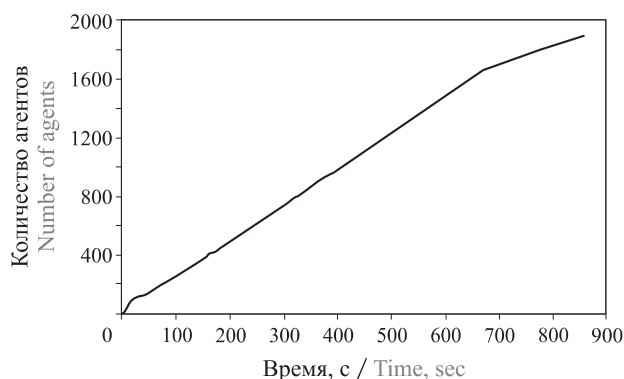


Рис. 3. Зависимость количества эвакуировавшихся людей от расчетного времени эвакуации при использовании лифта группами М2 и М3 начиная с 4-го этажа

Fig. 3. Dependence of the number of people evacuated from the estimated time of evacuation when using the elevator by groups M2 and M3 from the 4th floor

Таблица 7. Влияние на суммарное время эвакуации частичного использования лифта группой М1 в секции с 1-го по 19-й этаж

Table 7. Influence on the total evacuation time at partial using elevators by group M1 in a section from 1st to 19th floor

Сценарий Scenario	Группа мобильности, использующая лифт Mobility group, using the elevator	Посадочный этаж Boarding floor	Время, с Time, sec
10	М4 (100 %)	1–19	780
	М2, М3 (100 %)	4–19	
11	М1 (30 %)	7–19	723
	М4 (100 %)	1–19	
	М2, М3 (100 %)	7–19	
12	М1 (30 %)	7–19	735
	М4 (100 %)	1–19	
	М2, М3 (100 %)	7–19	
13	М1 (30 %)	10–19	791
	М4 (100 %)	1–19	
	М2, М3 (100 %)	7–19	
14	М1 (40 %)	13–19	788
	М4 (100 %)	1–19	
	М2, М3 (100 %)	7–19	
15	М1 (40 %)	7–19	742
	М4 (100 %)	1–19	
	М2, М3 (100 %)	7–19	

Таблица 8. Влияние на суммарное расчетное время эвакуации распределенного движения потока M1 через лифты в секции с 1-го по 19-й этаж

Table 8. Influence on the total evacuation time by distributed partial movement of the M1 human flow through elevators in a section 1–19 floor

Сценарий Scenario	Группа мобильности, использующая лифт Mobility group, using the elevator	Посадочный этаж Boarding floor	Время, с Time, sec
16	M4 (100 %)	1–19	691
	M2, M3 (100 %)	7–19	
	M1 (30 %)	10–14	
	M1 (40 %)	15–19	
17	M4 (100 %)	1–19	754
	M2, M3 (100 %)	4–19	
	M1 (30 %)	7–14	
	M1 (40 %)	15–19	
18	M4 (100 %)	1–19	687
	M2, M3 (100 %)	7–19	
	M1 (30 %)	7–14	
	M1 (40 %)	15–19	

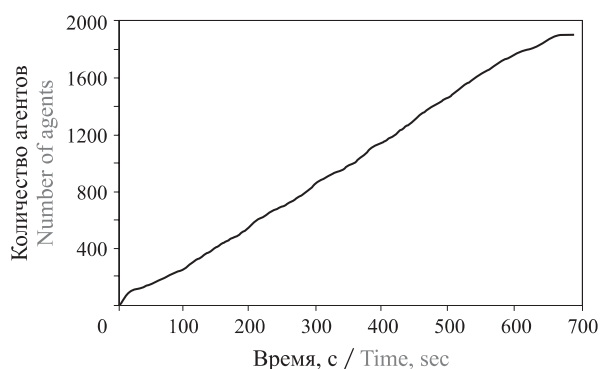


Рис. 4. Зависимость количества эвакуировавшихся людей от расчетного времени эвакуации при использовании лифта группами M2 и M3 начиная с 7-го этажа, 30 % M1 с 7-го по 14-й этаж, 40 % M1 — с 15-го по 19-й этаж

Fig. 4. Dependence of the number of people evacuated on the estimated time of evacuation when using the elevator by groups M2 and M3 from the 7th floor, 30 % M1 — 7–14 floors, 40 % M1 — 15–19 floors

Вычислим расчетное время эвакуации из исходного высотного здания. Результаты расчета представлены в табл. 9.

Рассмотрим график движения людских потоков при эвакуации из всего здания (рис. 5). Неравномерность в конце графика обусловлена отсутствием настроек людского потока относительно шаттлов, связывающих базовый этаж секции и первый этаж здания.

Если продлить график до идеального случая линейной зависимости, то можно получить время, когда эвакуирующиеся на лифтах-шаттлах и по лестницам достигают 1-го этажа одновременно. Таким

Таблица 9. Расчетное время эвакуации из всего высотного здания

Table 9. Estimated evacuation time from the entire high-rise building

Сценарий Scenario	Использование лифта Using the elevator		Время, с Time, sec
	Обычный лифт Ordinary elevator	Лифт-шаттл ¹ Elevator-shuttle	
19 M1-M3 — только лестница / only the stairs	M4 (100 %) 1–19, 20–39, 40–59		2998
20 с выбранными ранее параметрами (внутри секции) / with the previously selected parameters (inside the section)	M4 (100 %) 1–19, 20–39, 40–59	M2, M3, M4 (100 %) M1 (~30 %)	2032 ²

¹ Лифты-шаттлы доставляют людей из вестибюля каждой из секций на первый этаж здания / Elevators-shuttles deliver people from the lobby sections to the first floor.
² Без подбора настроек для шаттлов / No choice of settings for shuttles.

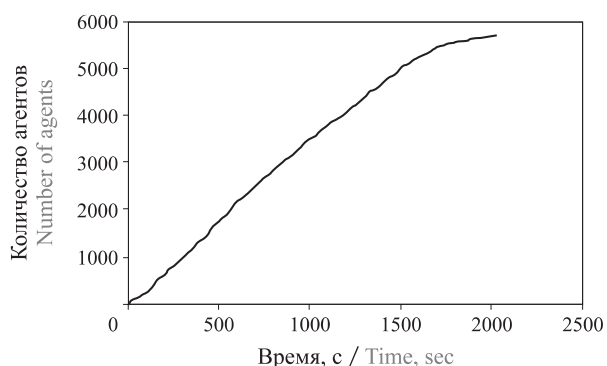


Рис. 5. Зависимость количества эвакуировавшихся людей от расчетного времени эвакуации для всего здания

Fig. 5. Dependence of the number evacuated people from estimated evacuation time for the whole building

образом, можно путем последовательной интерполяции значений графика определить минимальное расчетное время эвакуации с одновременным использованием обычных лифтов и лифтов-шаттлов, равное 1770 с [42, 43]. Параметры эвакуации из секции с 1-го по 19-й этаж приведены в табл. 10.

Сценарии с использованием лифтов получены с учетом схемы задержки сигнала СОУЭ (0–120–0–240–0–360), оказавшейся по результатам табл. 6 наиболее эффективной.

Исходя из результатов, представленных в табл. 10, видно последовательное уменьшение суммарного времени эвакуации при использовании мер, регулирующих людской поток.

Таблица 10. Сводная таблица параметров эвакуации из секции с 1-го по 19-й этаж

Table 10. Summary of evacuation parameters for the section 1–19 floor

Сценарий Scenario	Только лестница Only the ladder	Использование лифта Using the elevator		Время, с Time, sec
		Группа мобильности Mobility group	Посадочный этаж Boarding floor	
1	M1, M2, M3	M4 (100 %)	1–19	1043
4		M4 (100 %)	1–19	888
		M2, M3 (100 %)	7–19	
11		M4 (100 %)	1–19	723
		M2, M3 (100 %)	7–19	
		M1 (30 %)	7–19	
18		M4 (100 %)	1–19	687
		M2, M3 (100 %)	7–19	
		M1 (30 %)	7–14	
		M1 (40 %)	15–19	

Таблица 11. Итоговая таблица параметров эвакуации из отдельной секции (1–19 этажи) и всего здания (1–60 этажи)

Table 11. Summary table of evacuation parameters of the section (1–19 floors) and the whole building (1–60 floors)

Объект Object	Время эвакуации, с Evacuation time, sec		Улучшение времени Time of improvement	
	только по лестнице ladder only	с использованием лифтов with elevators	с (мин) sec (min)	%
Секция Section	1043	687	356	34
Здание Building	2998	2032 (1770)*	966 (1228)	32 (41)

* В скобках указано потенциально возможное минимальное значение расчетного времени эвакуации после настройки системы эвакуации и реализации баланса между людьми, спускающимися пешком по лестнице и использующими лифты. Получено путем линеаризации графика, приведенного на рис. 5. / The potential minimum value of the estimated evacuation time after setting up the evacuation system and the implementation of a balance between people walking down the stairs and using elevators is presented in parentheses. It is obtained by graph linearizing from Fig. 5.

Результаты сравнения времени эвакуации по лестничной клетке и с использованием лифтов све-

дены в табл. 11. В качестве параметров движения людей при использовании лифтов примем распределение, определяемое следующей схемой: M4 (100 %) 1–19; M2 и M3 (100 %) 7–19; M1 (30 %) 7–14; M1 (40 %) 15–19.

Применение лифтов в среднем позволяет сократить расчетное время эвакуации на 30 %. Для 20-этажного здания использование лифтов и управление людским потоком уменьшает длительность эвакуации всего на 6 мин, что ставит под сомнение необходимость применения данного технического средства в качестве основного эвакуационного пути. Однако в высотном 60-этажном офисном здании с большой плотностью людей улучшение результата превышает 15 мин (а при дополнительной настройке людских потоков при использовании лифтов-шаттлов до 20 мин).

Выводы

Требования к пожаробезопасности лифтов столь же высоки, как и для незадымляемых лестничных клеток. Большинство проблем, являющихся причинами запрета использования лифтов в качестве основного эвакуационного пути, решено если не полностью, то частично. Опыт мирового проектирования подтверждает эффективность использования лифтов при организации эвакуации во время пожара.

Сравнение расчетного времени эвакуации по лестничной клетке и с использованием лифтов показало, что для 20-этажного здания использовать лифтовую систему в качестве одного из основных эвакуационных путей нерационально. Для 60-этажного офисного здания, напротив, меры по управлению людским потоком существенно сокращают время пребывания людей в здании с очагом пожара, поэтому для высотных зданий в перспективе необходимо рассматривать организацию эвакуации с применением лифтов.

Для подтверждения результатов моделирования необходимо проведение натурных исследований, так как любое предположение в области новых технических решений должно обосновываться экспериментальной сходимостью результатов с теоретическими выкладками. Новые технические решения по использованию лифтов, повышающие безопасность людей в условиях чрезвычайной ситуации, после теоретического обоснования и экспериментального доказательства могут быть получены и усовершенствованы с помощью вычислительной техники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Статистика пожаров в Российской Федерации за 2017 от 03.02.2018 // Электронная энциклопедия пожарного дела. URL: wiki-fire.org/Статистика-пожаров-РФ-2017.ashx (дата обращения: 07.09.2018).

2. World health statistics 2014. — Geneva : World Health Organization, 2014. — 180 p. URL: http://www.sociologiadellasalute.org/rapporti/world_health_statistics_2014.pdf (дата обращения: 07.09.2018).
3. Холицевников В. В., Самошин Д. А., Истратов Р. Н. Эвакуация людей с физическими ограничениями // Технологии техносферной безопасности. — 2012. — № 3(43). — 5 с.
4. Холицевников В. В., Самошин Д. А., Истратов Р. Н. Исследование проблем обеспечения пожарной безопасности людей с нарушением зрения, слуха и опорно-двигательного аппарата // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2013. — Т. 22, № 3. — С. 48–56.
5. Холицевников В. В., Самошин Д. А. Проблемы обеспечения пожарной безопасности людей с ограниченными возможностями в зданиях с их массовым пребыванием // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2014. — Т. 23, № 8. — С. 37–52.
6. Самошин Д. А., Слюсарев С. В. К вопросу о статических и динамических габаритах пешеходов различных групп мобильности // Вестник МГСУ. — 2016. — № 4. — С. 84–93.
7. Холицевников В. В., Самошин Д. А. К вопросу безопасности использования лифтов при эвакуации из высотных зданий // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2006. — Т. 15, № 5. — С. 45–47.
8. Patton R. M. Fire-safety for the high-rise building // ASHRAE Journal. — 1973. — Vol. 15, No. 14. — P. 34–41.
9. Gravit M., Dmitriev I., Ishkov A. Quality control of fireproof coatings for reinforced concrete structures // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — 2017. — Vol. 90. — Article No. 012226. DOI: 10.1088/1755-1315/90/1/012226.
10. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон РФ от 22.07.2008 № 123-ФЗ (ред. от 29.07.2017). URL: <http://docs.cntd.ru/document/90211644> (дата обращения: 05.10.2018).
11. Холицевников В. В., Самошин Д. А. Анализ процесса эвакуации людей из высотных зданий // Жилищное строительство. — 2008. — № 8. — С. 24–26.
12. Серков Б. Б., Самошин Д. А. Безопасная эвакуация людей при строительстве и эксплуатации высотных зданий // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — 2009. — № 2. — С. 32–36.
13. Холицевников В. В. Терминология или идеология — препятствие безопасной эвакуации людей из высотных зданий при пожаре // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 1. — С. 5–26. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.01.5-26.
14. Isner M. S., Klem T. J. Fire investigation report: World trade center explosion and fire, New York, February 26, 1993. — Quincy, MA : National Fire Protection Association, 1993.
15. Ройтман В. Обеспечение безопасности людей при пожаре в высотных зданиях // Алгоритм безопасности. — 2006. — № 4. — С. 46–51.
16. Гравит М. В., Недрышкин О. В. Расчет пожарного риска с применением моделирования психоэмоционального состояния человека // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. — 2014. — Т. 1, № 1(5). — С. 135–139.
17. Гравит М. В., Недрышкин О. В. Расчет пожарного риска с учетом психологических факторов // Наука и инновации в технических университетах : материалы Восьмого Всероссийского форума студентов, аспирантов и молодых ученых. — СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2014. — С. 71–72.
18. Siikonen M.-L., Barlund K., Kontturi R. Transportation design for building evacuation // ASME Workshop to Focus on Elevator Emergencies in High-Rise Buildings. — New York, December 11, 2003.
19. Sekizawa A., Nakahama S., Notake H. Study on feasibility of evacuation using elevators in a high-rise building // ASME Workshop to Focus on Elevator Emergencies in High-Rise Buildings. — New York, December 11, 2003.
20. Final report on the collapse of the World Trade Center towers / NIST NCSTAR 1. — Washington : NIST, 2005. — 302 p. DOI: 10.6028/nist.ncstar.1.
21. Самошин Д. А., Дерюгин Д. П. Анализ математических моделей пешеходных потоков эвакуируемых людей (часть 1) // Технологии техносферной безопасности. — 2015. — № 5(63). — С. 90–97.
22. Thompson P., Wu J., Marchant E. Simulex 3.0: Modeling evacuation in multi-story buildings // Fire Safety Science. — 1997. — Vol. 5. — P. 725–736. DOI: 10.3801/iafss.fss.5-725.
23. Pathfinder: Technical reference. Thunderhead engineering, 2009. URL: <http://www.thunderheadeng.com/pathfinder> (дата обращения: 05.10.2018).
24. Korhonen T., Hostikka S. Fire Dynamics Simulator with Evacuation: FDS+Evac — Technical Reference and User's Guide / VTT Working Papers 119. — Espoo : VTT Technical Research Centre of Finland, 2009.

25. Гравит М. В., Недрышкин О. В. Анализ моделей расчета опасных факторов пожара // Безопасность в чрезвычайных ситуациях : сборник научных трудов VIII Всероссийской научно-практической конференции. — СПб. : Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2016. — С. 210–214.
26. Карькин И. Н., Скочилов А. Л., Зверев В. В., Контарь Н. А. Валидация и верификация эвакуационной модели СИТИС: Эватек. №. 4152-ТТ2.5. — Екатеринбург : СИТИС, 2008. — 29 с.
27. Яковлев В. В., Гравит М. В., Недрышкин О. В. Перспективы развития программных комплексов расчета пожарного риска и проектирования процессов пешеходной динамики в условиях пожара // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. — 2014. — № 1(190). — С. 224–230.
28. Недрышкин О. В., Гравит М. В. Программные комплексы моделирования опасных факторов пожара // Пожарная безопасность. — 2018. — № 2. — С. 38–46.
29. Самошин Д. А. Современные программные комплексы для моделирования процесса эвакуации людей // Пожарная безопасность в строительстве. — 2011. — № 1. — С. 60–63.
30. Самошин Д. А., Дерюгин Д. П. Анализ математических моделей пешеходных потоков эвакуируемых людей (часть 2) // Технологии техносферной безопасности. — 2015. — № 6(64). — С. 110–119.
31. Li Ming-xin, Zhu Shun-bing, Wang Jing-hong, Zhou Zheng. Research on fire safety evacuation in a University Library in Nanjing // Procedia Engineering. — 2018. — Vol. 211. — P. 372–378. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.12.025.
32. Cowlard A., Bittern A., Abecassis-Empis C., Torero J. Fire safety design for tall buildings // Procedia Engineering. — 2013. — Vol. 62. — P. 169–181. DOI: 10.1016/j.proeng.2013.08.053.
33. Самошин Д. А. Расчет времени эвакуации людей. Проблемы и перспективы // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2004. — Т. 13, № 1. — С. 33–46.
34. Brennan P., Tomas I. Predicting evacuation response and fire fatalities // Proceedings of the 2nd International Symposium on Human Behaviour in Fire. — London : Interscience Communications Ltd., 2001. — P. 321–332.
35. Samochine D. A., Boyce K. E., Shields T. J. An investigation into staff behaviour in unannounced evacuations of retail stores — implications for training and fire safety engineering // Fire Safety Science. — 2005. — Vol. 8. — P. 519–530. DOI: 10.3801/iafss.fss.8-519.
36. Шильдс Т. Дж., Бойс К. Е., Холщевников В. В., Самошин Д. А. Поведение персонала торговых комплексов при пожаре. Часть 1. Анализ реальных пожаров и видеозаписей неанонсированных эвакуаций с целью количественного и качественного описания влияния персонала на ход эвакуации // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2005. — Т. 14, № 1. — С. 44–52.
37. Меркушкина Т. Г., Самошин Д. А., Хасуева З. С., Зыкова М. Ю. Особенности эвакуации людей из современных офисных зданий при пожаре // Технологии техносферной безопасности. — 2015. — № 5(63). — С. 73–81.
38. Шильдс Т. Дж., Бойс К. Е., Самошин Д. А. Исследование эвакуации из торговых комплексов // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2002. — Т. 11, № 6. — С. 57–66.
39. Самошин Д. А., Холщевников В. В. Проблемы нормирования времени начала эвакуации // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2016. — Т. 25, № 5. — С. 37–51. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.05.37-51.
40. Gravit M., Dmitriev I., Kuzenkov K. Phased evacuation algorithm for high-rise buildings // MATEC Web of Conferences. — 2018. — Vol. 245. — Article No. 11012. DOI: 10.1051/mateconf/201824511012.
41. Pauls J. Elevator and stairs for evacuation: Comparison and Combination // ASME Workshop to Focus on Elevator Emergencies in High-Rise Buildings. — New York, December 11, 2003.
42. Dmitriev I., Kuzenkov K., Kankhva V. The use of elevators in the evacuation of high-rise buildings // MATEC Web of Conferences. — 2018. — Vol. 193. — Article No. 03030. DOI: 10.1051/mateconf/201819303030.
43. Gravit M., Dmitriev I., Kuzenkov K. Estimation of evacuation time with elevator application in high-rise buildings // MATEC Web of Conferences. — 2018. — Vol. 245. — Article No. 11011. DOI: 10.1051/mateconf/201824511011.

REFERENCES

1. Fire statistics in the Russian Federation for 2017. Elektronnaya entsiklopediya pozhnogo dela / Electronic Encyclopedia of Fire (in Russian). Available at: wiki-fire.org/Статистика-пожаров-РФ-2017.ashx (Accessed 7 September 2018).

2. World health statistics 2014. Geneva, World Health Organization, 2014. 180 p. Available at: http://www.sociologiadellasalute.org/rapporti/world_health_statistics_2014.pdf (Accessed 7 September 2018).
3. V. V. Kholshchevnikov, D. A. Samoshin, R. N. Istratov. Evacuation of people with physical disabilities. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti / Technology of Technosphere Safety*, 2012, no. 3(43), 5 p. (in Russian).
4. V. V. Kholshchevnikov, D. A. Samoshin, R. N. Istratov. The study of fire safety provision for people with seeing, hearing and moving disabilities. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 3, pp. 48–56 (in Russian).
5. V. V. Kholshchevnikov, D. A. Samoshin. Problems of fire safety of disabled people in buildings with their mass presence. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 8, pp. 37–52 (in Russian).
6. D. A. Samoshin, S. V. Slyusarev. To a question of static and dynamic dimensions of pedestrians of various groups of mobility. *Vestnik MGSU / Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering*, 2016, no. 4, pp. 84–93 (in Russian).
7. V. V. Kholshchevnikov, D. A. Samoshin. To the issue of safety of using elevators during evacuation from high-rise buildings. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2006, vol. 15, no. 5, pp. 45–47 (in Russian).
8. R. M. Patton. Fire-safety for the high-rise building. *ASHRAE Journal*, 1973, vol. 15, no. 14, pp. 34–41.
9. M. Gravit, I. Dmitriev, A. Ishkov. Quality control of fireproof coatings for reinforced concrete structures. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2017, vol. 90, art. no. 012226. DOI: 10.1088/1755-1315/90/1/012226.
10. *Technical regulations for fire safety requirements*. Federal Law on 22 July 2008 No. 123-FZ (ed. on 29 July 2017) (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (Accessed 5 October 2018).
11. V. V. Kholshchevnikov, D. A. Samoshin. Analysis of the evacuation process of people from high-rise buildings. *Zhilishchnoe Stroitelstvo / Housing Construction*, 2008, no. 8, pp. 24–26 (in Russian).
12. B. B. Serkov, D. A. Samoshin. Safe evacuation during construction and operation of high-rise buildings. *Pozhary i chrezvychaynyye situatsii: predotvrashcheniye, likvidatsiya / Fire and Emergencies: Prevention, Elimination*, 2009, no. 2, pp. 32–36 (in Russian).
13. V. V. Kholshchevnikov. Terminology or ideology — obstruction to safe evacuation of people from high-rise buildings in case of fire. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 1, pp. 5–26 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.01.5-26.
14. M. S. Isner, T. J. Klem. *Fire investigation report: World Trade Center Explosion and Fire, New York, February 26, 1993*. Quincy, MA, National Fire Protection Association, 1993.
15. V. Roytman. Ensuring the safety of people in case of fire in high-rise buildings. *Algoritm bezopasnosti / Security Algorithm*, 2006, no. 4, pp. 46–51 (in Russian).
16. M. V. Gravit, O. V. Nedryshkin. Calculation of fire risk with the application of modeling the psycho-emotional state of human. *Pozharnaya bezopasnost: problemy i perspektivy / Fire Safety: Problems and Prospects*, 2014, vol. 1, no. 1(5), pp. 135–139 (in Russian).
17. M. V. Gravit, O. V. Nedryshkin. Calculation of fire risk with account of psychological factors. In: *Nauka i innovatsii v tekhnicheskikh universitetakh: materialy Vosmogo Vserossiyskogo foruma studentov, aspirantov i molodykh uchenykh* [Science and Innovations in Technical Universities. Proceedings of the Eighth All-Russian Forum of Students, Postgraduates and Young Scientists]. Saint Petersburg, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University Publ., 2014, pp. 71–72 (in Russian).
18. M.-L. Siikonen, K. Barlund, R. Kontturi. Transportation design for building evacuation. In: *ASME Workshop to Focus on Elevator Emergencies in High-Rise Buildings*. New York, December 11, 2003.
19. A. Sekizawa, S. Nakahama, H. Notake. Study on Feasibility of Evacuation using Elevators in a High-rise Building. In: *ASME Workshop to Focus on Elevator Emergencies in High-Rise Buildings*. New York, December 11, 2003.
20. *Final report on the collapse of the World Trade Center towers. NIST NCSTAR 1*. Washington, NIST, 2005. 302 p. DOI: 10.6028/nist.ncstar.1.
21. D. A. Samoshin, D. P. Deryugin. Analysis of mathematical models of the pedestrian flow of people evacuated (part 1). *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti / Technology of Technosphere Safety*, 2015, no. 5(63), pp. 90–97 (in Russian).
22. P. Thompson, J. Wu, E. Marchant. Simulex 3.0: Modeling evacuation in multi-story buildings. *Fire Safety Science*, 1997, vol. 5, pp. 725–736. DOI: 10.3801/iafss.fss.5-725.

23. *Pathfinder: Technical reference*. Thunderhead engineering, 2009. Available at: <http://www.thunderheadeng.com/pathfinder> (Accessed 5 October 2018).
24. T. Korhonen, S. Hostikka. *Fire Dynamics Simulator with Evacuation: FDS+Evac — Technical Reference and User's Guide. VTT Working Papers 119*. Espoo, VTT Technical Research Centre of Finland, 2009.
25. M. V. Gravit, O. V. Nedryshkin. Analysis of models for calculating dangerous fire factors. In: *Bezopasnost v chrezvychaynykh situatsiyakh: sbornik nauchnykh trudov VIII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Safety in Emergency Situations. Proceedings of the VIII All-Russian Scientific and Practical Conference]. Saint Petersburg, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University Publ., 2016, pp. 210–214 (in Russian).
26. I. N. Karkin, A. L. Skochilov, V. V. Zverev, N. A. Kontar. *Validatsiya i verifikatsiya evakuatsionnoy modeli SITIS: Evatek. No. 4152-TT2.5* [Validation and verification of the evacuation model CITIS: Evatech. No. 4152-TT2.5]. Yekaterinburg, SITIS Publ., 2008. 29 p. (in Russian).
27. V. V. Yakovlev, M. V. Gravit, O. V. Nedryshkin. Development prospects software complex fire hazard calculations pedestrian and design process dynamics under fire. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPbGPU / St. Petersburg State Polytechnical University Journal*, 2014, no. 1(190), pp. 224–230 (in Russian).
28. O. V. Nedryshkin, M. V. Gravit. Software complexes for modeling of dangerous fire factors. *Pozharnaya bezopasnost / Fire Safety*, 2018, no. 2, pp. 38–46 (in Russian).
29. D. A. Samoshin. Modern program complexes for modeling the process of people evacuation. *Pozharnaya bezopasnost v stroitelstve / Fire Safety in Construction*, 2011, no. 1, pp. 60–63 (in Russian).
30. D. A. Samoshin, D. P. Deryugin. Analysis of mathematical models of the pedestrian flow of people evacuated (part 2). *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti / Technology of Technosphere Safety*, 2015, no. 6(64), pp. 110–119 (in Russian).
31. Ming-xin Li, Shun-bing Zhu, Jing-hong Wang, Zheng Zhou. Research on fire safety evacuation in a University Library in Nanjing. *Procedia Engineering*, 2018, vol. 211, pp. 372–378. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.12.025.
32. A. Cowlard, A. Bittern, C. Abecassis-Empis, J. Torero. Fire safety design for tall buildings. *Procedia Engineering*, 2013, vol. 62, pp. 169–181. DOI: 10.1016/j.proeng.2013.08.053.
33. D. A. Samoshin. Calculation of people's evacuation time. Problems and perspectives. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2004, vol. 13, no. 1, pp. 33–46 (in Russian).
34. P. Brennan, I. Tomas. Predicting evacuation response and fire fatalities. In: *Proceedings of the 2nd International Symposium on Human Behaviour in Fire*. London, Interscience Communications Ltd., 2001, pp. 321–332.
35. D. A. Samochine, K. E. Boyce, T. J. Shields. An investigation into staff behaviour in unannounced evacuations of retail stores — implications for training and fire safety engineering. *Fire Safety Science*, 2005, vol. 8, pp. 519–530. DOI: 10.3801/iafss.fss.8-519.
36. T. J. Shields, K. E. Boyce, V. V. Kholshchevnikov, D. A. Samoshin. Behavior of the supermarket personnel at fire. Part 1. The analysis of real fires and video records of non-announced evacuations with the aim of quantitative and qualitative description of the influence of the personnel on the evacuation process. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2005, vol. 14, no. 1, pp. 44–52 (in Russian).
37. T. G. Merkushkina, D. A. Samoshin, Z. S. Khasueva, M. Yu. Zykova. Features evacuation of people from modern office buildings in case of fire. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti / Technology of Technosphere Safety*, 2015, no. 5(63), pp. 73–81 (in Russian).
38. T. J. Shields, K. E. Boyce, D. A. Samoshin. Study of evacuation from retail stores. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2002, vol. 11, no. 6, pp. 57–66 (in Russian).
39. D. A. Samoshin, V. V. Kholshchevnikov. Problems of regulation of time to start evacuation. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 5, pp. 37–51 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2016.25.05.37-51.
40. M. Gravit, I. Dmitriev, K. Kuzenkov. Phased evacuation algorithm for high-rise buildings. *MATEC Web of Conferences*, 2018, vol. 245, article no. 11012. DOI: 10.1051/mateconf/201824511012.
41. J. Pauls. Elevator and stairs for evacuation: Comparison and combination. *ASME Workshop to Focus on Elevator Emergencies in High-Rise Buildings*. New York, December 11, 2003.
42. I. Dmitriev, K. Kuzenkov, V. Kankhva. The use of elevators in the evacuation of high-rise buildings. *MATEC Web of Conferences*, 2018, vol. 193, art. no. 03030. DOI: 10.1051/mateconf/201819303030.

43. M. Gravit, I. Dmitriev, K. Kuzenkov. Estimation of evacuation time with elevator application in high-rise buildings. *MATEC Web of Conferences*, 2018, vol. 245, art. no. 11011. DOI: 10.1051/mateconf/201824511011.

Поступила 09.10.2018; после доработки 06.03.2019; принята к публикации 25.03.2019
Received 9 October 2018; received in revised form 6 March 2019; accepted 25 March 2019

Информация об авторах

ГРАВИТ Марина Викторовна, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры “Строительство уникальных зданий и сооружений”, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; e-mail: marina.gravit@mail.ru

КАРЬКИН Илья Николаевич, канд. физ.-мат. наук, директор ИП “Карькин И. Н.”, Свердловская обл., г. Екатеринбург, Российская Федерация; e-mail: ilya@pyrosim.ru

ДМИТРИЕВ Иван Игоревич, студент кафедры “Строительство уникальных зданий и сооружений”, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; e-mail: i.i.dmitriev@yandex.ru

КУЗЕНКОВ Кирилл Александрович, студент кафедры “Строительство уникальных зданий и сооружений”, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; e-mail: kuzenkovk@yandex.ru

Information about the authors

Marina V. GRAVIT, Cand. Sci. (Eng.), Docent, Associate Professor of Construction of Unique Buildings and Structures Department, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russian Federation; e-mail: marina.gravit@mail.ru

Ilya N. KARKIN, Cand. Sci. (Phys.-Math.), Head of FireCat (PE “I. N. Karkin”), Ekaterinburg, Sverdlovsk Region, Russian Federation; e-mail: ilya@pyrosim.ru

Ivan I. DMITRIEV, Student of Construction of Unique Buildings and Structures Department, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russian Federation; e-mail: i.i.dmitriev@yandex.ru

Kirill A. KUZENKOV, Student of Construction of Unique Buildings and Structures Department, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russian Federation; e-mail: kuzenkovk@yandex.ru



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу



Д. Г. Пронин, Д. А. Корольченко

ДЕЛЕНИЕ ЗДАНИЙ НА ПОЖАРНЫЕ ОТСЕКИ : учебное пособие.

— М. : Издательство "ПОЖНАУКА".

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

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

121352, г. Москва, а/я 6; тел./факс: (495) 228-09-03; e-mail: info@fire-smi.ru

<https://doi.org/10.18322/PVB.2019.28.02.81-89>
УДК:338.2

Помогают ли плановые проверки снизить число пожаров?

© В. Е. Кудрявцев¹, Р. К. Кучаков¹✉

¹ Институт проблем правоприменения при Европейском университете в Санкт-Петербурге (Россия, 191187, г. Санкт-Петербург, ул. Гагаринская, 6, литера А)

РЕЗЮМЕ

Введение. В статье приведено краткое* изложение основных результатов исследования влияния плановых проверок Госпожнадзора на количество пожаров и число жертв при пожарах по секторам экономики. В большинстве стран постсоветского пространства основным подходом к государственному регулированию стала так называемая система рефлекторного регулирования рисков (Risk Regulation Reflex) (Blanc 2012). Плановые проверки являются одной из отличительных черт этой системы. Среди всех контрольно-надзорных органов и видов контроля (надзора) на долю ГПН (Государственный пожарный надзор) и, соответственно, МЧС приходится около трети всех плановых проверок ($N = 915\,966$). В качестве основных целей проверочной активности декларируется предотвращение пожаров и сохранение человечески жизни.

Цель и задачи. Цель настоящей работы — проверка наличия статистически значимой связи между количеством плановых проверок в рамках осуществления Государственного пожарного надзора и числом пожаров/жертв.

Метод. Зависимость числа пожаров от количества проверок моделируется с помощью модели Пуассона для панельных данных с фиксированными эффектами, а числа жертв — с помощью модели среднего по популяции для панельных данных при предположении об отрицательном биномиальном распределении для числа жертв. В работе использованы данные, агрегированные на уровне региона: по количеству пожаров, смертей, плановых проверок и количеству юридических лиц.

Результаты и их обсуждение. В результате регрессионного моделирования не было обнаружено наличия статистически значимой связи между проведением плановых проверок и превенцией числа пожаров и жертв. Полученные результаты позволяют проблематизировать практику осуществления пожарного надзора, поскольку плановые проверки являются дорогостоящим и трудоемким инструментом как для бизнес-сообщества, так и для государственных учреждений. Полученные результаты несколько контрастируют с существующими исследованиями. Например, результаты случайного эксперимента с распределением инспекций одного из крупнейших регуляторных органов США — OSHA говорят о том, что проверки способны повышать уровень безопасности без ущерба для финансовых показателей фирмы (Левин и др., 2012).

Заключение. Мы утверждаем, что выявленное отсутствие статистически значимого эффекта превенции инспекции обусловлено общей неэффективностью текущей процедуры плановых проверок.

Ключевые слова: жертвы пожаров; Госпожнадзор; рефлекторное регулирование рисков; Общероссийский классификатор видов экономической деятельности; Министерство труда США.

Благодарности: Авторы выражают признательность за оказанную помощь в подготовке текста к публикации ведущего научного сотрудника Д. Скугаревского, директора по исследованиям К. Титаева и младшего научного сотрудника Института проблем правоприменения А. Кнорре.

Авторы благодарят также начальника НИЦ ОУП ПБ, д-ра техн. наук А. А. Порошина и главного научного сотрудника НИЦ АУО и ТП, д-ра техн. наук А. В. Матюшина за ценные комментарии к работе и, в частности, за уточнение сферы ответственности ГПН на стадии строительства зданий и сооружений.

Публикация подготовлена в рамках научного проекта № 17-18-01618, поддержанного Российским научным фондом.

Для цитирования: Кудрявцев В. Е., Кучаков Р. К. Помогают ли плановые проверки снизить число пожаров? // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2019. — Т. 28, № 2. — С. 81–89. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.02.81-89.

✉ Кучаков Руслан Камилович, e-mail: rkuchakov@eu.spb.ru

Do scheduled inspections help preventing fires?

© Vladimir E. Kudryavtsev¹, Ruslan K. Kuchakov¹✉

¹ Institute for the Rule of Law (IRL) at the European University at Saint Petersburg (Gagarinskaya St., 6 A, Saint Petersburg, 191187, Russian Federation)

* Полное изложение полученных результатов представлено в аналитической записке, доступной на сайте Института проблем правоприменения при Европейском университете в Санкт-Петербурге: <http://enforce.spb.ru/products/policy-memo/> (дата обращения: 01.01.2019).

ABSTRACT

Introduction. Most Post-Soviet countries share a method of regulation called RRR (Risk Regulation Reflex) (Blanc 2012). Scheduled inspections are one of the distinct features of this approach in Russia. GPN (Gosudarstvennyy Pozharnyy Nadzor — State Fire Regulation) especially favors this type of inspections. This agency accounts for one-third of all scheduled inspections in the country ($N = 915\,966$). It cites fire prevention and the preservation of life as the primary objectives of these activities.

Aims and purposes. Our goal is to check if scheduled inspections actually achieve these objectives. Thus we test this normative statement empirically.

Methods. In order to do so, we use Poisson count regressions for panel-data and population-averaged panel-data models by using General Estimating Equations. In order to perform this test, we turn to numerous administrative data sources: regional data on the number of fires and its specifics, life loss, number of inspections and data on inspected businesses.

Results and discussion. Our analysis demonstrates that there is no tangible proof of scheduled inspections helping to avoid fires or victims during them. These results have serious implications as inspections are costly and time-consuming both for business and governmental agencies. This result somewhat contrasts with an existing scholarship. Randomized inspections by OSHA are proved to increase safety levels without damaging businesses' financial results (Levine, et al. 2012).

Conclusion. We argue that this seeming contradiction occurs due to general ineffectiveness of current scheduled inspections procedure.

Keywords: fire victims; Gospozhnadzor; risk regulation reflex; Russian Classification of Economic Activities; OSHA.

Acknowledgements: Authors would like to express gratitude to colleagues from the Institute of the Rule of Law D. Skougarevski (PhD, Lead Resercher), K. Titaev (PhD, Research Director) and A. Knorre (Junior Researcher) who provided expertise and advice that greatly assisted the research.

Authors would also like to thank A. A. Poroshin (Dr. Sci. (Eng.)) and A. V. Matushin (Dr. Sci. (Eng.)) of FGBU VNIPO MCHS of Russia for their valued comments, in particular their clarification of construction sites' fire inspection process.

The research was supported by the Grant No. 17-18-01618 of the Russian Science Foundation.

For citation: V. E. Kudryavtsev, R. K. Kuchakov. Do scheduled inspections help preventing fires? *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2019, vol. 28, no. 2, pp. 81–89 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2019.28.02.81-89.

✉ Ruslan Kamilovich Kuchakov, e-mail: rkuchakov@eu.spb.ru

Введение

Одним из основных инструментов контрольно-надзорной деятельности в сфере обеспечения пожарной безопасности является плановая проверка [1]. Профилактика пожаров и сохранение человеческих жизней, в том числе посредством плановых проверок, закреплены в качестве приоритетов в федеральном законодательстве [2], что, в частности, отражено в установлении нормативной величины индивидуального пожарного риска: “Индивидуальный пожарный риск в зданиях и сооружениях не должен превышать значение одной миллионной в год при размещении отдельного человека в наиболее удаленной от выхода из здания и сооружения точке” [2]. При этом фактическое значение индивидуального пожарного риска отличается от нормативного на порядок [3]: Россия на протяжении ряда лет является региональным лидером по количеству жертв при пожарах [4].

Одновременно с этим в России существует во многом уникальный для мира формат всеобщей и регулярной инспекционной активности: каждая организация независимо от формы собственности должна быть подвергнута проверке. Эта особенность изначально ограничивает потенциальные выгоды от перехода на риск-ориентированный подход при планировании контрольных (надзорных) меро-

приятий. МЧС в лице Госпознадзора (или ГПН) является наиболее активным контрольно-надзорным органом в стране: на его долю пришлось более трети всех плановых проверок за 2012–2016 гг. в рамках Федерального закона № 294 [5].

Особенности осуществления государственного пожарного надзора, такие как всеобщность и регулярность контрольно-надзорной деятельности, закрепление нормативного значения индивидуального риска, существенно отличающегося от фактического [3], нормативное закрепление категории риска для социально значимых объектов [6], составляющие существенную часть работы ГПН, позволяют отнести такой подход к государственному регулированию к рефлекторному регулированию рисков, или RRR (Risk Regulation Reflex) [7–12]. Он подразумевает, что любая угроза вне зависимости от ее значимости и вероятности возникновения должна контролироваться и регулироваться, невзирая на возможные издержки. В качестве издержек следует учитывать не только прямые затраты бюджета на контрольно-надзорные ведомства, но и снижение финансовых и иных показателей эффективности организаций, подвергаемых проверкам [13–18].

Именно поэтому в настоящей работе предпринята попытка выявить статистически значимую связь между плановыми инспекциями и числом пожаров/

жертв, а также ответить на вопрос о релевантности плановой проверки как инструмента сокращения числа пожаров/жертв.

Данные

Данные по пожарам взяты из ежегодных статистических сборников “Пожары и пожарная безопасность” [19] Всероссийского научно-исследовательского института противопожарной обороны (ВНИИПО) МЧС России. Сборники содержат информацию о годовом количестве пожаров, числе жертв и травм в регионах России, представленную в виде нескольких тематических блоков.

Данные по плановым проверкам, проводимым контрольно-надзорными органами, были собраны с сайтов субъектов и специальных прокуратур, публикуемые органами прокуратуры согласно ФЗ № 294 [5]. В период с 2012 по 2016 гг. было проведено не менее 2 835 690 плановых проверок. (Данная оценка может рассматриваться в качестве нижней границы плановой регуляторной нагрузки, поскольку количество субъектов прокуратур, опубликовавших планы проверок за 2012–2016 гг., варьируется в диапазоне от 56 до 73 [20, 21].) Из них 915 966 осуществил Госпожнадзор, причем 526 909 проверок были проведены в отношении организаций, принадлежащих к одному из семи выделенных разделов Общероссийского классификатора видов экономической деятельности (ОКВЭД).

Данные по экономической специализации организаций аппроксимировались через код ОКВЭД [22], указываемый при государственной регистрации юридического лица или индивидуального предпринимателя. Данные ОКВЭД и данные по числу зарегистрированных организаций взяты из правоустанавливающих реестров Федеральной налоговой службы — Единого государственного реестра юридических лиц (ЕГРЮЛ) и Единого государственного реестра индивидуальных предпринимателей (ЕГРИП). Нами были сопоставлены тематические блоки статистических сборников ВНИИПО МЧС с разделами ОКВЭД. В результате мы получили соответствия* между семью блоками и секторами экономики — G (торговля),

P (образование), Q (здравоохранение), R (культура), C (производство), A (сельское хозяйство), F (строительство).

Для учета общей пожарной обстановки в регионах были использованы *данные дистанционного зондирования* [23]. На основе снимков Европейского космического агентства, сделанных спутниками MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), была рассчитана площадь возгорания лесного массива. *Данные по экономической активности* [24], *инфляции* [25] и *численности населения* [26] регионов России взяты из баз данных Росстата.

Модель

Для регрессионного моделирования изменения числа пожаров была реализована модель Пуассона для панельных данных с фиксированными эффектами региона и года [27]:

$$y_{it} \sim \text{Poisson}[\mu_{it} = \alpha_i \lambda_{it}]; \quad (1)$$

$$\lambda_{it} = \exp(x'_{it} \beta), \quad i = 1, \dots, n, \quad t = 1, \dots, T,$$

где μ — математическое ожидание;

α, β — коэффициенты модели;

x'_{it} — вектор-строка независимых переменных;

i — регион;

t — год.

Для моделирования изменения количества жертв при пожарах использовалась модель (2) среднего по популяции для панельных данных с фиксацией эффекта года при предположении об отрицательном биномиальном распределении [28]:

$$y_{it} \sim \text{NB}[\mu_{it} = \alpha_i \theta_{it}]; \quad (2)$$

$$\theta_{it} = \exp(x'_{it} \beta), \quad i = 1, \dots, n, \quad t = 1, \dots, T,$$

где NB — отрицательное биномиальное распределение.

Выбор спецификации модели среднего с предположением об отрицательном биномиальном распределении для числа жертв обусловлен относительной редкостью событий. Количество жертв при пожарах в сумме по семи секторам ОКВЭД в годовом измерении варьирует от 200 до 300 для России в целом. В панельном отображении *регион – год* и дезагрегированном виде по секторам экономики возникает проблема нулевой вариации — “пустых” подгрупп и одиночных наблюдений. Выбранная спецификация позволяет решить эти проблемы: оценить эффекты без исключения “пустых” кластеров-наблюдений и учесть редкость событий. Оценка моделей осуществлялась в STATA 14.

Результаты

На рис. 1 и 2 представлены агрегированные данные по плановым проверкам и числу пожаров/погибших

* Здания, помещения здравоохранения и социального обслуживания — раздел Q: деятельность в области здравоохранения и социальных услуг; здания предприятий торговли и сервисного обслуживания — раздел G: торговля оптовая и розничная, ремонт автотранспортных средств и мотоциклов; здания, помещения учебно-воспитательного назначения — раздел P: образование; здания культурно-досуговой деятельности и религиозных обрядов — раздел R: деятельность в области культуры, спорта, организации досуга и развлечений; сельскохозяйственные здания и сооружения — раздел A: сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство; здания производственного назначения — раздел C: обрабатывающие производства; строящиеся (реконструируемые) здания (сооружения) — раздел F: строительство.

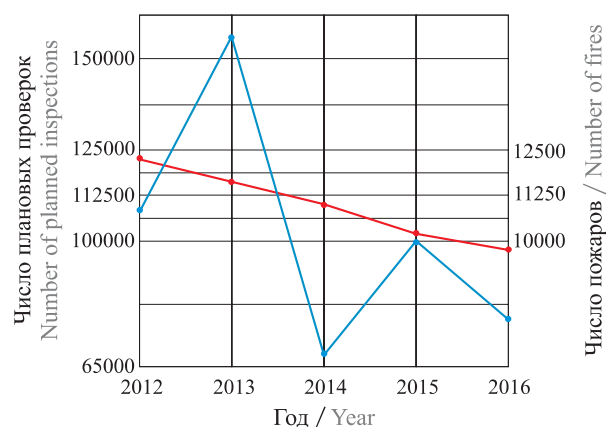


Рис. 1. Динамика числа плановых проверок Госпожнадзора (—) и пожаров (---) в 2012–2016 гг.

Fig. 1. Dynamics of planned inspections of the Gospozhndzor (—) and fires (---) at 2012–2016

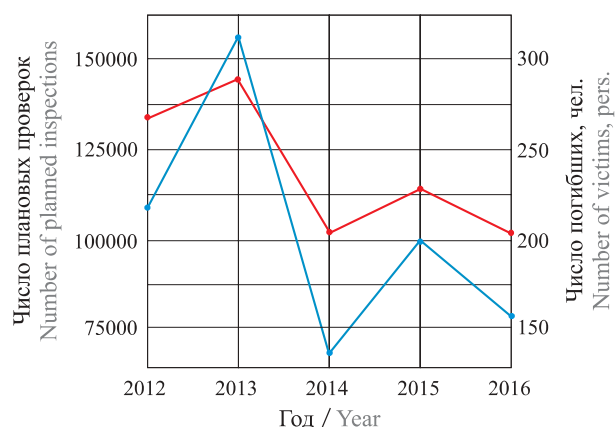


Рис. 2. Динамика числа плановых проверок Госпожнадзора (—) и погибших (---) в 2012–2016 гг.

Fig. 2. Dynamics of the number of planned inspections of the Gospozhndzor (—) and victims (---) at 2012–2016

Таблица 1. Результаты регрессионного моделирования количества пожаров. Модель Пуассона для панельных данных с фиксированными эффектами

Table 1. Results of regression modeling of the number of fires. Poisson panel model with fixed effects

Показатель Index	Количество пожаров в регионе в год по отраслям Annual number of fires by region and industry						
	Торговля Retail	Образование Education	Здраво- охранение Medicine	Культура и спорт Culture & sports	Обрабатывающие производства Quarrying	Сельское хоз-во Agriculture	Строи- тельство Construction
Интенсивность проверок, логарифм Inspection rate, logarithm	–0,017 (0,011)	–0,025 (0,023)	0,012 (0,031)	0,038 (0,036)	0,004 (0,012)	0,004 (0,025)	0,011 (0,032)
Площадь горевшей терри- тории в регионе, % Fire area, % from total area of region	–0,003 (0,005)	–0,034 (0,025)	0,031 (0,033)	0,021 (0,033)	0,007 (0,009)	0,015 (0,015)	0,021 (0,015)
Соотношение числа госу- дарственных и частных организаций, % Ratio of state owned orga- nizations to private ones, %	0,051*** (0,015)	–0,018 (0,093)	–0,140 (0,107)	0,074 (0,109)	0,011 (0,020)	0,098 (0,069)	–0,052 (0,044)
ВРП на душу населения, логарифм GRP per capita, logarithm	0,030* (0,016)	–0,030 (0,063)	–0,127 (0,117)	0,095 (0,079)	–0,038** (0,017)	–0,077 (0,103)	0,025 (0,066)
2013	–0,041 (0,029)	–0,138 (0,113)	0,047 (0,110)	–0,015 (0,114)	–0,072*** (0,028)	0,020 (0,094)	0,090 (0,075)
2014	–0,139*** (0,033)	–0,313** (0,125)	–0,145 (0,178)	–0,169 (0,119)	–0,088** (0,041)	–0,238*** (0,078)	–0,003 (0,086)
2015	–0,205*** (0,029)	–0,078 (0,102)	–0,410*** (0,156)	–0,170 (0,139)	–0,176*** (0,037)	–0,337*** (0,091)	0,069 (0,105)
2016	–0,273*** (0,048)	–0,498*** (0,115)	–0,396** (0,195)	–0,267** (0,114)	–0,200*** (0,042)	–0,299*** (0,094)	–0,113 (0,159)
Число наблюдений <i>N</i> Number of observations <i>N</i>	298	272	273	276	291	284	278
Число регионов Number of regions	72	64	65	66	70	69	71

* $p < 0,1$, ** $p < 0,05$, *** $p < 0,01$.

Примечание. В круглых скобках отображены стандартные ошибки. / Note. In parentheses display the standard errors.

Таблица 2. Результаты регрессионного моделирования количества жертв при пожарах. Модель среднего по популяции для панельных данных при предположении об отрицательном биномиальном распределении

Table 2. Results of regression modeling of the number of fire victims. Population average model for panel data with assumption of negative binomial distribution

Показатель Index	Количество жертв при пожарах в регионе в год по отраслям Annual number of fire victims by region and industry						
	Торговля Retail	Образование Education	Здраво- охранение Medicine	Культура и спорт Culture&sports	Обрабатывающие производства Quarrying	Сельское хоз-во Agriculture	Строи- тельство Construction
Интенсивность проверок, логарифм Inspection rate, logarithm	-0,373** (0,175)	0,041 (0,239)	0,252 (0,249)	-0,007 (0,310)	0,055 (0,058)	-0,192 (0,133)	-0,081 (0,116)
Площадь горевшей терри- тории в регионе, % Fire area, % from total area of region	0,006 (0,065)	-0,818 (0,654)	-0,250 (0,209)	-0,698* (0,386)	-0,022 (0,032)	-0,015 (0,050)	-0,011 (0,041)
Соотношение числа госу- дарственных и частных организаций, % Ratio of state owned orga- nizations to private ones, %	0,303 (0,260)	-0,895 (0,935)	1,689** (0,717)	-1,631 (1,543)	0,058 (0,104)	0,272 (0,223)	0,073 (0,205)
ВРП на душу населения, логарифм GRP per capita, logarithm	0,088 (0,284)	-0,746 (0,676)	0,318 (0,233)	-0,954* (0,563)	0,204 (0,199)	-0,214 (0,261)	0,379* (0,200)
2013	-0,359 (0,296)	1,283 (1,397)	1,501 (1,010)	11,394*** (1,415)	-0,488** (0,215)	-0,121 (0,411)	0,011 (0,415)
2014	-1,323** (0,530)	0,527 (1,569)	0,057 (0,930)	-3,674 (7,022)	-0,188 (0,185)	-0,675 (0,467)	-0,280 (0,405)
2015	-0,186 (0,460)	0,788 (1,397)	-1,124 (1,109)	11,493*** (1,033)	-0,397** (0,185)	-1,121** (0,524)	0,127 (0,387)
2016	-2,786*** (0,835)	0,797 (1,277)	-2,825 (2,776)	11,569*** (0,673)	-0,369 (0,242)	-0,701* (0,406)	-0,297 (0,470)
Число наблюдений <i>N</i> Number of observations <i>N</i>	302	293	288	292	297	293	287
Число регионов Number of regions	76	76	75	76	76	76	76

* $p < 0,1$, ** $p < 0,05$, *** $p < 0,01$.

Примечание. В круглых скобках отображены стандартные ошибки. / Note. In parentheses display the standard errors.

по выбранным секторам экономики. В период с 2012 по 2016 гг. можно наблюдать устойчивую тенденцию к снижению числа пожаров, которая визуально слабо соотносится (коэффициент корреляции Пирсона 0,2, причем положительный, что не имеет содержательного смысла) с динамикой регуляторной активности ГПН. В то же время график изменения числа жертв при пожарах имеет схожий контур с количеством проверок.

Результаты регрессионного моделирования числа пожаров представлены в табл. 1, числа погибших при пожарах — в табл. 2.

Из результатов регрессионного моделирования, приведенных в табл. 1 и 2, следует, что статистически значимая связь на уровне 10 % между числом по-

жаров/жертв и числом проверок отсутствует, за исключением слабой значимой отрицательной связи в сфере торговли для модели жертв при пожарах.

Обсуждение результатов

Несмотря на отсутствие статистически значимой связи между интенсивностью плановой активности Госпожнадзора и числом пожаров/жертв, у нас недостаточно оснований утверждать, что инспекторские проверки как инструмент не обладают превенцией. Возможно, плановые проверки в силу всеобщности и регулярности неизбежно превращаются в документарную формальность.

Исследования в области регулирования в США показали, что государственные проверки Управле-

ния по технике безопасности и гигиене труда Министерства труда — OSHA (Occupational Safety and Health Administration) способны примерно на 9,4 % снизить риск травмирования работников коммерческих предприятий без существенного снижения финансовых показателей компании [29]. Общее число отраслевых инспекторов (не только специалистов по пожарной безопасности), работающих в этой организации, составляет всего примерно 2100 чел. на 330 миллионов населения США.

Эффективность регулирования достигается за счет вовлечения в процесс оценки рисков страховых компаний. Так, базовые стандарты, используемые OSHA в области превенции пожаров, напрямую скопированы из стандартов Национальной ассоциации по противодействию пожарам — NFPA (National Fire Prevention Association).

Помимо этого, в США работает еще порядка 14 тысяч инспекторов по пожарной безопасности, осуществляющих обязательную ежегодную проверку жилых зданий и коммерческой недвижимости, а также контроль за лесными пожарами. Эти инспектора, однако, не входят в единую структуру, а работают, как правило, в местных пожарных службах. Иначе говоря, такие службы проверяют те объекты, которые им самим потенциально придется тушить (это радикально отличается от российской ситуации, в которой ГПН работает отдельно от мест-

ных пожарных расчетов). Местные пожарные инспектора также используют стандарты NFPA или регламенты, разработанные на их основе и принятые локальными legislatures.

Кроме того, учитывая ограниченность своих ресурсов, OSHA использует особый метод для отбора объектов плановых проверок. Эти проверки назначаются случайным образом в отношении предприятий, имеющих высокую категорию риска. Эта категория, в свою очередь, рассчитывается на основе прозрачного показателя — коэффициента травмоопасности в данной отрасли, исходя из истории наблюдений: насколько часто лица, работающие на данных предприятиях или посещающие их, могут получать травмы.

Методы расчета категории риска, используемые ГПН, несвободны от нормативных суждений [2, 6]. Вкупе со спецификой организации в России контрольно-надзорной деятельности, предполагающей всеобщность и регулярность проверок, одним из вероятных способов улучшения пожарной ситуации является мобилизация ресурсов ГПН и фокусировка внимания на конкретном секторе экономики. Представляется, что для достижения устойчивого положительного эффекта от плановых инспекций недостаточно простой перефокусировки внимания. Для долгосрочного улучшения пожарной ситуации в целом требуется отход от политики RRR.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Об утверждении Основ государственной политики Российской Федерации в области пожарной безопасности на период до 2030 года : Указ Президента РФ от 01.01.2018 № 2. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_286888/ (дата обращения: 01.01.2019).
2. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон РФ от 22.07.2008 № 123-ФЗ (в ред. от 29.07.2017). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_78699/ (дата обращения: 01.01.2019).
3. Фирсов А. В., Крюков Е. В., Харисов Г. Х. О нормативном значении индивидуального пожарного риска // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2012. — Т. 21, № 9. — С. 14–16.
4. Brushlinsky N. N., Ahrens M., Sokolov S. V., Wagner P. World fire statistics. Report No. 22 (Table 2). — Berlin : Center of Fire Statistics of CTIF, 2017. — 56 p. URL: https://www.ctif.org/sites/default/files/ctif_report22_world_fire_statistics_2017.pdf (дата обращения: 04.12.2018).
5. О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при осуществлении государственного контроля (надзора) и муниципального контроля : Федер. закон от 26.12.2008 № 294-ФЗ (в ред. от 27.12.2018). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_83079/ (дата обращения: 01.01.2019).
6. Критерии отнесения объектов защиты к определенной категории риска (при осуществлении Федерального Государственного пожарного надзора) / Сайт МЧС России. URL: http://www.mchs.gov.ru/upload/site1/0006/Kriterii_otneseniya_obektov_kontrolya_k_kategoriyam_riska.pdf (дата обращения: 03.12.2018).
7. Blanc F. Moving away from total control in former communist countries — the RRR in inspections, and lessons learned from reforming them // European Journal of Risk Regulation. — 2012. — Vol. 3, Issue 3. — P. 327–341. DOI: 10.1017/s1867299x00002233.
8. Regulatory Enforcement and Inspections. OECD Best Practice Principles for Regulatory Policy. — Paris : OECD Publ., 2014. — 68 p. DOI: 10.1787/9789264208117-en.

9. *Blanc F. (ed.), Macrae D., Ottimofiore G.* Understanding and addressing the risk regulation reflex. URL: <https://www.government.nl/documents/reports/2015/01/21/understanding-and-addressing-the-risk-regulation-reflex> (дата обращения: 01.01.2019).
10. *Blanc F.* Tools for effective regulation: Is “more” always “better”? // *European Journal of Risk Regulation*. — 2018. — Vol. 9, Issue 3. — P. 465–482. DOI: 10.1017/err.2018.19.
11. *Scott C.* Regulation and risk today // *European Journal of Risk Regulation*. — 2017. — Vol. 8, Issue 1. — P. 24–27. DOI: 10.1017/err.2016.3.
12. *Gómez M. A.* More risk, better regulation: A view from the world of transnational litigation // *European Journal of Risk Regulation*. — 2017. — Vol. 8, Issue 1. — P. 95–100. DOI: 10.1017/err.2016.16.
13. *Almedia R., Carneiro P.* Enforcement of labor regulation and firm size // *Journal of Comparative Economics*. — 2009. — Vol. 37, Issue 1. — P. 28–46. DOI: 10.1016/j.jce.2008.09.004.
14. *Dawson J. W., Seater J. J.* Federal regulation and aggregate economic growth // *Journal of Economic Growth*. — 2013. — Vol. 18, Issue 2. — P. 137–177. DOI: 10.1007/s10887-013-9088-y.
15. *Bailey J. B., Thomas D. W., Anderson J. R.* Regressive effects of regulation on wages // *SSRN Electronic Journal*. — 2018. — 25 p. DOI: 10.2139/ssrn.3121197.
16. *Almond P., Esbester M.* Regulatory inspection and the changing legitimacy of health and safety // *Regulation & Governance*. — 2018. — Vol. 12, Issue 1. — P. 46–63. DOI: 10.1111/rego.12155.
17. *Jackson H. E., Roe M. J.* Public and private enforcement of securities laws: resource-based evidence // *Journal of Financial Economics*. — 2009. — Vol. 93, Issue 2. — P. 207–238. DOI: 10.1016/j.jfineco.2008.08.006.
18. *Скугаревский Д., Титаев К., Кудрявцев В.* Влияние плановых проверок на деятельность организации / Аналитические записки по проблемам правоприменения. — СПб. : ИПП ЕУСПб, 2016. — 16 с. URL: <http://enforce.spb.ru/products/policy-memo/6868-analiticheskaya-zapiska-vliyanie-planovykh-proverok-na-deyatelnost-organizatsij-d-skugarevskij-k-titaev-v-kudryavtsev-6868> (дата обращения: 01.01.2019).
19. Пожары и пожарная безопасность в 2012–2016 гг. : стат. сб. — М. : ВНИИПО, 2013–2017.
20. *Кудрявцев В., Кузнецова Д., Кучаков Р.* Плановые проверки в России/Аналитические обзоры по проблемам правоприменения. — СПб. : ИПП ЕУ СПб, 2017. — 28 с. URL: <http://enforce.spb.ru/products/papers/6996-analiticheskij-obzor-planovye-proverki-v-rossii-v-kudryavtsev-d-kuznetsova-r-kuchakov> (дата обращения: 01.01.2019).
21. *Кудрявцев В., Кузнецова Д., Кучаков Р.* Мандат контрольно-надзорных ведомств / Аналитические обзоры по проблемам правоприменения. — СПб. : ИПП ЕУ СПб, 2017. — 24 с. URL: <http://enforce.spb.ru/products/papers/7018-analiticheskij-obzor-mandat-kontrolno-nadzornykh-vedomstv-v-kudryavtsev-d-kuznetsova-r-kuchakov-pod-redaktsiej-d-skugarevskogo-i-k-titaeva> (дата обращения: 01.01.2019).
22. Общероссийский классификатор видов экономической деятельности : приказ Росстандарта от 31.01.2014 № 14-ст (ред. от 10.07.2018). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_163320/ (дата обращения: 01.01.2019).
23. *Chuvieco E., Lizundia-Loiola J., Pettinari M. L., Ramo R., Padilla M., Tansey K., Mouillot F., Laurent P., Storm T., Heil A., Plummer S.* Generation and analysis of a new global burned area product based on MODIS 250 m reflectance bands and thermal anomalies // *Earth System Science Data*. — 2018. — Vol. 10, Issue 4. — P. 2015–2031. DOI: 10.5194/essd-10-2015-2018.
24. Национальные счета — Валовой региональный продукт — В текущих основных ценах — всего (1998–2016 гг.) // Федеральная служба государственной статистики. URL: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/accounts/# (дата обращения: 12.11.2018).
25. Цены — Потребительские цены — Индексы потребительских цен на товары и услуги — Индексы потребительских цен по Российской Федерации в 1991–2018 гг. // Федеральная служба государственной статистики. URL: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/tariffs/# (дата обращения: 12.11.2018).
26. Демография — Численность и состав населения // Федеральная служба государственной статистики. URL: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/population/demography/ (дата обращения: 12.11.2018).
27. *Cameron A. C., Trivedi P. K.* Regression analysis of count data. — 2nd ed. — Cambridge : Cambridge University Press, 2013. — 567 p. DOI: 10.1017/CBO9781139013567.
28. *Zeger S. L., Liang K.-Y., Albert P. S.* Models for longitudinal data: A generalized estimating equation approach // *Biometrics*. — 1988. — Vol. 44, Issue 4. — P. 1049–1060. DOI: 10.2307/2531734.

29. Levine D. I., Toffel M. W., Johnson M. S. Randomized government safety inspections reduce worker injuries with no detectable job loss // *Science*. — 2012. — Vol. 336, Issue 6083. — P. 907–911. DOI: 10.1126/science.1215191.

REFERENCES

1. *On the Approval of the Fundamentals of the State Policy of the Russian Federation in the field of fire safety for the period until 2030*. Decree of President of Russian Federation on 1 January 2018 No. 2 (in Russian). Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_286888/ (Accessed 1 January 2019).
2. *Technical regulations for fire safety requirements*. Federal Law on 22 July 2008 No. 123 (ed. 29 July 2017) (in Russian). Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_78699/ (Accessed 1 January 2019).
3. A. V. Firsov, E. V. Kryukov, G. H. Kharisov. About the regulated level of an individual fire risk. *Pozhary i požarnaya bezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 9, pp. 14–16 (in Russian).
4. N. N. Brushlinsky, M. Ahrens, S. V. Sokolov, P. Wagner. *World fire statistics. Report No. 22 (Table 2)*. Berlin, Center of Fire Statistics of CTIF, 2017. 56 p. Available at: https://www.ctif.org/sites/default/files/ctif_report22_world_fire_statistics_2017.pdf (Accessed 4 December 2018).
5. *On the protection of the legal entities and individual entrepreneurs rights in the implementation of state control (supervision) and municipal control*. Federal Law on 26 December 2008 No. 294-FZ (ed. 27 December 2018) (in Russian). Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_83079/ (Accessed 1 January 2019).
6. *Criteria for classifying objects of protection to a specific risk category (in the implementation of the Federal State Fire Supervision)*. Website of the Emercom of Russia (in Russian). Available at: http://www.mchs.gov.ru/upload/site1/0006/Kriterii_otneseniya_obektov_kontrolya_k_kategoriyam_riska.pdf (Accessed 3 December 2018).
7. F. Blanc. Moving away from total control in former communist countries — the RRR in inspections, and lessons learned from reforming them. *European Journal of Risk Regulation*, 2012, vol. 3, issue 3, pp. 327–341. DOI: 10.1017/s1867299x00002233.
8. *Regulatory Enforcement and Inspections. OECD Best Practice Principles for Regulatory Policy*. Paris, OECD Publ., 2014. 68 p. DOI: 10.1787/9789264208117-en.
9. F. Blanc (ed.), D. Macrae, G. Ottimofiore. *Understanding and addressing the risk regulation reflex*. Available at: <https://www.government.nl/documents/reports/2015/01/21/understanding-and-addressing-the-risk-regulation-reflex> (Accessed 1 January 2019).
10. F. Blanc. Tools for effective regulation: Is “more” always “better”? *European Journal of Risk Regulation*, 2018, vol. 9, issue 3, pp. 465–482. DOI: 10.1017/err.2018.19.
11. C. Scott. Regulation and risk today. *European Journal of Risk Regulation*, 2017, vol. 8, issue 1, pp. 24–27. DOI: 10.1017/err.2016.3.
12. M. A. Gómez. More risk, better regulation: A view from the world of transnational litigation. *European Journal of Risk Regulation*, 2017, vol. 8, issue 1, pp. 95–100. DOI: 10.1017/err.2016.16.
13. R. Almedia, P. Carneiro. Enforcement of labor regulation and firm size. *Journal of Comparative Economics*, 2009, vol. 37, issue 1, pp. 28–46. DOI: 10.1016/j.jce.2008.09.004.
14. J. W. Dawson, J. J. Seater. Federal regulation and aggregate economic growth. *Journal of Economic Growth*, 2013, vol. 18, issue 2, pp. 137–177. DOI: 10.1007/s10887-013-9088-y.
15. J. B. Bailey, D. W. Thomas, J. R. Anderson. Regressive effects of regulation on wages. *SSRN Electronic Journal*, 2018. 25 p. DOI: 10.2139/ssrn.3121197.
16. P. Almond, M. Esbester. Regulatory inspection and the changing legitimacy of health and safety. *Regulation & Governance*, 2018, vol. 12, issue 1, pp. 46–63. DOI: 10.1111/rego.12155.
17. H. E. Jackson, M. J. Roe. Public and private enforcement of securities laws: resource-based evidence. *Journal of Financial Economics*, 2009, vol. 93, issue 2, pp. 207–238. DOI: 10.1016/j.jfineco.2008.08.006.
18. D. Skugarevskiy, K. Titaev, V. Kudryavtsev. Impact of scheduled inspections on the activities of organizations. In: *Analytical Notes on the Problems of Law-Application*. Saint Petersburg, The Institute for the Rule of Law Publ., 2016. 16 p. (in Russian). Available at: <http://enforce.spb.ru/products/policy-memo/> (Accessed 1 January 2019).
19. *Pozhary i požarnaya bezopasnost v 2012–2016 godach. Statisticheskiye sborniki* [Fires and fire safety in 2012–2016. Statistical yearbooks]. Moscow, VNIPO Publ., 2013–2017 (in Russian).

20. V. Kudryavtsev, D. Kuznetsova, R. Kuchakov. Scheduled inspections in Russia. In: *Analytical Reviews on Law Enforcement Problems*. Saint Petersburg, The Institute for the Rule of Law Publ., 2017. 28 p. (in Russian). Available at: <http://enforce.spb.ru/products/papers/6996-analiticheskij-obzor-planovye-proverki-v-rossii-v-kudryavtsev-d-kuznetsova-r-kuchakov> (Accessed 1 January 2019).
21. V. Kudryavtsev, D. Kuznetsova, R. Kuchakov. Mandate of control and supervisory agencies. In: *Analytical Reviews on Law Enforcement Problems*. Saint Petersburg, The Institute for the Rule of Law Publ., 2017. 24 p. (in Russian). Available at: <http://enforce.spb.ru/products/papers/7018-analiticheskij-obzor-mandat-kontrolno-nadzornyykh-vedomstv-v-kudryavtsev-d-kuznetsova-r-kuchakov-pod-redaktsiej-d-skugarevskogo-i-k-titaeva> (Accessed 1 January 2019).
22. *Russian Classification of Economic Activities*. Order of Rosstandard on 31 January 2014 No. 14-st (ed. 10 July 2018) (in Russian). Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_163320/ (Accessed 1 January 2019).
23. E. Chuvieco, J. Lizundia-Loiola, M. L. Pettinari, R. Ramo, M. Padilla, K. Tansey, F. Mouillot, P. Laurent, T. Storm, A. Heil, S. Plummer. Generation and analysis of a new global burned area product based on MODIS 250 m reflectance bands and thermal anomalies. *Earth System Science Data*, 2018, vol. 10, issue 4, pp. 2015–2031. DOI: 10.5194/essd-10-2015-2018.
24. *National accounts — Gross regional product — In current basic prices — Total (1998–2016)*. Federal State Statistics Service (in Russian). Available at: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/accounts/# (Accessed 12 November 2018).
25. *Prices — Consumer prices — Consumer price indices for goods and services — Consumer price indices for the Russian Federation in 1991–2018*. Federal State Statistics Service (in Russian). Available at: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/tariffs/# (Accessed 12 November 2018).
26. *Demography — Population and composition*. Federal State Statistics Service (in Russian). Available at: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/population/demography/ (Accessed 12 November 2018).
27. A. C. Cameron, P. K. Trivedi. *Regression analysis of count data*. 2nd ed. Cambridge, Cambridge University Press, 2013. 567 p. DOI: 10.1017/CBO9781139013567.
28. S. L. Zeger, K.-Y. Liang, P. S. Albert. Models for longitudinal data: A generalized estimating equation approach. *Biometrics*, 1988, vol. 44, issue 4, pp. 1049–1060. DOI: 10.2307/2531734.
29. D. I. Levine, M. W. Toffel, M. S. Johnson. Randomized government safety inspections reduce worker injuries with no detectable job loss. *Science*, 2012, vol. 336, issue 6083, pp. 907–911. DOI: 10.1126/science.1215191.

Поступила 22.01.2019; после доработки 15.03.2019; принята к публикации 25.03.2019
 Received 22 January 2019; received in revised form 15 March 2019; accepted 25 March 2019

Информация об авторах

КУДРЯВЦЕВ Владимир Евгеньевич, младший научный сотрудник, Институт проблем правоприменения при Европейском университете в Санкт-Петербурге, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация;
 e-mail: vkudryavtsev@eu.spb.ru

КУЧАКОВ Руслан Камилович, младший научный сотрудник, Институт проблем правоприменения при Европейском университете в Санкт-Петербурге, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация;
 e-mail: rkuchakov@eu.spb.ru

Information about the authors

Vladimir E. KUDRYAVTSEV, Junior Researcher, Institute for the Rule of Law (IRL) at the European University at Saint Petersburg, Saint Petersburg, Russian Federation;
 e-mail: vkudryavtsev@eu.spb.ru

Ruslan K. KUCHAKOV, Junior Researcher, Institute for the Rule of Law (IRL) at the European University at Saint Petersburg, Saint Petersburg, Russian Federation;
 e-mail: rkuchakov@eu.spb.ru

УДК 621.315/614.84

Электропроводка из алюминиевых сплавов в жилых и общественных зданиях

© А. С. Харламенков ¹(✉)¹ Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4)

АННОТАЦИЯ

Рассмотрены основные требования нормативных документов по проектированию и монтажу кабельных изделий с токопроводящими жилами из алюминиевых сплавов серии 8000. Обобщены данные по безопасным вариантам контактных соединений проводников между собой и с контактами электроустановочных изделий. Представлены допустимые способы прокладки электропроводки из алюминиевых сплавов марок 8030 и 8176 в жилых и общественных зданиях. Указаны преимущественные области применения и допустимые токовые нагрузки рассматриваемых кабелей и проводов. Даны ссылки на зарубежные нормативные документы, определяющие порядок применения электропроводки из алюминиевых сплавов.

Ключевые слова: кабельные изделия; электропроводка; алюминиевый сплав; электроустановочные изделия; контактные соединения; пожарная безопасность.

Для цитирования: Харламенков А. С. Электропроводка из алюминиевых сплавов в жилых и общественных зданиях // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2019. — Т. 28, № 2. — С. 90–92.

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

Electrical wiring from aluminum alloys in residential and public buildings

© Aleksandr S. Kharlamenkov ¹(✉)¹ State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation)

ABSTRACT

The main requirements of regulatory documents on the design and installation of cable products with the conductors of aluminum alloy 8000 series are considered. Data on safe variants of contact connections of conductors between themselves and with contacts of electrical accessories are summarized. The permissible methods of laying electrical wiring of aluminum alloys of grades 8030 and 8176 in residential and public buildings are presented. Primary scopes and allowable current loads of the considered cables and wires are indicated. References to regulatory documents of foreign countries that determine the procedure for the use of wiring from aluminum alloys are given.

Keywords: cable products; electrical wiring; aluminum alloy; wiring accessories; contact connections; fire safety.

For citation: A. S. Kharlamenkov. Electrical wiring from aluminum alloys in residential and public buildings. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2019, vol. 28, no. 2, pp. 90-92 (in Russian).

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



ВОПРОС:

Распространенная в зарубежных странах электропроводка из алюминиевых сплавов добралась и до российского рынка. На сегодняшний день утвержден ряд нормативных документов, допускающих применение такой проводки, что согласовано с ведущими научно-исследовательскими институтами — ОАО ВНИИ кабельной промышленности, ВНИИПО МЧС России и Ассоциацией “Росэлектромонтаж”. При всех отмеченных плюсах новых видов проводников в их состав входит 99 % алюминия, а значит, вопрос обеспечения пожарной безопасности контактных соединений остается актуальным.

Какие нормативные документы определяют порядок монтажа новых видов проводов и кабелей из алюминиевых сплавов и требования к их контактным соединениям?

ОТВЕТ:

В предыдущих выпусках рубрики [1–3] были рассмотрены вопросы пожарной безопасности алюминиевых проводов, особенности применения сплавов серии 8000 в зарубежной практике и мер по их внедрению в строительстве жилых и общественных зданий. На основании отчета ВНИИПО МЧС России о применении проводников из алюминиевых сплавов подготовлена статья [4], в которой отмечена необходимость более внимательно рассмотреть проблему обеспечения пожарной безопасности контактных соединений новых видов электропроводки.

Порядок проектирования и монтажа кабельных изделий в жилых и общественных зданиях определяется требованиями СП 256.1325800.2016 [5], с изм. № 2 от 20.03.2019 (далее СП 256). В новой редакции

СП 256 [5] определяется порядок применения электропроводки из алюминиевых сплавов марок 8030 и 8176, выполняемой по ТУ 16.К71-489–2016 проводами с номинальным сечением жил 2,5–16,0 мм² и кабелями — 2,5–50,0 мм².

В соответствии с новыми требованиями СП 256 [5] внутренние электрические сети зданий могут выполняться проводами и кабелями, не распространяющими горение, с жилами из алюминиевых сплавов, в том числе с минимальным сечением жил 10 мм² для подключения однофазных электрических плит в жилых домах. В СП 256 [5] значительное внимание уделено допустимым способам прокладки электропроводки марок 8030 и 8176 и безопасным вариантам контактных соединений. Так, для соединения жил из алюминиевых сплавов между собой или с контактами электроустановочных изделий (розетки, выключатели, зажимы и т. п.), электрических аппаратов и приборов должны использоваться специальные клеммы подключения алюминиевых проводников с применением винтовых зажимов или алюминиевых гильз, методом опрессовки или сварки. При этом электроустановочные изделия должны иметь специальную маркировку, указывающую на возможность присоединения кабельных изделий с жилами из меди и алюминиевых сплавов — “Cu/Al” или “CO/ALR”, нанесенную на корпус электроустановочного изделия. В случае отсутствия такой маркировки производитель должен указать в техническом паспорте продукции возможные способы подключения проводников из алюминия. Современные требования к маркировке контактных соединений представлены в Национальном электромонтажном кодексе (*NEC: National Electrical Code*) Национальной ассоциации противопожарной защиты США (*National Fire Protection Association*) *NFPA 70–2017* [6]. Типовые примеры и рекомендации безопасных способов соединений алюминиевых проводников приведены в ГОСТ 10434–82 [7], а также в совместных правилах (практиках) *NECA/AA 104–2012* Ассоциации фирм-производителей электро-

оборудования (*NECA*) и Ассоциации алюминия (*AA*), принятых в качестве американского национального стандарта (*ANSI*) [8].

В электроустановочных изделиях, содержащих медные или латунные (кроме оцинкованных, луженых и никелированных) контакты, для стабильности соединения проводников следует использовать электропроводящие смазки [5], например ЭПС–98 [9]. Применение традиционного метода соединения проводников методом скрутки с использованием различных типов зажимов (например, колпачков СИЗ или винтовых клеммников без ингибиторной смазки) в СП 256 [5] не рассматривается в качестве безопасного по причине неудовлетворительных результатов измерений электрического сопротивления контактных соединений при циклическом нагреве допустимым током нагрузки 24 А [9]. Соединения токопроводящих жил из меди и алюминиевых сплавов с помощью контактных втычных зажимов типа WAGO (со смазкой) для распределительных коробок допускается использовать без дополнительных мер по стабилизации при нагрузках до 16 А [9].

Для новых видов изолированных проводов и кабелей в общей оболочке СП 256 [5] допускается только скрытая (несменяемая замоноличенная) прокладка в бороздах стен, перегородок, перекрытий, под штукатуркой, в слое подготовки пола или в пустотах строительных конструкций.

Марки кабельных изделий по ТУ 16.К71-489–2016 с преимущественными областями их применения представлены в табл. 1.

В целях обеспечения пожарной безопасности важно учитывать допустимые токовые нагрузки (допустимый длительный ток) для проводов и кабелей марок 8030 и 8176, определяющие максимальное количество подключаемых к сети потребителей электроэнергии (табл. 2).

Таким образом, электропроводка с жилами из алюминиевых сплавов может эффективно использоваться в

Таблица 1. Области применения проводов и кабелей из алюминиевых сплавов марок 8030 и 8176

Тип кабельного изделия	Марка кабельного изделия	Преимущественная область применения
Провод	ПуАсВ	Для одиночной прокладки в кабельных сооружениях зданий и скрытых электропроводах в строительных конструкциях из негорючих материалов
	ПуАсВнг(А)-LS	Для групповой прокладки в зданиях и сооружениях во внутренних электроустановках
Кабель	АсВВГ	Для одиночной прокладки кабельных линий в зданиях и скрытых электропроводах в строительных конструкциях из негорючих материалов
	АсВВГнг(А)-LS	Для групповой прокладки кабельных линий в зданиях
	АсВВГнг(А)-LSLTx	Для одиночной и групповой прокладки в зданиях классов функциональной пожарной опасности Ф1 (здания, предназначенные для постоянного проживания и временного пребывания людей) и Ф3 (здания организаций по обслуживанию населения)
	АсППГнг(А)-HF	Для одиночной и групповой прокладки в зданиях и сооружениях, оснащенных компьютерной и микропроцессорной техникой

Таблица 2. Допустимые токовые нагрузки кабелей и проводов из алюминиевых сплавов марок 8030 и 8176 по ТУ 16.К71-489-2016

Номинальное сечение, мм ²	Допустимый длительный ток, А		
	Кабель, прокладываемый*		Провод
	в воздухе	в земле	
2,5	21	28	22
4	29	37	31
6	37	44	40
10	50	59	55
16	67	77	76
25	87	102	–
35	106	123	–
50	126	143	–

* Для определения токовых нагрузок 4-жильных кабелей с жилами равного сечения в 4-проводных сетях при нагрузке во всех жилах в нормальном режиме, а также для 5-жильных кабелей указанные в таблице значения должны быть умножены на коэффициент 0,93.

жилых и общественных зданиях без снижения их уровня пожарной безопасности при соблюдении правил проектирования и монтажа, изложенных в СП 256 [5], с учетом практического опыта зарубежных стран.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черкасов В. Н., Харламенков А. С. Рубрика “Вопрос–Ответ” // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2017. — Т. 26, № 6. — С. 79–80.

2. Черкасов В. Н., Харламенков А. С. Почему в настоящее время медные проводники предпочтительнее алюминиевых? // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2017. — Т. 26, № 7. — С. 76–77.

3. Харламенков А. С. Кабельная продукция из алюминиевых сплавов как альтернатива меди // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 6. — С. 70–72.

4. Смелков Г. И., Пехотилов В. А., Рябиков А. И., Назаров А. А., Каменский М. К. Проблемы применения кабельных изделий с токопроводящими жилами из сплавов алюминия в жилых и общественных зданиях // Электроэнергия. Передача и распределение. — 2018. — № 3(48). — С. 120–127.

5. СП 256.1325800.2016. Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа (в ред. от 19.09.2018). — Введ. 02.03.2017. — М. : Стандартинформ, 2017.

6. ГОСТ 10434–82. Соединения контактные электрические. Классификация. Общие технические требования (в ред. 25.05.1991). — Введ. 01.01.1983. — М. : ИПК Изд-во стандартов, 1982.

7. NFPA 70. National Electrical Code. — Quincy, Massachusetts : NFPA, 2016. — 888 p.

8. NECA/AA 104–2012. Recommended Practice for Installing Aluminum Building Wire and Cable. — Washington : ANSI, 2014.

9. Каменский М. К., Недайхлиб Т. А., Фрик А. А. Кабели силовые с токопроводящими жилами из сплавов алюминия для электропроводок в жилых зданиях // Наука и техника. — 2018. — № 3(371). — С. 3–8.

Материал поступил в редакцию 10.03.2019
Received 10 March 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

УДК 614.844.2

Влияние проектного значения интенсивности орошения диктующего оросителя на гидравлические параметры распределительной сети АУП

© Л. М. Мешман¹✉

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

АННОТАЦИЯ

Рассмотрены благоприятные факторы, способствующие эффективному тушению пожара, и неблагоприятные факторы, препятствующие эффективному тушению пожара. Представлено распределение расхода каждого оросителя и общего расхода АУП для различных вариантов распределительных сетей при последовательной активации всех оросителей, находящихся на каждой из защищаемых диктующих площадей, при общем расходе АУП не более 10 л/с и начальной интенсивности диктующего оросителя $i_{\text{норм}} > i_{\text{расч}} = 0,06 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$ и $i_{\text{норм}} = 0,08 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$. Показано, что если правильно подобрать диаметры трубопроводов распределительной сети, то даже при нормативном значении интенсивности орошения диктующего оросителя общий расход АУП при активации четырех оросителей, рассчитанный по методике, приведенной в СП 5.13130.2009, может быть меньше нормативного значения примерно в 1,5 раза, за счет чего расширяется защищаемая диктующая площадь по сравнению с нормативной $S_{\text{норм}} = 60 \text{ м}^2$.

Ключевые слова: давление; расход; диктующий ороситель; интенсивность орошения; диктующая защищаемая площадь; эпюра орошения; эффективное тушение пожара.

Для цитирования: Мешман Л. М. Влияние проектного значения интенсивности орошения диктующего оросителя на гидравлические параметры распределительной сети АУП // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2019. — Т. 28, № 2. — С. 93–97.

✉ Мешман Леонид Мунеевич, e-mail: fire404@mail.ru

Effect of irrigation intensity design value dictating the sprinkler on the hydraulic parameters of the distribution network AFES

© Leonid M. Meshman¹✉

¹ All-Russian Research Institute for Fire Protection (12, VNIPO, Balashikha, Moscow Region, 143903, Russian Federation)

ABSTRACT

Consider the enabling factors that contribute to an effective fire fighting, and adverse factors that hinder effective fire fighting. The distribution of the flow rate of each irrigator and the total flow rate of AFES of different distribution networks with sequential activation of all irrigators located on each of the protected dictating areas, with the total flow rate of AFES not more than 10 l/s and at the initial intensity of the dictating sprinkler $i_{\text{норм}} > i_{\text{calc}} = 0.06 \text{ l}/(\text{sec} \cdot \text{m}^2)$ and $i_{\text{норм}} = 0.08 \text{ l}/(\text{sec} \cdot \text{m}^2)$. It is shown that if the diameters of the distribution network pipelines are chosen correctly, then even with the normative value of the intensity of irrigation of the dictating sprinkler, the total flow rate of the AFES with the activation of four irrigators, calculated according to the method given in Set of rules 5.13130.2009, may be less than the normative value by about 1.5 times due to which the protected dictating area is expanded compared to the normative $S_{\text{норм}} = 60 \text{ m}^2$.

Keywords: pressure; flow rate; dictating sprinkler; irrigation intensity; dictating protected area; irrigation plot; effective fire extinguishing.

For citation: L. M. Meshman. Effect of irrigation intensity design value dictating the sprinkler on the hydraulic parameters of the distribution network AFES. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2019, vol. 28, no. 2, pp. 93–97 (in Russian).

✉ Leonid Muneevich Meshman, e-mail: fire404@mail.ru



ВОПРОС

При гидравлическом расчете распределительной сети получается странная ситуация: из-за того что диктующий ороситель должен обеспечить нормативную интенсивность орошения, расход последующих активированных оросителей все больше и больше превышает расход диктующего оросителя и, как следствие, общий расход АУП неоправданно увеличивается. Может быть, исходя из экономии расхода, достаточно снизить интенсивность орошения диктующего оросителя хотя бы вдвое?

ОТВЕТ:

Рассмотрим два варианта развития пожара для помещения, например, группы 1 по СП 5.13130.2009 [1]:

- неблагоприятные факторы отсутствуют, что способствует эффективному тушению пожара;
- наличие неблагоприятных факторов препятствует эффективному тушению пожара (например, мертвых зон, в которых воздействие ОТВ непосредственно на горящую поверхность затруднено).

Пожар может возникнуть в любой зоне защищаемого объекта (рис. 1).

При сетке распределительной сети на защищаемой площади размером 4×4 м за расчетное количество примем четыре оросителя.

Если гидравлический расчет распределительной сети был выполнен по методике, приведенной в СП [1], то при активации расчетного количества оросителей

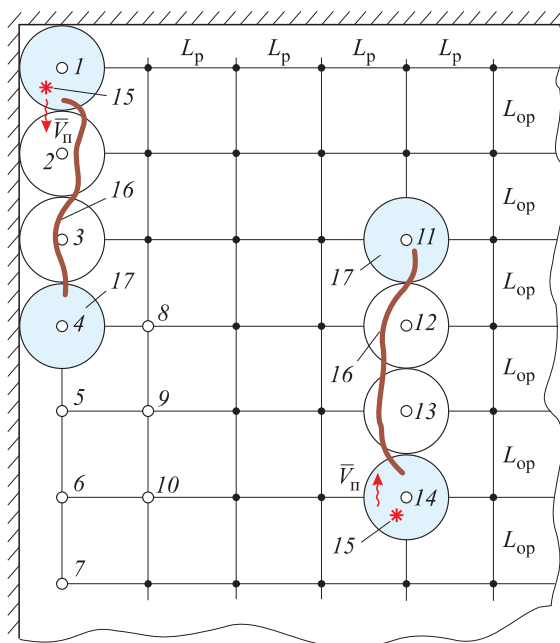


Рис. 1. Распределение интенсивности орошения после активации четырех оросителей: 1–14 — оросители; 15 — место возникновения пожара; 16 — препятствие для воздействия ОТВ непосредственно на горящую поверхность; 17 — круглая площадь орошения 12 м²; $\vec{V}_п$ — вектор распространения пожара

интенсивность орошения на диктующем оросителе 1 должна быть не менее нормативного значения, т. е. $i_{норм} \geq 0,08 \text{ л/(с·м}^2\text{)}$. Тогда пожар будет успешно ликвидирован при активации от одного до расчетного количества оросителей с общим расходом не более 10 л/с.

Если даже пожар начнется в зоне действия диктующего оросителя 1 (см. рис. 1) при расчетной интенсивности орошения диктующего оросителя (например, $i_{расч} = 0,06 \text{ л/(с·м}^2\text{)}$ вместо нормативного значения $i_{норм} = 0,08 \text{ л/(с·м}^2\text{)}$ по СП [1]), то при его активации расход и интенсивность могут в 2–3 раза превышать расчетное значение и, следовательно, быть несколько больше нормативного: $i_{норм} > 0,08 \text{ л/(с·м}^2\text{)}$. Таким образом, в данном случае имеются все предпосылки для успешного тушения пожара. При отсутствии неблагоприятных факторов, препятствующих эффективному тушению пожара, с высокой долей вероятности можно считать, что пожар будет успешно ликвидирован одним–двумя оросителями.

Однако на практике чаще всего имеют место неблагоприятные факторы, например препятствия 16 (см. рис. 1) для непосредственного воздействия ОТВ на горящую поверхность.

Допустим, имеется узкая мертвая зона, которая протянулась от диктующего оросителя 1 до оросителя 4. В случае пожара последовательно начнут активироваться оросители 1, 2 и 3, ликвидируя пожар в зоне своего действия, кроме мертвой зоны (см. рис. 1). В этом случае пожар может быть потушен, если интенсивность орошения оросителя 4 не будет равна исходному расчетному значению $i_{расч} = 0,06 \text{ л/(с·м}^2\text{)}$, а будет не менее нормативного $i_{расч} \geq 0,08 \text{ л/(с·м}^2\text{)}$. Иначе никаких надежд потушить пожар не останется.

Если ороситель 4 не обеспечивает нормативной интенсивности орошения, то пожар начинает распространяться от него в сторону оросителей 5 и 8. Естественно, если при активации оросителя 4 на каждом оросителе интенсивность орошения будет меньше нормативного значения, то и суммарный расход будет ниже нормативного. Остается некоторый запас по расходу, что допускает срабатывание еще нескольких оросителей, смежных с оросителем 4, например одного–трех из оросителей 5–10. Как правило, создаваемая ими интенсивность орошения может быть уже ниже нормативного значения, а значит, пожар потушен не будет.

Допустим, что, когда активируется, например, ороситель 6, интенсивность орошения будет достаточной, чтобы потушить пожар. Но до того, как сработает ороситель 6, пожар уже распространится в сторону оросителей 8 и 9 и станет неуправляемым.

Аналогичный характер распространения пожара и алгоритм активации оросителей имеют место при возникновении загорания под оросителем 4 и вектором

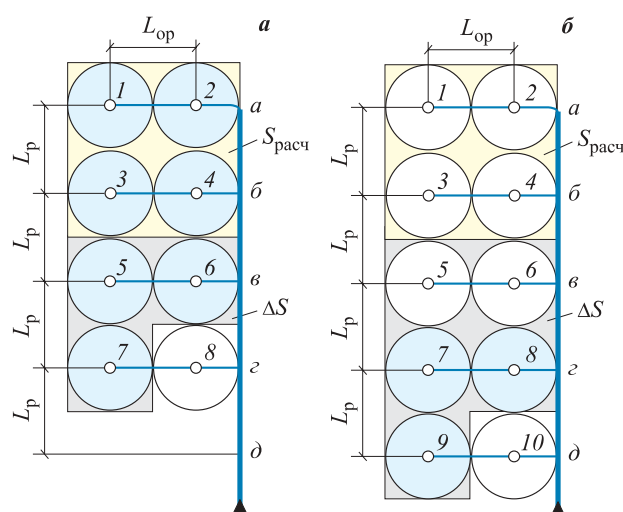


Рис. 2. Активированные оросители с интенсивностью орошения $i \geq 0,08 \text{ л/(с} \cdot \text{м}^2)$ при расчетной интенсивности орошения диктующего оросителя $i_{\text{норм}} = 0,08 \text{ л/(с} \cdot \text{м}^2)$ (а) и принятой интенсивности $i_{\text{расч}} = 0,06 \text{ л/(с} \cdot \text{м}^2)$ (б): 1 – диктующий ороситель; 2–10 – оросители; $L_{\text{оп}} = L_p$ – расстояние между оросителями и рядами; $S_{\text{расч}}$ – минимальная диктующая расчетная защищаемая площадь; ΔS – дополнительная площадь, орошаемая дополнительными оросителями с интенсивностью $i > 0,08 \text{ л/(с} \cdot \text{м}^2)$

распространения пожара в сторону диктующего оросителя 1.

Несколько более благоприятные условия для тушения пожара складываются при его возникновении на значительном расстоянии от диктующего оросителя, например от оросителя 14 в сторону оросителя 11, но все равно остается высокая доля вероятности, что пожар не будет ликвидирован.

Поскольку общий расход и давление на выходе этой площади, а также количество оросителей, укладываемых в нормативный расход, зависят от варианта

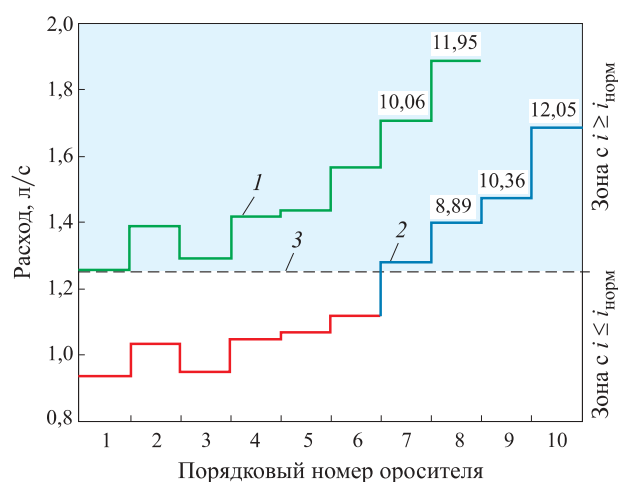


Рис. 3. Распределение расхода каждого оросителя при их последовательной активации и общего расхода АУП при активации всех оросителей, находящихся на защищаемой диктующей площади, при общем расходе АУП не более 10 л/с : 1 – диктующий ороситель с $i_{\text{норм}} = i_{\text{расч}} = 0,08 \text{ л/(с} \cdot \text{м}^2)$; 2 – диктующий ороситель с $i_{\text{норм}} > i_{\text{расч}} = 0,06 \text{ л/(с} \cdot \text{м}^2)$ (красная часть соответствует оросителям, не обеспечивающим нормативную интенсивность); 3 – линия раздела орошения с $i_{\text{норм}} = 0,08 \text{ л/(с} \cdot \text{м}^2)$; значения в рамке – общий расход при срабатывании соответствующего количества оросителей

схемы распределительной сети (см. вопрос 3 [2]), рассмотрим, как изменяются эти параметры как при принятом значении интенсивности орошения диктующего оросителя 1 ниже нормативного – $i_{\text{расч}} = 0,06 \text{ л/(с} \cdot \text{м}^2)$, так и при нормативном – $i_{\text{норм}} = 0,08 \text{ л/(с} \cdot \text{м}^2)$.

Зависимость между количеством активированных оросителей с интенсивностью орошения диктующего оросителя $i_{\text{норм}} \geq 0,08 \text{ л/(с} \cdot \text{м}^2)$ и принятой при гидравлических расчетах интенсивностью орошения диктующего оросителя $i_{\text{расч}} \geq 0,08 \text{ л/(с} \cdot \text{м}^2)$ или $i_{\text{расч}} = 0,06 \text{ л/(с} \cdot \text{м}^2)$ приведена на рис. 2.

Таблица 1. Результаты расчета гидравлических параметров распределительной сети в зависимости от интенсивности орошения диктующего оросителя

Номер оросителя	Интенсивность орошения диктующего оросителя, $\text{л/(с} \cdot \text{м}^2)$					
	$i_{\text{норм}} = i_{\text{расч}} = 0,08$			$i_{\text{норм}} > i_{\text{расч}} = 0,06$		
	Расход каждого оросителя, л/с	Общий расход оросителей, л/с	Давление на участках, МПа	Расход каждого оросителя, л/с	Общий расход оросителей, л/с	Давление на участках, МПа
1	1,25	1,25	0,09	0,94	0,94	0,050
2	1,39	2,64	0,11	1,03	1,97	0,061
3	1,29	3,93	P_a 0,153	0,95	2,92	P_a 0,085
4	1,42	5,35	P_b 0,161	1,05	3,97	P_b 0,090
5	1,43	6,78		1,07	5,04	
6	1,57	8,35	P_b 0,197	1,17	6,21	P_b 0,110
7	1,71	10,06		1,28	7,49	
8	1,89	11,95	P_r 0,284	1,40	8,89	P_r 0,158
9				1,47	10,36	
10			P_A 0,462	1,69	12,05	P_A 0,209

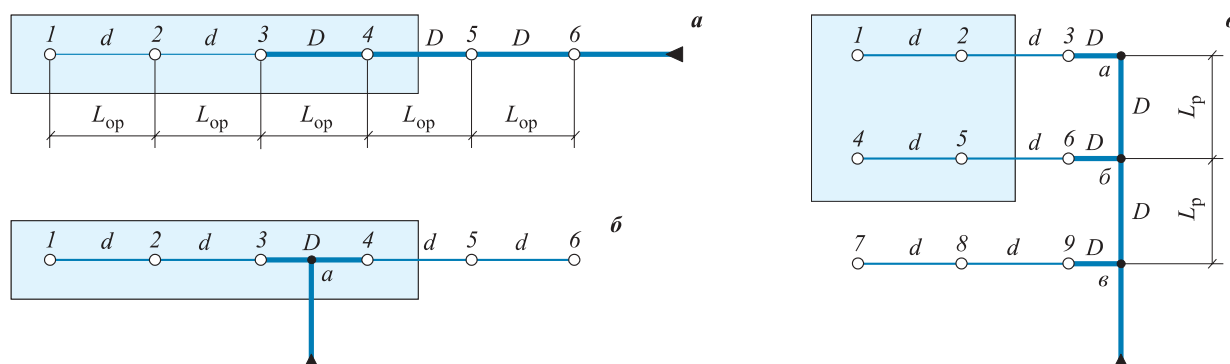


Рис. 4. Варианты гидравлических схем защищаемой диктующей площади: а — лучевая (последовательная); б — симметричная; в — несимметричная односторонняя; 1–9 — оросители; D, d — соответственно номинальные диаметры DN 40 и DN 25

В анализируемых вариантах диктующих защищаемых площадей распределительной сети расстояние между оросителями и рядками $L_{op} = L_p = 4$ м, диаметр питающего трубопровода DN 40, диаметр отдельных участков распределительной сети между оросителями DN 25.

Результаты гидравлического расчета представлены в табл. 1 и на рис. 3.

За критерий эффективности АУП принимаем активацию на защищаемой площади 64 м^2 не менее четырех оросителей с нормативной интенсивностью $i_{норм} \geq 0,08 \text{ л/(с} \cdot \text{м}^2\text{)}$.

При принятой интенсивности орошения диктующего оросителя 1 $i_{расч} = 0,06 \text{ л/(с} \cdot \text{м}^2\text{)}$ положительный эффект, укладываемый в нормативную интенсивность орошения не менее нормативной, может быть достигнут только четырьмя оросителями (из 10 активированных), но при этом их расход ($12,05 \text{ л/с}$) превысит нормативное значение (10 л/с). Давление на выходе в этом случае $P_A = 0,209 \text{ МПа}$. В пределах нормативного расхода 10 л/с активированных оросителей с нормативной интенсивностью орошения

$i_{норм} = 0,08 \text{ л/(с} \cdot \text{м}^2\text{)}$ всего три, что недостаточно для эффективного действия АУП.

При принятой интенсивности орошения диктующего оросителя 1 $i_{расч} = 0,08 \text{ л/(с} \cdot \text{м}^2\text{)}$ положительный эффект, укладываемый в нормативный расход 10 л/с (практически несколько больше — $10,06 \text{ л/с}$) и интенсивность орошения не менее нормативной, будет достигнут семью оросителями из семи активированных. Следует отметить, что давление на выходе в этом случае $P_A = 0,462 \text{ МПа}$, но при этом фактическая защищаемая площадь $S_{факт}$ составит:

$$S_{факт} = \Omega N = 16 \cdot 7 = 117 \text{ м}^2,$$

т. е. практически будет равна нормативному значению площади $S_{норм} = 120 \text{ м}^2$, предписанному ранее в НПБ 88 [3].

Примерно такой же характер зависимости активации оросителей с интенсивностью орошения у диктующего оросителя 1 $i_{расч} = 0,06 \text{ л/(с} \cdot \text{м}^2\text{)}$ или $i_{расч} = 0,08 \text{ л/(с} \cdot \text{м}^2\text{)}$ имеет место при иных гидравлических схемах распределительной сети АУП (рис. 4, табл. 2).

Таблица 2. Результаты расчета гидравлических параметров распределительной сети в зависимости от интенсивности орошения диктующего оросителя

Схема рис. 4	Интенсивность орошения оросителя 1, $\text{л/(с} \cdot \text{м}^2\text{)}$	Расход, л/с						Давление, МПа	
		1	2	3	4	5	6	общий*	на диктующем оросителе
а	0,06	0,94	1,04	1,39	1,47	1,64	1,90	$Q_{1-6} = 8,38$	0,05
	0,08	1,25	1,39	1,85	1,96	2,11	2,46	$Q_{1-5} = 8,56$ $Q_{1-6} = 11,02$	0,09
									$P_6 0,340$
б	0,06	0,94	1,04	1,39	1,39	1,04	0,94	$Q_{1-6} = 6,70$	0,05
	0,08	1,25	1,39	1,85	1,85	1,39	1,25	$Q_{1-6} = 8,98$	0,09
в	0,06	0,94	1,04	1,39	0,99	1,10	1,47	$Q_{1-6} = 6,93$	0,05
	0,08	1,25	1,39	1,85	1,32	1,47	1,95	$Q_{1-6} = 9,23$	0,09
									$P_6 0,230$

* Q_{1-5} , Q_{1-6} — общий расход соответственно пяти и шести активированных оросителей.

При проектировании АУП может быть принята лучевая (последовательная) схема, приведенная на рис. 4,а, с расчетной интенсивностью диктующего оросителя менее нормативной. Следует, правда, оговориться, что лучевые распределительные трубопроводы с большим количеством оросителей применяются крайне редко.

Таким образом, в общем случае принимать при расчетах интенсивность орошения диктующего оросителя $i_{\text{расч}} < i_{\text{норм}}$ нецелесообразно, так как положительный эффект при этом практически отсутствует, а риски неудовлетворительной работы АУП весьма велики.

Необходимо учитывать и еще один важный фактор: определяющими параметрами по тушению пожара согласно СП 5.13130.2009 [1], помимо нормативного значения интенсивности орошения, являются нормативный расход АУП и нормативная защищаемая диктующая площадь.

Гидравлический расчет показывает, что если правильно подобрать диаметры трубопроводов распределительной сети, то даже при нормативном значении интенсивности орошения диктующего оросителя 1 общий расход АУП при активации четырех оросителей может быть меньше нормативного значения примерно в 1,5 раза, за счет чего расширяется защищаемая диктующая площадь по сравнению с нормативной $S_{\text{норм}} = 60 \text{ м}^2$.

Гидравлический расчет водяных и пенных АУП подробно изложен также в учебно-методических пособиях [4, 5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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: 10.01.2019).
2. Мешман Л. М. Частные вопросы при проектировании водяных АУП // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2019. — Т. 29, № 1. — С. 80–88.
3. НПБ 88-2001*. Установки пожаротушения и сигнализации. Нормы и правила проектирования (с изм. № 1). URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200016069> (дата обращения: 10.01.2019).
4. Мешман Л. М., Былинкин В. А., Губин Р. Ю., Романова Е. Ю. Автоматические водяные и пенные установки пожаротушения. Проектирование : учеб.-метод. пособ. — М. : ВНИИПО, 2009. — 572 с.
5. Мешман Л. М., Былинкин В. А., Губин Р. Ю., Романова Е. Ю. Оросители водяных и пенных автоматических установок пожаротушения : учеб.-метод. пособ. — М. : ВНИИПО, 2002. — 315 с.

Материал поступил в редакцию 20.01.2019

Received 20 January 2019

Информация об авторе

МЕШМАН Леонид Мунеевич, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России, г. Балашиха Московской обл., Российская Федерация; e-mail: fire404@mail.ru

Information about the author

Leonid M. MESHMAN, Cand. Sci. (Eng.), Leading Researcher, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia, Balashikha, Moscow Region, Russian Federation; e-mail: fire404@mail.ru

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ!

Направляемые в журнал “ПОЖАРОВЗРЫВБЕЗОПАСНОСТЬ / FIRE AND EXPLOSION SAFETY” статьи должны содержать результаты научных исследований и испытаний, описания новых технических устройств и программно-информационных продуктов; обзоры, комментарии к нормативно-техническим документам, справочные материалы и т. п. Авторы должны указать, к какому типу относится их статья:

- научно-теоретическая;
- научно-эмпирическая;
- аналитическая (обзорная);
- дискуссионная;
- рекламная.

Не допускается направлять в редакцию работы, которые были опубликованы и/или приняты к печати в других изданиях.

Редакция просит авторов при подготовке рукописи руководствоваться изложенными ниже правилами.

1. Статья и сопутствующие ей материалы должны быть направлены в редакцию в электронном виде по адресу info@fire-smi.ru.

Статья должна быть ясно и лаконично изложена и подписана всеми авторами (скан страницы с подписями). Основной текст статьи должен содержать в себе четкие, логически взаимосвязанные разделы. Все разделы должны начинаться приведенными ниже заголовками, выделенными полужирным начертанием. Для научной статьи традиционными являются следующие разделы:

- введение;
- материалы и методы (методология) — для научно-эмпирической статьи;
- теоретические основы (теория и расчеты) — для научно-теоретической статьи;
- результаты и их обсуждение;
- заключение (выводы).

Редакция допускает и иную структуру, обусловленную спецификой конкретной статьи (аналитической (обзорной), дискуссионной, рекламной) при условии четкого выделения разделов:

- введение;
- основная (аналитическая) часть;
- заключение (выводы).

Подробную информацию о содержании каждого из обозначенных выше разделов см. на сайте издательства www.fire-smi.ru.

Материал статьи должен излагаться в следующем порядке.

2.1. Номер УДК (универсальная десятичная классификация).

2.2. Заглавие статьи (на русском и английском языках). Заглавия научных статей должны быть точными и лаконичными и в то же время достаточно информативными; в них можно использовать только общепринятые сокращения. В переводе заглавий статей на английский язык недопустима транслитерация с русского языка, кроме 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 электронный адрес всех или хотя бы одного из авторов. При этом не следует приводить составные части названий организаций, обозначающие принадлежность ведомству, форму собственности, статус организации (например, “Учреждение Российской академии наук...”, “Федеральное государственное унитарное предприятие...”, “ФГОУ ВПО...” и т. п.), так как это затрудняет идентификацию организации. Обращаем Ваше внимание, что при переводе необходимо указывать официально принятое название организации на английском языке. Все почтовые сведения (кроме наименования улицы, которое должно быть в транслитерированном виде) должны быть также переведены на английский язык, в том числе название города и страны.

Пример: *Institute for Problem in Mechanics, Russian Academy of Sciences (Vernadskogo Avenue, 101, Moscow, 119526, Russian Federation).*

2.4. Аннотация на русском языке должна состоять не менее чем из 5–7 предложений и не должна содержать обобщенные данные по выбранной для статьи теме. Аннотация к научной статье представляет собой краткое описание содержания изложенного текста (т. е.: “Изучены..., проанализированы..., представлены...” и т. п.).

2.5. Расширенное резюме на русском и английском языках. Необходимо иметь в виду, что авторское резюме на английском языке в русскоязычном издании является для иностранных ученых и специалистов основным и, как правило, единственным источником информации о содержании статьи и об изложенных в ней результатах исследований. Поэтому авторское резюме должно быть:

- информативным (не содержать общих слов);
- оригинальным (не быть калькой с русскоязычной аннотации с дословным переводом);
- содержательным (должно отражать существенные результаты работы; не должно включать материал, который отсутствует в основной части публикации);
- структурированным (т. е. следовать логике описания результатов в публикации);
- грамотным (написанным качественным английским языком, без использования программ автоматизированного перевода);
- объемом не менее 200–250 слов.

Структура резюме должна повторять структуру статьи и включать 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, предположениями, гипотезами, описанными в работе.

Текст должен быть связным; излагаемые положения должны логично вытекать одно из другого.

Сокращения и условные обозначения, кроме общеупотребительных, 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.

2.6. Ключевые слова на русском и английском языках (не менее 5 слов или словосочетаний). Они указываются через точку с запятой. Недопустимо в качестве ключевых слов использовать термины общего характера (например, проблема, решение и т. п.), не являющиеся специфической характеристикой публикации. При переводе ключевых слов на английский язык избегайте по возможности употребления слов “and” (и), “of” (предлог, указывающий на принадлежность), артиклей “a”, “the” и т. п.

2.7. Основной текст статьи должен быть набран через 1,5 интервала в формате Word. Формулы должны быть набраны в Microsoft Equation или MathType.

Цитируемый текст из других публикаций следует брать в кавычки. Таблицы, рисунки, методы, численные данные (за исключением общеизвестных величин), опубликованные ранее, должны сопровождаться ссылками.

Если представленные в статье исследования выполнены авторами при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Российского научного фонда, Министерства образования и науки Российской Федерации и т. п., то в конце статьи обязательно следует дать информацию об этом с указанием номера и названия гранта (научного проекта, госконтракта и т. д.).

Сокращения и условные обозначения физических величин в тексте статьи должны соответствовать действующим международным стандартам. Формулы и буквенные обозначения должны быть четкими и ясными. Все буквенные обозначения, входящие в формулы, должны быть расшифрованы с указанием единиц измерения. Различность всех характеристик должна соответствовать системе СИ. Иллюстрации в электронной версии прилагаются отдельно. Фотографии должны быть сделаны с хорошего негатива контрастной печатью (файлы растровых изображений предоставляются с разрешением не менее 300 dpi, черно-белая штриховая графика — 600 dpi). Файлы векторной графики следует предоставлять в формате той программы, в которой они созданы, либо печатать PDF-файл из этой программы. Все иллюстрации должны иметь сквозную нумерацию. Чертежи и карты в качестве иллюстраций неприемлемы. Ссылки на все рисунки в тексте обязательны.

Таблицы должны быть составлены лаконично и содержать только необходимые сведения; однотипные таблицы следует строить одинаково. Цифровые данные необходимо округлять в соответствии с точностью эксперимента. Сведения в таблицах и на рисунках не должны повторяться. Ссылки на все таблицы в тексте обязательны.

Для двуязычного представления табличного и графического материала необходимо прислать перевод на английский язык:

- для таблицы: ее названия, шапки, боковика, текста во всех строках, сносок и примечаний;
- для рисунка: подрисунковой подписи и всех текстовых надписей на самом рисунке;
- для схемы: подписи к ней и всего содержания самой схемы.

2.8. Пристатейные списки литературы на русском языке и языке оригинала (если книга переводная).

Список литературы должен включать библиографические сведения обо всех публикациях, упоминаемых в статье, и не должен содержать указаний на работы, на которые в тексте нет ссылок. Литература должна быть оформлена в виде общего списка в порядке упоминания. В тексте ссылка на литературу отмечается порядковой цифрой в квадратных скобках, например [1]. Библиографические данные приводятся по титульному листу издания. Порядок изложения элементов библиографического описания определяется требованиями ГОСТ 7.1–2003 и ГОСТ Р 7.0.5–2008.

В описании источников необходимо указывать всех авторов.

Наряду с этим для научных статей список литературы должен отвечать следующим требованиям.

Список литературы должен содержать не менее 20 источников (в это число не входят нормативные документы, патенты, ссылки на сайты компаний и т. п.). При этом количество ссылок на статьи из иностранных научных журналов и другие иностранные источники должно быть не менее 40 % от общего количества ссылок. Не более половины от оставшихся 60 % должны составлять статьи из русскоязычных научных журналов, остальное — другие первоисточники на русском языке.

Не менее половины источников должно быть включено в один из ведущих индексов цитирования: Российский индекс научного цитирования eLibrary, Web of Science, Scopus, Chemical Abstracts, MathSciNet, Springer и др. В случае присвоения публикациям циф-

рового идентификатора объекта (DOI) его необходимо указать, что позволит однозначно идентифицировать объект в базах данных.

Состав источников должен быть актуальным и содержать не менее половины современных (не старше 10 лет) статей из научных журналов или других публикаций.

В списке литературы должно быть не более 30 % источников, автором либо соавтором которых является автор статьи.

Следует обратить внимание на публикации диссертаций (особенно докторских), защищенных в последние годы по ближайшей научной специальности или группе специальностей. Для поиска рекомендуется использовать ресурс <http://www.dissercat.com>.

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

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

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

2.9. References (пристатейные списки литературы на английском языке). Представление в References только транслитерированного (без перевода) описания недопустимо. Обращаем Ваше внимание, что перевод названия 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:

- авторы (транслитерация; для ее написания используйте сайт <http://fotosav.ru/services/transliteration.aspx>, обязательно включив в настройках справа сверху 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 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!

При поддержке Национального
антитеррористического комитета

22–24 мая

КРАСНОЯРСК 2019 ВХОД СВОБОДНЫЙ!

АНТИ ТЕРРОР

XV ВСЕРОССИЙСКИЙ
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ
ФОРУМ

**современные системы
безопасности**



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

Более **10 000** посетителей
из 55 субъектов РФ в 2018 году

**МАСШТАБНОЕ
КОНГРЕССНОЕ
МЕРОПРИЯТИЕ
В ЦЕНТРАЛЬНОЙ
АЗИИ**

1-3 октября, 2019

**Дворец Независимости
Астана, Республика Казахстан**

Справки по телефонам:

+7 (7172) 52 42 33, +7 (7172) 52 42 80

Организатор:

АЕХКС

Выставочная
компания
«Астана-Экспо КС»

Официальная поддержка:



Министерство
внутренних
дел РК



Комитет
национальной
безопасности РК



Министерство обороны и
аэрокосмической
промышленности РК

Стратегические партнеры:

KA\PER\KY



RONEX Security



ИНСТИТУТ КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Национальный исследовательский
Московский государственный
строительный университет

Научно-
исследовательские
и сертификационные
испытания:

- ♦ железобетонных конструкций
- ♦ противопожарных преград
- ♦ легкобрасываемых конструкций
- ♦ фасадных систем
- ♦ палуб, переборок

Контакты:

Тел.: 8 (495) 109-05-58

e-mail: ikbs@mgsu.ru,

mail@ikbs-mgsu.com

www.ikbs-mgsu.com

Свидетельство о признании
Аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.21AM09 от 24.06.2014 г.
испытательной лаборатории РМРС № 16.00385.120 от 28.12.2016 г.