



УВЕЛИЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ  
ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ПЕНЫ ПУТЁМ  
ВОСПОЛНЕНИЯ ЖИДКОЙ ФАЗЫ  
ПРИ ОРОШЕНИИ



## УЧРЕДИТЕЛЬ и ИЗДАТЕЛЬ —

ФГБОУ ВО «Национальный  
исследовательский  
Московский государственный  
строительный университет»

## Адрес:

129337, г. Москва, Ярославское ш., д. 26

Журнал издается с 1992 г.,  
периодичность — 6 номеров в год.

СМИ зарегистрировано Федеральной  
службой по надзору в сфере связи,  
информационных технологий и массовых  
коммуникаций — свидетельство  
ПИ № ФС 77-79402 от 02 ноября 2020 г.  
Префикс DOI: 10.22227

## РЕДАКЦИЯ:

Выпускающий редактор **Дядичева А.А.**  
Редактор **Махиянова Е.Б.**  
Перевод на английский **Юденкова О.В.**  
Корректор **Светличная Л.В.**  
Дизайнер **Алейникова А.Г.**

## Адрес редакции:

129337, г. Москва, Ярославское ш., д. 26

## Адрес для переписки:

121352, Россия, г. Москва, а/я 26.

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

E-mail: [info@fire-smi.ru](mailto:info@fire-smi.ru)

<https://www.fire-smi.ru>

Журнал включен в перечень ведущих  
рецензируемых научных журналов и изданий,  
рекомендованных ВАК России для публикации  
трудов соискателей ученых степеней,  
в Реферативный журнал и базы данных  
ВИНИТИ РАН, в базу данных Российского  
индекса научного цитирования (РИНЦ),  
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  
«Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion  
Safety» только по согласованию с редакцией.  
При цитировании ссылка не обязательна.  
Авторы и рекламодатели несут ответственность  
за содержание представленных в редакцию  
материалов и публикацию их в открытой печати.  
Мнение редакции не всегда совпадает  
с мнением авторов опубликованных  
материалов.

Подписано в печать 27.08.2021.

Выход в свет 31.08.2021.

Формат 60 × 84 1/8. Тираж 2000 экз.

Бумага мелованная матовая.

Печать офсетная. Цена свободная.

Распространяется по подписке.

Отпечатано в типографии

Издательства МИСИ – МГСУ

129337, Москва, Ярославское ш., д. 26 корп. 8.

Фото для оформления журнала взято с сайта: [www.pexels.com](http://www.pexels.com)

## ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

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

## ЗАМ. ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

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

**Стрижак П.А.**, д. ф.-м. н., профессор (Национальный исследовательский Томский  
политехнический университет, Томск, Россия)

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

**Бакиров И.К.**, к. т. н. (Уфимский государственный нефтяной технический универси-  
тет, Уфа, Россия, Республика Башкортостан)

**Барбин Н.М.**, д. т. н., к. х. н., профессор, почетный работник науки и техники РФ  
(Уральский институт Государственной противопожарной службы МЧС России, Ека-  
теринбург, Россия)

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

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

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

**Бурханов А.И.**, д. ф.-м. н. (Волгоградский государственный технический универси-  
тет, Волгоград, Россия)

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

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

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

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

**Поландов Ю.Х.**, д. т. н., профессор (Национальный исследовательский Московский  
государственный строительный университет, Москва, Россия)

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

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

**Рыстайн А.** (Институт управления при ЧС Национального университета Государствен-  
ной службы, Будапешт, Венгрия)

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

**Серков Б.Б.**, д. т. н., профессор, действительный член НАНПБ (Академия Государ-  
ственной 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 дея-  
тель 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 (Академия  
Государственной противопожарной службы МЧС России, 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 Рос-  
сии, Балашиха Московской обл., Россия)

**Шилдс Т. Дж.**, профессор (Ольстерский университет, Ньютаунбаби, Великобритания)

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

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

# СОДЕРЖАНИЕ

# CONTENTS

## ОБЩИЕ ВОПРОСЫ КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

## GENERAL QUESTIONS OF COMPLEX SAFETY

В.С. ГОРШКОВ, А.В. ГОМОЗОВ,  
В.В. ПАВЛОВ, О.В. ФОМИНА  
Основные итоги актуализации положений свода правил  
«Системы противопожарной защиты. Обеспечение  
огнестойкости объектов защиты»  
с учетом новых требований сводов правил  
в области строительства

5

V.S. GORSHKOV, A.V. GOMOZOV,  
V.V. PAVLOV, O.V. FOMINA  
The key effects of the revised provisions  
of the set of rules "Fire protection systems.  
Fire resistance of protected items"  
with regard for the new requirements introduced  
into building regulation codes

## БЕЗОПАСНОСТЬ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

## SAFETY OF SUBSTANCES AND MATERIALS

А.Ю. АНДРЮШКИН, А.А. КИРШИНА,  
Е.Н. КАДОЧНИКОВА  
Оценка огнезащитной эффективности  
вспучивающихся покрытий стальных конструкций  
в высокотемпературных газовых потоках

14

A.Yu. ANDRYUSHKIN, A.A. KIRSHINA,  
E.N. KADOCHNIKOVA  
The evaluation of the fire-retardant efficiency  
of intumescent coatings of steel structures  
exposed to high-temperature gas flows

Р.Н. СТЕПАНОВ, А.А. ШЕКОВ, Г.В. ПЛОТНИКОВА,  
К.Л. КУЗНЕЦОВ, С.С. ТИМОФЕЕВА  
Идентификация следов инициаторов горения  
в продуктах термического разложения ламинатов  
методом флуоресцентного анализа

27

R.N. STEPANOV, A.A. SHEKOV, G.V. PLOTNIKOVA,  
K.L. KUZNETSOV, S.S. TIMOFEEVA  
Using fluorescence analysis to find traces  
of accelerants in the thermal decomposition products  
of laminates

## ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ELECTRICAL ENGINEERING

О.С. ЛЕБЕДЧЕНКО, С.В. ПУЗАЧ, В.И. ЗЫКОВ  
Эффективность применения  
вспучивающихся огнезащитных покрытий  
силовых кабелей каналов систем безопасности  
атомных станций в условиях пожара

36

O.S. LEBEDCHENKO, S.V. PUZACH, V.I. ZYKOV  
The application efficiency of intumescent coatings  
for power cables of safety systems  
of nuclear power plants  
under fire conditions

## БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

## LIFE SAFETY

В.В. ХОЛЩЕВНИКОВ, А.П. ПАРФЕНЕНКО  
Интенсивность движения людских и транспортных  
потоков (обзор)

48

V.V. KHOLSHCHEVNIKOV, A.P. PARFENENKO  
The intensity of human flows and traffic streams  
(a review)

## СРЕДСТВА И СПОСОБЫ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

## MEANS AND WAYS OF FIRE EXTINGUISHING

С.И. ОСИПЕНКО, А.В. КОКШАРОВ  
Увеличение устойчивости противопожарной пены  
путем восполнения жидкой фазы при орошении

65

S.I. OSIPENKO, A.V. KOKSHAROV  
Increasing the stability of the fire extinguishing foam  
by replenishing the liquid phase during sprinkling

## ДИСКУССИИ

## DISCUSSION

А.В. ЕРШОВ, В.Б. КОРОБКО  
Новые ориентиры профессиональной культуры лиц,  
регулирующих отношения  
в области пожарной безопасности

74

A.V. ERSHOV, V.B. KOROBKO  
New milestones of professional culture for  
the persons regulating relations  
in the field of fire safety

## ВОПРОС – ОТВЕТ

## QUESTION – ANSWER

А.С. ХАРЛАМЕНКОВ  
Целесообразность применения  
огнезащитных кабельных покрытий

90

A.S. KHARLAMENKOV  
The expediency of using  
fire retardant cable coatings

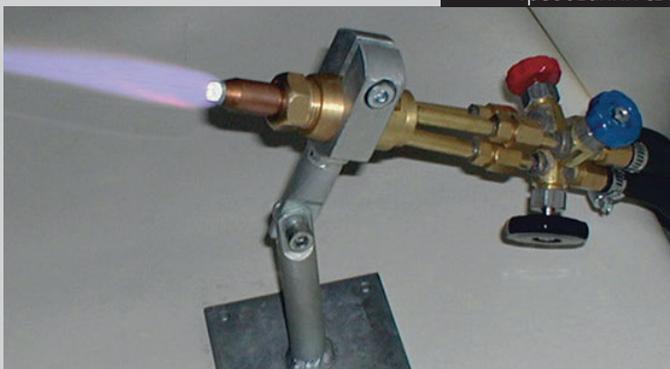
ОСНОВНАЯ ЦЕЛЬ ЖУРНАЛА –  
ознакомление международного сообщества  
с результатами исследований, проводимых  
российскими и зарубежными учеными  
в области комплексной безопасности.

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.



Основные итоги реализации СП 2.13130.2012 с учетом новых требований сводов правил в области строительства

Стр. 5



Стр. 14

Оценка огнезащитной эффективности вспучивающихся покрытий стальных конструкций



Идентификация следов инициаторов горения в продуктах термического разложения ламинатов

Стр. 28



Стр. 50

Интенсивность движения людских и транспортных потоков (обзор)

Стр. 67



Увеличение устойчивости противопожарной пены путем восполнения жидкой фазы при орошении

No. 4 VOL. 30  
2021

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

SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

**EXPLOSION SAFETY**  
ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТ



**FOUNDER and PUBLISHER —**

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)

**Address:**

26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian

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 77-79402 on November 02, 2020.

DOI prefix: 10.22227.

**EDITORIAL STAFF:**

Executive editor **Dyadicheva A.A.**

Editor **Makhiyanova E.V.**

Russian-English translation **Yudenkova O.V.**

Corrector **Svetlichnaya L.V.**

Layout **Aleynikova A.G.**

**Address of Editorial Staff:**

26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russia

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

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

**E-mail:** info@fire-smi.ru

**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, 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 reproduced in any form or by any means without the prior permission of the Publishers. Reproducing 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 27.08.2021.

Date of publication 31.08.2021.

Format is 60 × 84 1/8.

Printing is 2000 copies.

Chalk-overlay mat paper.

Offset printing. Free price.

Journal sells subscription.

Printing house of the Publishing house  
MISI – MGSU

building 8, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, Russian Federation, 129337.

**EDITOR-IN-CHIEF:**

**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)

**DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF:**

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

**P.A. Strizhak**, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Professor (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.), Cand. Sci. (Chem.), Professor, Honoured Worker of Science and Technology of the Russian Federation (Ural Institute of State Fire Service of Emercom of Russia, Yekaterinburg, Russia)

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

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

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

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

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

**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 (National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, 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 Management, 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 (State Fire Academy of Emercom of Russia, 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, Newtownabbey, 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)

# Основные итоги актуализации положений свода правил «Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты» с учетом новых требований сводов правил в области строительства

© В.С. Горшков✉, А.В. Гомозов, В.В. Павлов, О.В. Фомина

Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (Россия, 143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12)

## АННОТАЦИЯ

**Введение.** Новые положения сводов правил в области строительства обуславливают необходимость актуализации требований свода правил «Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты» (СП 2.13130.2012) в части пределов огнестойкости и классов пожарной опасности строительных конструкций, размеров пожарных отсеков, а также детализацию указанных требований с учетом особенностей конкретных зданий различного функционального назначения.

**Цели и задачи.** Целью статьи является обоснование актуализированных положений свода правил «Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты» с учетом новых положений сводов правил в области строительства.

**Методы.** Используется аналитический метод обоснования и формирования требований к системе противопожарной защиты на основе комплексной оценки положений Федерального закона Российской Федерации от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (далее — № 123-ФЗ) и положений сводов правил в области строительства.

**Результаты.** Внедрение результатов работы в новую редакцию вступившего в действие свода правил СП 2.13130.2020 «Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты», позволяющее обеспечить необходимую гармонизацию этого документа с требованиями сводов правил в области строительства.

**Выводы.** На основе исследований проведена оптимизация требований в части пределов огнестойкости и классов пожарной опасности строительных конструкций, размеров пожарных отсеков, а также детализация указанных требований с учетом особенностей зданий различного функционального назначения.

**Ключевые слова:** предел огнестойкости; класс пожарной опасности; степень огнестойкости; класс конструктивной пожарной опасности; площадь этажа; пожарный отсек

**Для цитирования:** Горшков В.С., Гомозов А.В., Павлов В.В., Фомина О.В. Основные итоги актуализации положений свода правил «Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты» с учетом новых требований сводов правил в области строительства // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2021. Т. 30. № 4. С. 5–13. DOI: 10.22227/0869-7493.2021.30.04.5-13

✉ Горшков Виктор Сергеевич, e-mail: gorshkov01@mail.ru

## The key effects of the revised provisions of the set of rules “Fire protection systems. Fire resistance of protected items” with regard for the new requirements introduced into building regulation codes

© Viktor S. Gorshkov✉, Alexander V. Gomozov, Vladimir V. Pavlov, Oksana V. Fomina

All-Russian Research Institute for Fire Protection of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters (VNIPO, 12, Balashikha, Moscow Region, 143903, Russian Federation)

## ABSTRACT

**Introduction.** New provisions, introduced into building regulation codes, necessitate a revision of the set of rules titled “Fire protection systems. Fire resistance of protected items” in respect of fire resistance limits and fire hazard classes of building structures, dimensions of fire compartments, as well as their detailed elaboration with account taken of the characteristics of buildings that perform different functions.

**Goals and objectives.** The purpose of the article is to substantiate the revised provisions of the set of rules “Fire protection systems. Fire resistance of protected items” with account taken of the new provisions of building regulation codes.

**Methods.** An analytical method is used to formulate and substantiate the requirements for a fire protection system based on the comprehensive evaluation of provisions of the Federal Law of the Russian Federation dated July 22, 2008 No. 123-FZ “Technical Regulations of Fire Safety Requirements” (hereinafter — No. 123-FZ) and provisions of building regulation codes.

**Results.** The contribution of the work results to the new edition of the set of rules JV 2.13130.2020 “Fire protection systems. Fire resistance of protected items” ensures the harmonization of this document with the requirements of building regulation codes.

**Conclusion.** The research findings allow to optimize the requirements for fire resistance limits, fire hazard classes of building structures, and the size of fire compartments. The research results also help to clarify these requirements with regard for the characteristics of buildings that perform different functions.

**Keywords:** fire resistance limit; fire hazard class; fire resistance degree; structural fire hazard class; floor area; fire compartment

**For citation:** Gorshkov V.S., Gomozyov A.V., Pavlov V.V., Fomina O.V. The key effects of the revised provisions of the set of rules “Fire protection systems. Fire resistance of protected items” with regard for the new requirements introduced into building regulation codes. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2021; 30(4):5-13. DOI: 10.22227/0869-7493.2021.30.04.5-13 (rus).

✉ Viktor Sergeevich Gorshkov, e-mail: gorshkov01@mail.ru

## Введение

СП 2.13130.2012 «Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты» (далее — СП 2.13130.2012) [1], введенный в действие в 2012 г., являлся элементом системы нормативных документов в области пожарной безопасности в строительстве и формировал соответствующие противопожарные требования на основе базовых положений строительных норм и сводов правил, действующих в тот период. Положения данного свода правил дополняли положения этих строительных норм и сводов правил в части огнестойкости, размеров пожарных отсеков и других требований, а также были унифицированы с ними.

Вместе с тем, развитие современных тенденций в изменении архитектурных, планировочных, конструктивных и технологических решений зданий и сооружений, а также соответствующее изменение сводов правил в области строительства, обусловили необходимость актуализации положений данного свода правил в части пределов огнестойкости и классов пожарной опасности строительных конструкций, размеров пожарных отсеков, а также детализацию указанных требований с учетом особенностей конкретных зданий различного функционального назначения.

Целью настоящей статьи является обоснование актуализированных положений свода правил «Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты» с учетом новых положений сводов правил в области строительства.

При этом использован аналитический метод обоснования и формирования требований к системе противопожарной защиты на основе комплексного применения положений Федерального закона Российской Федерации от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной

безопасности» (далее — № 123-ФЗ) [2] и положений сводов правил в области строительства, позволяющих обеспечить как гармонизацию этих требований, так и их необходимую оптимизацию.

## Гармонизация положений СП 2.13130.2012 с положениями нормативных документов в области строительства

За период действия свода правил СП 2.13130.2012 «Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты», т.е. в период с 2012 по 2019 годы, актуализированы положения ряда нормативных документов в области строительства, регламентирующих проектирование широкого спектра общественных и жилых зданий, автостоянок и других объектов, что обуславливает необходимость гармонизации требований СП 2.13130.2012 с противопожарными требованиями этих документов на основе применения положений Федерального закона № 123-ФЗ [2].

Кроме того, за данный период разработаны и введены в действие новые своды правил, определяющие правила проектирования зданий общеобразовательных организаций, дошкольных образовательных организаций, здания и помещения медицинских организаций и других объектов, в том числе в части противопожарных требований.

В рамках разработки актуализированной редакции свода правил СП 2.13130.2020 [3] с учетом изменений в нормативных документах в области строительства общественных зданий и сооружений проанализированы следующие факты и внесены следующие изменения.

На момент ввода в действие СП 2.13130.2012, т.е. в 2012 г., действовали положения СНИП 31-06-2009 «Общественные здания и сооружения» [4], согласно которым этажность зданий

определялась согласно Приложению Г, т.е. исходя из количества надземных этажей. При этом технический этаж, расположенный над верхним этажом, при определении этажности здания не учитывался, что и было положено в основу требований СП 2.13130.2012 к этажности пожарного отсека. Современный нормативный документ, т.е. СП 118.13330.2012 «Общественные здания и сооружения» [5], как указано в приложении Г.8\*, предусматривает, что технический этаж, расположенный над верхним этажом, учитывается при определении этажности здания. С учетом данных обстоятельств таблицы 6.9–6.13, 6.15 актуализированной редакции свода правил СП 2.13130.2020 дополнены указаниями о том, что этажность общественных и административно-бытовых зданий определяется числом надземных этажей без учета верхнего технического этажа.

Кроме того, положениями п. 6.37 СНИП 31-06-2009 «Общественные здания и сооружения» [4] было предусмотрено, что несущие конструкции покрытий над сценой и залом (фермы, балки, настилы и др.) в зданиях театров, клубов и спортивных сооружений следует считать несущими элементами здания. Исходя из этого, для гармонизации требований в п. 6.7.18 СП 2.13130.2012 было указано, что несущие конструкции покрытий над сценой и залом (фермы, балки) в зданиях театров, клубов и спортивных сооружений следует проектировать в соответствии с требованиями, предъявляемыми к несущим элементам здания.

Актуализированная редакция [5], т.е. СП 118.13330.2012 «Общественные здания и сооружения», не содержит положений о том, что покрытия над залом в зданиях театров, клубов и спортивных сооружений следует считать несущими элементами здания.

С учетом этого, в редакции СП 2.13130.2020 указано, что несущие конструкции покрытий (фермы, балки и др.) над сценой и залами театров, клубов и спортивных сооружений I – III степеней огнестойкости необходимо предусматривать с пределом огнестойкости не менее R45. Указанные конструкции допускается выполнять из древесины, подвергнутой обработке огнезащитными составами I группы огнезащитной эффективности в соответствии с ГОСТ Р 53292–2009 [6]. При этом вместимость зала может быть не более 4000 мест для спортивных сооружений с трибунами и не более 800 мест в других случаях, а остальные конструкции здания должны соответствовать требованиям, предъявляемым для зданий класса конструктивной пожарной опасности С0.

Данные положения позволяют исключить обрушение конструкций покрытия и обеспечить без-

опасную эвакуацию людей при пожаре (в том числе маломобильных групп населения) при отсутствии в этих залах систем автоматического пожаротушения, а также обеспечивает возможность широкого применения деревянных конструкций.

### Оптимизация положений СП 2.13130.2012

В рамках оптимизации положений свода правил СП 2.13130.2012 проведены следующие исследования и обоснования, базирующиеся на положениях № 123-ФЗ.

Положениями п. 6.9 СНИП 31-06-2009 «Общественные здания и сооружения» [4] было предусмотрено, что коммуникационные, в том числе пешеходные, тоннели общественных зданий следует проектировать из негорючих материалов. Ограждающие конструкции тоннелей и стены зданий в пределах сечения тоннелей следует предусматривать из негорючих материалов с пределом огнестойкости не менее EI 120. Двери в проемах этих стен должны быть противопожарными 1-го типа.

С учетом этого, в действующей в тот период редакции п. 5.4.19 СП 2.13130.2012 [2] указано, что для зданий одного класса функциональной пожарной опасности, соединенных переходами и тоннелями, стены зданий в местах примыкания к ним переходов и тоннелей следует предусматривать из материалов НГ с пределом огнестойкости не менее EI 120. Двери в проемах этих стен должны быть противопожарными 1-го типа.

Актуализированная редакция СНИП 31-06-2009, т.е. СП 118.13330.2012 «Общественные здания и сооружения» [5], не содержит требований к пределам огнестойкости конструкций переходов. Данное обстоятельство позволило оптимизировать положения новой редакции свода правил СП 2.13130.2020 «Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты» [3] в части требований к конструкциям переходов по огнестойкости и пожарной опасности, согласно которым пределы огнестойкости конструкций переходов между зданиями (корпусами) определенной степени огнестойкости должны соответствовать требованиям, предъявляемым к соответствующим конструкциям зданий этой степени огнестойкости. При разных степенях огнестойкости зданий (корпусов), соединяемых переходом, конструкции переходов должны соответствовать требованиям, предъявляемым к конструкциям зданий более высокой степени огнестойкости. Конструкции переходов должны быть класса К0. Строительные конструкции коммуникационных и пешеходных тоннелей следует выполнять из НГ. Для зданий одного класса функциональной пожарной опасности, соединенных переходами и тоннелями, стены обоих зданий в местах выхода из здания

в переход (тоннель) следует предусматривать в виде противопожарных перегородок 1-го типа из НГ. В случае, если общая площадь этажей зданий одного класса функциональной пожарной опасности, соединенных переходами, не превышает допустимой площади этажа в пределах пожарного отсека, данные мероприятия допускается не предусматривать. Для зданий различного класса функциональной пожарной опасности, соединенных переходами, одну из стен зданий в местах примыкания к ним переходов и тоннелей следует предусматривать в виде противопожарных преград согласно положениям СП 4.13130.2013 [7].

Перечисленные выше положения дают возможность использовать в конструкциях переходов горючие материалы (при обеспечении класса пожарной опасности таких конструкций К0), а также проектировать стены зданий в местах примыкания к ним переходов с пределом огнестойкости EI 45 вместо EI 120, что позволяет существенно сократить затраты по обеспечению пределов огнестойкости несущего каркаса без снижения уровня пожарной безопасности здания в целом и выполнении требований № 123-ФЗ.

Вместе с тем, при этом обеспечивается необходимый уровень требований по ограничению распространения пожара в местах примыкания переходов к зданиям иного функционального назначения, например:

- примыкания переходов, соединяющих пожарные отсеки класса функциональной пожарной опасности Ф 1.1 с пожарными отсеками иного класса функциональной пожарной опасности согласно п. 5.2.2 СП 4.13130.2013 [7];
- примыкания переходов, соединяющих пожарные отсеки класса функциональной пожарной опасности Ф 4.1 с пожарными отсеками иного класса функциональной пожарной опасности согласно п. 5.6.2 СП 4.13130.2013 [7];
- примыкания переходов, соединяющих объекты торговли ГГ, ЛВЖ и ГЖ, бытовой химией и строительными материалами с наличием ГГ, ЛВЖ и ГЖ, к объектам торговли другими товарами и объектам бытового и коммунального обслуживания согласно п. 5.5.3 СП 4.13130.2013 [7];
- и т.д.

Необходимо отметить, что положениями СНИП 31-06-2009 [4] были предусмотрены относительно корректные соотношения между вместимостью дошкольных образовательных учреждений (ДОУ), аудиторий, зальных помещений, зданий класса функциональной пожарной опасности Ф 2.1 и Ф 4.1 и других сооружений относительно степени огнестойкости и класса конструктивной пожарной опасности здания. Однако актуализация дан-

ного документа при разработке свода правил СП 118.13330.2012 в части этих требований была проведена некорректно — вместимость зальных помещений и зданий класса функциональной пожарной опасности Ф 2.1, а также этажность зданий классов Ф 3.1 и Ф 3.5 поставлена в зависимость только от класса конструктивной пожарной опасности здания без учета его степени огнестойкости (см. п. 6.63, 6.65, 6.74 и 6.80 СП 118.13330.2012). В дальнейшем, исключение фактора степени огнестойкости разработчиками свода правил было признано ошибочным, что отражено в тексте данного норматива.

С учетом данных обстоятельств основные требования СП 2.13130.2020 в части допустимой высоты размещения аудиторий, актовых залов, конференц-залов и т.д., а также зальных помещений спортивного назначения без зрительских мест в зданиях любого назначения остались без изменения (т.е. те требования, которые учитывают степень огнестойкости здания), но для возможности варьирования архитектурными решениями дополнительно указано, что суммарная вместимость залов, расположенных на одном этаже, не должна превышать допустимого числа мест в зале (за исключением случаев, когда залы расположены в разных пожарных отсеках). Аналогичным образом, не изменились требования СП 2.13130.2020 в части зависимости размеров пожарных отсеков зданий класса функциональной пожарной опасности Ф 3.1 и Ф 3.5 от степени огнестойкости и класса конструктивной пожарной опасности здания.

Вместе с тем, актуализированная редакция СП 2.13130.2020 [3] для общественных зданий дополнена рядом следующих основных положений, которые отражают результаты проведенных исследований и анализа пожаров в этих зданиях.

В частности, актуализированная редакция СП 2.13130.2020 [3] дополнена требованием о том, что в зданиях I–III степеней огнестойкости несущие конструкции покрытия встроенно-пристроенной части должны иметь предел огнестойкости не менее R45 и класс пожарной опасности К0. При наличии в общественном здании окон, ориентированных на встроенно-пристроенную часть здания, уровень кровли на расстоянии 6 м от места примыкания не должен превышать отметки пола вышерасположенных помещений основной части здания. Утеплитель покрытия в этом месте должен быть выполнен из НГ. Допускается на указанных участках покрытий применять горючие утеплители в случае устройства на них защитных слоев из НГ как для эксплуатируемых кровель в соответствии с СП 17.13330.2017 [7], а также при отсутствии на них пожарной нагрузки.

Для обеспечения корректного применения положений № 123-ФЗ в части деления здания на пожарные отсеки в актуализированной редакции СП 2.13130.2020 [3] указано, что в зданиях вокзалов I и II степеней огнестойкости класса конструктивной пожарной опасности С0 вместо деления здания на пожарные отсеки противопожарными стенами 1-го типа допускается деление пожарного отсека на пожарные секции той же площади (с группами помещений одного класса функциональной пожарной опасности) с устройством между секциями противопожарных водяных (дренчерных) завес в соответствии с СП 5.13130.2009 [9] или СП 485.1311500.2020 [10], а также противопожарных штор, экранов с пределом огнестойкости не менее Е 60. При этом указанные виды противопожарных преград должны размещаться в зоне, свободной от пожарной нагрузки на ширину не менее 4 м в обе стороны от преграды.

Анализ вновь разработанного свода правил СП 252.1325800.2016 «Здания дошкольных образовательных организаций. Правила проектирования» [11] показал, что положения данного документа не требуют дополнительной корректировки СП 2.13130.2020, так как п. 7.2.1 СП 252.1325800.2016 [12] предусматривает, что степень огнестойкости и класс конструктивной пожарной опасности зданий ДОО (класса функциональной пожарной опасности Ф 1.1) следует принимать в зависимости от наибольшего числа мест в здании, в соответствии с СП 2.13130.2020.

Вместе с тем, на основе анализа пожаров в актуализированной редакции СП 2.13130.2020 [3] предусмотрена возможность проектирования зданий ДОО общего типа с числом мест до 350 только для зданий класса конструктивной пожарной опасности С0. Это связано с тем, что в зданиях класса конструктивной пожарной опасности С1 наружные стены с внешней стороны могут иметь класс пожарной опасности К2, что значительно более опасно, чем класс К0 для зданий класса конструктивной пожарной опасности С0 (из-за возможности распространения горения по этим стенам).

Кроме того, положения актуализированной редакции СП 2.13130.2020 [3] дополнены требованиями о том, что расположенные на третьем этаже ДОО залы площадью более 50 м<sup>2</sup> должны иметь один из эвакуационных выходов непосредственно в лестничную клетку, а коридоры, соединяющие лестничные клетки, необходимо разделять противопожарными перегородками не ниже 2-го типа из условия выхода из каждой групповой ячейки в разные части коридора. Входные двери групповых ячеек должны быть выполнены с уплотнением в притворах. Данные требования направлены на повышение безопасной эвакуации детей в случае пожара.

Актуализация требований СП 2.13130.2020 [3] для зданий общеобразовательных организаций осуществлялась совместно с разработкой противопожарных требований нового свода правил СП 251.1325800.2016 [12]. Данный документ предусматривает необходимость выполнения требований СП 2.13130.2020 (см. п. 7.1.6). При этом положения актуализированного свода правил СП 2.13130.2020 дополнены требованиями о том, что строительство и реконструкция пятиэтажных (высотой до 19 м) зданий школ, учебных корпусов школ-интернатов, учреждений начального профессионального образования допускаются в крупнейших городах. Кроме того, дополнительно указано, что при ненормируемых значениях степени огнестойкости и классе конструктивной пожарной опасности число учащихся не должно превышать 100 человек, здания класса конструктивной пожарной опасности С1 могут проектироваться высотой не более двух этажей, а при реконструкции здания с надстройкой этажей следует произвести оценку огнестойкости несущих строительных конструкций всего здания с учетом увеличения нагрузки (т.е. при увеличении требуемой степени огнестойкости реконструируемого здания по сравнению с исходной пределы огнестойкости строительных конструкций здания должны соответствовать новым установленным требованиям).

Для спальных корпусов школ-интернатов и интернатов при школах (класс Ф 1.1) с ненормируемыми значениями степени огнестойкости и классом конструктивной пожарной опасности в актуализированной редакции СП 2.13130.2020 [3] дополнительно указано, что в этих зданиях допустимо размещать не более 40 спальных мест, что позволяет повысить безопасность людей при пожаре.

Актуализация требований СП 2.13130.2020 [3] для зданий больниц и амбулаторий осуществлялась с учетом разработки нового свода правил СП 158.13330.2014 «Здания и помещения медицинских организаций. Правила проектирования» [13]. С учетом этого из СП 2.13130.2020 исключены положения, находящиеся в сфере регулирования СП 158.13330.2014 [12], т.е. положения, регламентирующие размещение в больницах палат для детей на различных этажах, операционных блоков, отделений реанимации и интенсивной терапии и др., что существенно оптимизирует объемно-планировочные решения таких зданий.

Вместе с тем, с учетом того, что СП 158.13330.2014 [13] без достаточных оснований допускает проектирование многоэтажных зданий больниц класса конструктивной пожарной опасности С1, в актуализированной редакции СП 2.13130.2020 [3] дополнительно указано, что степень огнестойкости больниц и поликлиник вы-

сотой два этажа и более должна быть не ниже II, класс конструктивной пожарной опасности — не ниже С0. Одноэтажные больницы и поликлиники допускается проектировать III степени огнестойкости класса конструктивной пожарной опасности не ниже С1 с площадью этажа в пределах пожарного отсека не более 2000 м<sup>2</sup> для больниц класса конструктивной пожарной опасности С0 и не более 1200 м<sup>2</sup> для больниц класса конструктивной пожарной опасности С1 (соответственно не более 3000 м<sup>2</sup> для поликлиник класса конструктивной пожарной опасности С0 и не более 2000 м<sup>2</sup> для поликлиник класса конструктивной пожарной опасности С1). При этом стены, перегородки и перекрытия, в том числе с применением деревянных конструкций, должны иметь класс пожарной опасности К0, а здания больниц класса конструктивной пожарной опасности С1 должны делиться на пожарные секции площадью не более 800 м<sup>2</sup> противопожарными перегородками 1-го типа. При этом помещения амбулаторно-поликлинических учреждений (класс Ф 3.4) допускается встраивать и размещать во встроено-пристроенных частях зданий II степени огнестойкости класса конструктивной пожарной опасности — не ниже С0. Данные помещения должны располагаться на высоте не более 28 м.

В актуализированной редакции СП 2.13130.2020 [3] дополнительно указано, что несущие конструкции трибун спортивных сооружений (Ф 2.3) без использования подтрибунного пространства и с числом рядов более пяти должны быть выполнены из НГ с пределом огнестойкости не менее R15, а с числом рядов более 20 должны иметь предел огнестойкости не менее R45, класс пожарной опасности К0, а для крытых спортивных сооружений внесено требование о том, что перекрытия под трибунами должны быть противопожарными 2-го типа при вместимости трибун более 600 зрителей, 3 и 4-го типов — при вместимости трибун от 300 до 600 зрителей и менее 300 зрителей, соответственно. Данные дополнительные требования направлены на обеспечение безопасной эвакуации людей с трибун.

На основе анализа требований СП 54.13330.2016 «Здания жилые многоквартирные. Актуализированная редакция СНиП 31-01-2003» [14] сделан вывод о том, что раздел 6.5 СП 2.13130.2012 в части требований к многоквартирным жилым зданиям не требует корректировки.

Вместе с тем, актуализированная редакция СП 2.13130.2020 [3] для многоквартирных жилых домов, в том числе блокированных домов (класс функциональной пожарной опасности Ф 1.4), дополнена следующими требованиями:

- в трехэтажных домах строительные конструкции должны соответствовать требованиям, предъявляемым к конструкциям зданий не ниже III степени огнестойкости. При этом предел огнестойкости межкомнатных перегородок не регламентируется. Класс конструктивной пожарной опасности дома должен быть не ниже С2. Конструкции трехэтажных домов допускается выполнять IV степени огнестойкости, если площадь этажа не превышает 150 м<sup>2</sup>, при этом следует принимать предел огнестойкости несущих элементов не менее R30, а перекрытий — не менее REI 30;
- в блокированных домах смежные жилые блоки следует разделять глухими противопожарными стенами 2-го типа. При этом количество блоков в пределах пожарного отсека должно быть не более 10. Площадь этажа в пределах такого пожарного отсека определяется согласно табл. 6.8 СП 2.13130.2020 [3];
- блокированные дома классов конструктивной пожарной опасности С2 и С3 дополнительно должны быть разделены глухими противопожарными стенами 1-го типа на пожарные отсеки с площадью этажа в пределах отсека не более 600 м<sup>2</sup>.

Данные дополнения обусловлены тем, что СП 55.13330.2016 «Дома жилые одноквартирные. Актуализированная редакция СНиП 31-02-2001» [15] не предусматривает требования к размерам пожарных отсеков всех блокированных жилых домов, что необходимо согласно требованиям № 123-ФЗ.

Актуализация требований свода правил с учетом современных технологических решений сельскохозяйственных зданий и сооружений выполнена для теплиц, площадь которых для обеспечения технологической и экономической эффективности должна значительно превышать допустимое значение, указанное в п. 6.1.3 и табл. 6.1 действующей редакции СП 2.13130.2012 «Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты» [1].

Данная проблема возникла при подготовке изменений свода правил СП 107.13330.2012 «Теплицы и парники. Актуализированная редакция» [16]. С учетом данного обстоятельства в новой редакции СП 2.13130.2020 [3] указано, что для теплиц V степени огнестойкости с металлическим каркасом вне зависимости от класса конструктивной пожарной опасности площадь этажа в пределах пожарного отсека допускается не ограничивать при условии, что расстояние от наиболее удаленного рабочего места до выхода наружу не превышает 60 м. Данное требование дополняет положения СП 1.13130.2020 [17] и подтверждено расчетами пожарного риска, выполненными для теплиц на основе методики [18].

Положениями действовавшего до 2017 г. свода правил СНИП 21-02-99\* «Стоянки автомобилей» [19] площадь этажа в пределах пожарного отсека для подземных стоянок была ограничена значением 3000 м<sup>2</sup>. С учетом того, что требования к площади этажа в пределах пожарного отсека были исключены из актуализированной редакции этого документа, т.е. из СП 113.13330.2016 [20], появилась возможность оптимизировать данные требований в новой редакции СП 2.13130.2020 [3], где дополнительно указано, что допускается площадь пожарного отсека подземной автостоянки увеличивать на 100 % при его разделении на секции площадью не более 3000 м<sup>2</sup> одним из следующих технических решений:

- зонами (проездами), свободными от пожарной нагрузки, шириной не менее 8 м;
- зонами (проездами), свободными от пожарной нагрузки, шириной не менее 6 м с устройством посередине зоны дренчерной завесы в одну нитку с расчетным числом оросителей при обеспечении по всей длине удельного расхода 1 л/(с.м) или автоматически опускающимися при пожаре на расчетную высоту противодымными экранами (шторами). При этом следует обеспечить организационные мероприятия, направленные на недопущение размещения пожарной нагрузки в пределах указанных зон (проездов).

Реализация данных положений предполагает, что в зонах, свободных от пожарной нагрузки, воздуховоды и трубопроводы, включая изоляцию, должны предусматриваться из негорючих материалов, а кабели должны быть проложены в трубах и коробах из негорючих материалов. Кроме того, инструкциями по обеспечению пожарной безопасности должно быть исключено размещение (в том числе временное)

в пределах указанных зон автомобилей, мототехники, велосипедов, оборудования и др., а также любых горючих веществ и материалов.

Перечисленные выше решения прошли необходимую практическую апробацию с положительным эффектом.

### Выводы

Проведенные аналитические исследования по актуализации положений свода правил СП 2.13130.2012 позволили обеспечить его необходимую гармонизацию с требованиями сводов правил в области строительства, утверждаемых Министерством строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, оптимизацию требований этого документа, а также детализацию этих требований для зданий различного функционального назначения на базе положений Федерального закона Российской Федерации от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [2].

Свод правил также дополнен современными требованиями к способам и средствам противопожарной защиты на основе решений, прошедших необходимую практическую апробацию с положительным эффектом.

На основе этих исследований была подготовлена и введена в действие новая редакция свода правил СП 2.13130.2020 «Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты», позволяющая обеспечить необходимую гармонизацию этого документа с требованиями сводов правил в области строительства в части пределов огнестойкости и классов пожарной опасности строительных конструкций, размеров пожарных отсеков и пожарных секций.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 2.13130.2012. Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты (изменение № 1).
2. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федеральный закон Российской Федерации от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ (в ред. Федерального закона от 29 июля 2017 г. № 244-ФЗ).
3. СП 2.13130.2020. Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты.
4. СНИП 31-06-2009. Общественные здания и сооружения. Актуализированная редакция СНИП 2.08.02-89\*.
5. СП 118.13330.2012. Общественные здания и сооружения. Актуализированная редакция СНИП 31-06-2009.
6. ГОСТ Р 53292-2009. Огнезащитные составы и вещества для древесины и материалов на ее основе. Общие требования. Методы испытаний.
7. СП 4.13130.2013. Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям (изменение № 1).

8. СП 17.13330.2017. Кровли. Актуализированная редакция СНиП II-26-76.
9. СП 5.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования.
10. СП 485.1311500.2020. Системы противопожарной защиты. Установки пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования.
11. СП 252.1325800.2016. Здания дошкольных образовательных организаций. Правила проектирования.
12. СП 251.1325800.2016. Здания общеобразовательных организаций. Правила проектирования.
13. СП 158.13330.2014. Здания и помещения медицинских организаций. Правила проектирования.
14. СП 54.13330.2016. Здания жилые многоквартирные. Актуализированная редакция СНиП 31-01-2003.
15. СП 55.13330.2016. Дома жилые одноквартирные. Актуализированная редакция СНиП 31-02-2001.
16. СП 107.13330.2012. Теплицы и парники. Актуализированная редакция СНиП 2.10.04-85.
17. СП 1.13130.2020. Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы.
18. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах : приложение к приказу МЧС РФ от 10 июля 2009 г. № 404.
19. СНиП 21-02-99\*. Стоянки автомобилей.
20. СП 113.13330.2016. Стоянки автомобилей. Актуализированная редакция СНиП 21-02-99\*.

## REFERENCES

1. SP 2.13130.2012. Fire protection systems. Ensuring fire resistance of objects of protection (Amendment No. 1).
2. Technical regulations on fire safety requirements : Federal Law of the Russian Federation No. 123-FZ dated July 22, 2008 (as amended by Federal Law No. 244-FZ dated July 29, 2017).
3. SP 2.13130.2020. Fire protection systems. Ensuring fire resistance of objects of protection.
4. SNiP 31-06-2009. Public buildings and structures. Updated edition of SNiP 2.08.02-89\*.
5. SP 118.13330.2012. Public buildings and structures. Updated edition of SNiP 31-06-2009.
6. GOST R 53292-2009. Fire retardants and substances for wood and materials based on it. General requirements. Test methods.
7. SP 4.13130.2013. Fire protection systems. Limiting the spread of fire at the objects of protection. Requirements for space-planning and structural solutions (Amendment No. 1).
8. SP 17.13330.2017. Roofs. Updated edition of SNiP II-26-76.
9. SP 5.13130.2009. Fire protection systems. Automatic fire alarm and extinguishing installations. Norms and rules of design.
10. SP 485.1311500.2020. Fire protection systems. Automatic fire extinguishing installations. Norms and rules of design.
11. SP 252.1325800.2016. Buildings of preschool educational organizations. Design rules.
12. SP 251.1325800.2016. Buildings of educational institutions. Design rules.
13. SP 158.13330.2014. Buildings and premises of medical organizations. Design rules.
14. SP 54.13330.2016. Residential apartment buildings. Updated edition of SNiP 31-01-2003.
15. SP 55.13330.2016. Single-family residential houses. Updated edition of SNiP 31-02-2001.
16. SP 107.13330.2012. Greenhouses and hotbeds. Updated edition SNiP 2.10.04-85.
17. SP 1.13130.2020. Fire protection systems. Evacuation routes and exits.
18. Methodology for determining the calculated values of fire risk at production facilities : Appendix to the order of the Ministry of Emergency Situations of the Russian Federation dated July 10, 2009. No. 404.
19. SNiP 21-02-99\*. Car parking.
20. SP 113.13330.2016. Car parks. Updated edition of SNiP 21-02-99\*.

*Поступила 29.04.2021, после доработки 31.05.2021;  
принята к публикации 07.06.2021*

*Received April 29, 2021; Received in revised form May 31, 2021;  
Accepted June 7, 2021*

**Информация об авторах**

**ГОРШКОВ Виктор Сергеевич**, канд. техн. наук, начальник сектора отдела огнестойкости строительных конструкций и инженерного оборудования, Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, г. Балашиха, Российская Федерация; ORCID: 0000-0003-4381-6125; e-mail: gorshkov01@mail.ru

**ГОМОЗОВ Александр Васильевич**, канд. техн. наук, старший научный сотрудник отдела огнестойкости строительных конструкций и инженерного оборудования, Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, г. Балашиха, Российская Федерация; РИНЦ ID: 760879; ORCID: 0000-0001-9660-9221; e-mail: Gomozovav@yandex.ru

**ПАВЛОВ Владимир Валерьевич**, начальник сектора отдела огнестойкости строительных конструкций и инженерного оборудования, Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, г. Балашиха, Российская Федерация; РИНЦ ID: 760824; ORCID: 0000-0002-0629-5765; e-mail: vv.pavlov@mail.ru

**ФОМИНА Оксана Владимировна**, научный сотрудник отдела огнестойкости строительных конструкций и инженерного оборудования, Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, г. Балашиха, Российская Федерация; ORCID: 0000-0002-9535-1983; e-mail: vniipo\_3.2@mail.ru

**Information about the authors**

**Viktor S. GORSHKOV**, Cand. Sci. (Eng.), Head of Sector of Department of Fire Resistance of Building Structures and Engineering Equipment, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, Balashikha, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-4381-6125; e-mail: gorshkov01@mail.ru

**Alexander V. GOMOZOV**, Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher, Department of Fire Resistance of Building Structures and Engineering Equipment, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, Balashikha, Russian Federation; ID RISC: 760879; ORCID: 0000-0001-9660-9221; e-mail: Gomozovav@yandex.ru

**Vladimir V. PAVLOV**, Head of the Sector of the Department of Fire Resistance of Building Structures and Engineering Equipment, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, Balashikha, Russian Federation; ID RISC: 760824; ORCID: 0000-0002-0629-5765; e-mail: vv.pavlov@mail.ru

**Oksana V. FOMINA**, Researcher, Department of Fire Resistance of Building Structures and Engineering Equipment, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, Balashikha, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-9535-1983; e-mail: vniipo\_3.2@mail.ru

## Оценка огнезащитной эффективности вспучивающихся покрытий стальных конструкций в высокотемпературных газовых потоках

© А.Ю. Андрияшкин<sup>1</sup>✉, А.А. Киршина<sup>1</sup>, Е.Н. Кадочникова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова (Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, 1-ая Красноармейская ул., 1)

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский пр-т, 149)

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** При пожарах на объектах нефтегазовой отрасли часто возникают высокотемпературные газовые потоки, истекающие из отверстий, трещин, разрывов разгерметизированного оборудования и трубопроводов. Огнезащитная эффективность вспучивающихся покрытий стальных конструкций в высокотемпературных газовых потоках резко снижается, поэтому актуальна задача разработки методики адекватной оценки их огнезащитной эффективности.

**Цели и задачи.** Целями проведенного исследования являлись разработка методики оценки огнезащитной эффективности вспучивающихся покрытий стальных конструкций в высокотемпературных газовых потоках и экспериментальная оценка огнезащитной эффективности различных вспучивающихся покрытий. Решались следующие задачи исследования: оценка скорости истечения высокотемпературных газовых потоков из работающих под давлением разгерметизированных объектов; анализ методики определения огнезащитной эффективности вспучивающихся покрытий стальных конструкций в спокойной (малоподвижной) газовой среде; разработка методики оценки огнезащитной эффективности вспучивающихся покрытий стальных конструкций в высокотемпературном газовом потоке; экспериментальная оценка огнезащитной эффективности различных вспучивающихся покрытий в высокотемпературном газовом потоке.

**Методы.** В работе использовались расчет скорости истечения высокотемпературных газовых потоков из работающих под давлением разгерметизированных объектов; анализ действующей методики определения огнезащитной эффективности вспучивающихся покрытий стальных конструкций в спокойной (малоподвижной) среде, в которой учитывается только температура газа в печи. Предложена методика оценки огнезащитной эффективности вспучивающихся покрытий стальных конструкций в высокотемпературном газовом потоке, в которой учитывается температура и скорость газового потока. Для оценки огнезащитной эффективности вспучивающегося покрытия в высокотемпературном газовом потоке введен коэффициент относительной огнестойкости. Проведена экспериментальная оценка различных вспучивающихся покрытий, показавшая существенное снижение их огнезащитной эффективности в высокотемпературном газовом потоке, реализующем углеводородный температурный режим.

**Результаты и их обсуждение.** Взаимное аэродинамическое и тепловое воздействие газового потока существенно снижает огнезащитную эффективность вспучивающихся покрытий стальных конструкций, что подтверждается результатами экспериментов, проведенных по предложенной методике. В методике оценки огнезащитной эффективности вспучивающихся покрытий стальных конструкций учитывается температура и скорость газового потока, воздействующего на образец.

**Выводы.** Актуальна и необходима оценка огнезащитной эффективности вспучивающихся покрытий стальных конструкций на работающих под давлением объектах нефтегазовой отрасли, так как в высокотемпературном газовом потоке наблюдается существенное снижение их огнезащитной эффективности.

**Ключевые слова:** углеводородный температурный режим; предельное состояние; высокотемпературный газовый поток; огнестойкость; методика испытаний

**Для цитирования:** Андрияшкин А.Ю., Киршина А.А., Кадочникова Е.Н. Оценка огнезащитной эффективности вспучивающихся покрытий стальных конструкций в высокотемпературных газовых потоках // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2021. Т. 30. № 4. С. 14–26. DOI: 10.22227/0869-7493.2021.30.04.14-26

✉ Андрияшкин Александр Юрьевич, e-mail: sascha1a@mail.ru

## The evaluation of the fire-retardant efficiency of intumescent coatings of steel structures exposed to high-temperature gas flows

© Alexander Yu. Andryushkin<sup>1</sup>✉, Alyona A. Kirshina<sup>1</sup>, Elena N. Kadochnikova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Baltic State Technical University "VOENMEH" named after D.F. Ustinov (1st Krasnoarmesky St., 1. Saint Petersburg, 190005, Russian Federation)

<sup>2</sup>Saint Petersburg University of State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation)

## ABSTRACT

**Introduction.** High-temperature gas flows often occur in case of a fire at oil and gas facilities; gas flows out of holes, cracks, ruptures in depressurized items of equipment and pipelines. The fire-retardant efficiency of intumescent coatings of steel structures, exposed to high-temperature gas flows, plummets. Hence, the task of developing a methodology for the adequate assessment of their fire-retardant efficiency is relevant.

**Goals and objectives.** The purpose of the study was to develop a methodology for evaluating the fire-retardant efficiency of intumescent coatings for steel structures exposed to high-temperature gas flows and experimentally evaluate the fire-retardant efficiency of various intumescent coatings. The following research-focused tasks were solved: the evaluation of the velocity of high-temperature gas flows leaving depressurized items that normally operate under pressure; the analysis of the methodology designated for identifying the fire-retardant efficiency of intumescent coatings of steel structures in a calm (sedentary) gaseous medium; the development of a method for evaluating the fire-retardant efficiency of intumescent coatings of steel structures exposed to high-temperature gas flows; the experimental evaluation of the fire-retardant efficiency of various intumescent coatings in a high-temperature gas flow.

**Methods.** The velocity of high-temperature gas flows, leaving depressurized items that normally operate under pressure, has been calculated. The co-authors have analyzed the established methodology used to identify the fire-retardant efficiency of intumescent coatings of steel structures in a steady (sedentary) environment, where gas temperature in a furnace is the only factor taken into account. The co-authors propose a method for evaluating the fire-retardant efficiency of intumescent coatings of steel structures exposed to high-temperature gas flows, which takes into account gas flow temperature and velocity. To evaluate the fire-retardant efficiency of an intumescent coating exposed to a high-temperature gas flow, a coefficient of relative fire resistance is introduced. An experimental evaluation of various intumescent coatings is carried out. It shows a substantial fire-retardant efficiency decrease in a high-temperature gas flow that fosters the hydrocarbon temperature regime.

**Results and discussion.** Mutual aerodynamic and thermal effects of a gas flow substantially reduce the fire-retardant efficiency of intumescent coatings of steel structures, and this is proven by the results of experiments conducted according to the proposed method. The method for evaluating the fire-retardant effectiveness of intumescent coatings of steel structures takes into account the temperature and velocity of a gas flow that affects the sample.

**Conclusions.** It is relevant and necessary to evaluate the fire-retardant efficiency of intumescent coatings of steel structures at oil and gas facilities, operating under pressure, since a substantial decrease in their fire-retardant efficiency is observed in high-temperature gas flows.

**Keywords:** hydrocarbon temperature regime; limit state; high-temperature gas flow; fire resistance; testing methodology

**For citation:** Andryushkin A.Yu., Kirshina A.A., Kadochnikova E.N. The evaluation of the fire-retardant efficiency of intumescent coatings of steel structures exposed to high-temperature gas flows. *Pozharovzryvobezopasnost'/ Fire and Explosion Safety*. 2021; 30(4):14-26. DOI: 10.22227/0869-7493.2021.30.04.14-26 (rus).

✉ Alexander Yuryevich Andryushkin, e-mail: sascha1a@mail.ru

## Введение

Проблема пожаровзрывоопасности углеводородов при их транспортировке и переработке обусловлена предельными параметрами технологических процессов (давление, температура, расход) и значительной энергоемкостью оборудования. При пожарах на объектах нефтегазовой отрасли часто возникают высокотемпературные газовые потоки, они истекают из отверстий, трещин, разрывов разгерметизированного оборудования. Температура газового потока может достигать 1300 °С, а скорость его истечения — близка к местной скорости звука (до 340 м/с). Подвергающиеся аэродинамическому и тепловому воздействию газового потока металлические конструкции (стены, фермы, стойки, балки, перекрытия) деформируются и теряют несущую способность в течение короткого времени, что приводит к разрушению объекта и существенному ущербу. Размер ущерба обусловлен огнестойкостью металлических конструкций и их составных частей.

При обеспечении огнестойкости металлических конструкций эффективны различные огнезащитные покрытия, в частности вспучивающиеся покрытия. Однако эффективность многих огнезащитных покрытий в высокотемпературных газовых потоках резко снижается, поэтому актуальна задача разработки методики адекватной оценки их огнестойкости.

Целью проведенного исследования являлась разработка методики оценки огнезащитной эффективности вспучивающихся покрытий стальных конструкций в высокотемпературных газовых потоках и экспериментальная оценка огнезащитной эффективности различных вспучивающихся покрытий.

Для достижения цели исследования были сформулированы следующие задачи:

- 1) оценка скорости истечения высокотемпературных газовых потоков из работающих под давлением разгерметизированных объектов;
- 2) анализ методики определения огнезащитной эффективности вспучивающихся покрытий сталь-

- ных конструкций в спокойной (малоподвижной) газовой среде;
- 3) разработка методики оценки огнезащитной эффективности вспучивающихся покрытий стальных конструкций в высокотемпературном газовом потоке;
  - 4) экспериментальная оценка огнезащитной эффективности различных вспучивающихся покрытий в высокотемпературном газовом потоке.

### **Скорость истечения высокотемпературных газовых потоков из работающих под давлением разгерметизированных объектов**

К работающим под давлением объектам нефтегазовой отрасли относятся герметичные корпуса оборудования (емкости, сосуды, резервуары, баки, баллоны, цистерны, аппараты) и связывающие их трубопроводы. Все находящиеся под давлением объекты потенциально пожаровзрывоопасны, так как многие из них характеризуются большой емкостью и высоким давлением. Пожар на работающем под давлением объекте начинается с взрыва паровоздушной смеси, разгерметизации объекта и воспламенения жидкости на всей свободной поверхности. В разгерметизированном корпусе или трубопроводе при горении углеводородов давление возрастает в 8–10 раз по сравнению с первоначальным рабочим давлением.

При разгерметизации корпуса оборудования или трубопровода через образовавшиеся разрывы, трещины, отверстия происходит истечение высокотемпературных газовых потоков, а избыточное давление внутри него поддерживается приходом газообразных продуктов горения.

Скорость истечения газа из разгерметизированного корпуса оборудования или трубопровода [1, 2]:

$$U_{\Gamma} = \varphi_c \left( \frac{2(p_0 - p_n)}{\rho_0} \right)^{0,5}, \quad (1)$$

где  $U_{\Gamma}$  — скорость истечения газа из разгерметизированного корпуса оборудования или трубопровода, м/с;

$\varphi_c$  — коэффициент скорости, учитывающий потери напора ( $\varphi_c = 0,95 \dots 0,99$ );

$p_0$  — полное давление внутри корпуса оборудования или трубопровода, Па;

$p_n$  — давление окружающей среды, Па;

$\rho_0$  — плотность газа внутри разгерметизированного корпуса оборудования или трубопровода, кг/м<sup>3</sup>.

Расчеты по выражению (1) показывают, что при незначительном давлении в разгерметизированном корпусе или трубопроводе  $p_0 = 0,11 \dots 0,15$  МПа скорость истечения газа из отверстия составляет  $U_{\Gamma} =$

$= 100 \dots 200$  м/с. В том случае, если давление велико,  $p_0 = 0,8 \dots 1,0$  МПа, соотношение давления в разгерметизированном корпусе или трубопроводе и окружающего давления становится критическим и скорость истечения газа достигает местной скорости звука  $U_{\Gamma} = U_{зв}$  [1, 2]:

$$U_{зв} = \sqrt{2 \frac{\gamma}{\gamma + 1} RT_0} = \sqrt{2 \frac{\gamma}{\gamma + 1} \frac{P_0}{\rho_0}}, \quad (2)$$

где  $U_{зв}$  — местная скорость звука, м/с;

$\gamma$  — показатель адиабаты;

$R$  — газовая постоянная, Дж/(кг·К);

$T_0$  — температура газа в разгерметизированном корпусе или трубопроводе, К.

Таким образом, скорость истечения высокотемпературного газового потока из разгерметизированного корпуса или трубопровода значительна и может достигать местной скорости звука.

### **Анализ методики определения огнезащитной эффективности вспучивающихся покрытий стальных конструкций в спокойной газовой среде**

Огнестойкость незащищенных стальных конструкций невелика. Например, прогреваемая пламенем стенка нефтяного резервуара, выполненная из стального листа толщиной 4...6 мм, теряет несущую способность в течение 3...5 мин. При пожаре температура стали за короткое время достигает критических значений и наблюдается резкое снижение ее прочностных свойств, выражающееся в потере несущей способности конструкции. Для обеспечения огнестойкости стальных конструкций в течение более 15 мин на их поверхности наносят различные теплоизолирующие материалы. Широко применяют огнезащитные вспучивающиеся покрытия, имеющие ряд преимуществ: относительно низкую трудоемкость нанесения (валиком, кистью, распылением); малую толщину до 3 мм; возможность защиты труднодоступных мест; огнезащитные и декоративные функции покрытия [3, 4].

Огнезащитные вспучивающиеся покрытия характеризуются низким коэффициентом теплопроводности и большой удельной теплоемкостью, также их нагревание сопровождается эндотермическими реакциями, поэтому материал покрытия аккумулирует большое количество тепла, выделяются вытесняющие воздух инертные газы и пары, блокируется подвод тепла к защищаемой металлической поверхности. Процесс нагревания покрытия сопровождается образованием жесткого вспученного кокса, который, обладая низкой теплопроводностью, выполняет функцию теплозащитного экрана (рис. 1). При этом значительно увеличивается время нагрева металли-



**Рис. 1.** Вспучивание огнезащитного покрытия при нагревании (слева), наружная поверхность вспученного кокса (в центре), пористая структура вспученного кокса (справа)

**Fig. 1.** The expansion of the fire-retardant coating in the process of heating (left); the outer surface of expanded coke (centre); the porous structure of expanded coke (right)

ческой конструкции до критической температуры, т.е. растет предел огнестойкости конструкции. Огнезащитные тонкослойные покрытия при воздействии высокой температуры вспучиваются в несколько десятков раз (до 200 раз), достигая нескольких сантиметров, и теплоизолируют металлическую поверхность, обеспечивая предел огнестойкости конструкции 45...90 мин [5–16].

ГОСТ Р 53295–2009<sup>1</sup> регламентирует метод определения огнезащитной эффективности средств огнезащиты стальных конструкций. Огнезащитная эффективность характеризуется временем в минутах от начала стандартного теплового воздействия до достижения критической температуры 500 °С стандартным образцом из стального двутаврового прокатного профиля с огнезащитным покрытием. Таким образом, предельным состоянием стального образца является потеря теплоизолирующей способности покрытия вследствие повышения температуры конструкции до критического значения 500 °С, а время, в течение которого достигается эта температура, — пределом огнестойкости конструкции  $\tau_{огн}$ . Чем больше время, которое требуется стали образца для нагревания до критической температуры, тем выше огнезащитная эффективность испытываемого средства огнезащиты.

Стандартный образец для испытаний представляет собой стальную колонну двутаврового сечения профиля № 20 по ГОСТ 8239–89<sup>2</sup> или профиля № 20Б1 по ГОСТ 26020–83<sup>3</sup> высотой 1700 ± 10 мм,

<sup>1</sup> ГОСТ Р 53295–2009. Средства огнезащиты для стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности : утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 18 февраля 2009 г. № 71-ст.

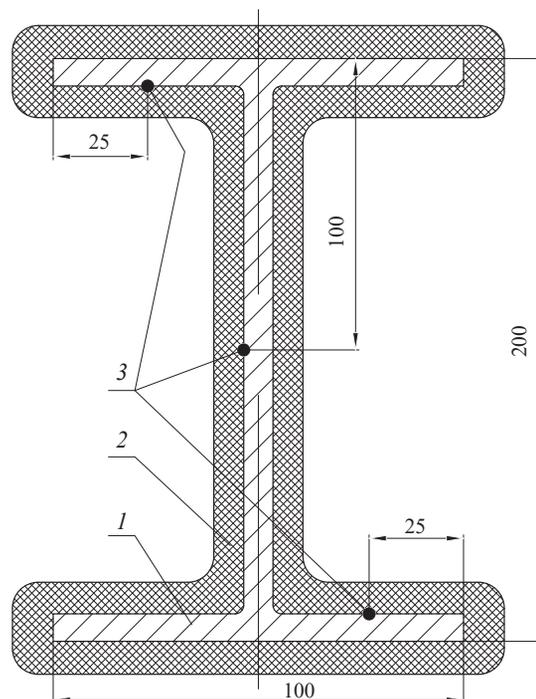
<sup>2</sup> ГОСТ 8239–89. Двутавры стальные горячекатаные. Сортамент : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 27 сентября 1989 г. № 2940.

<sup>3</sup> ГОСТ 26020–83. Двутавры стальные горячекатаные с параллельными гранями полок. Сортамент утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандар-

на которую устанавливают термопары и наносят средство огнезащиты в соответствии с рекомендуемой производителем технологией (рис. 2). Подготовленный образец помещают в печь и проводят испытания в соответствии в условиях, регламентируемых ГОСТ 30247.0–94<sup>4</sup>, т.е. при стандартном

там от 17 декабря 1983 г. № 6095 дата введения установлена 1 января 1986 г.

<sup>4</sup> ГОСТ 30247.0–94. Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования : принят Межгосударственной научно-технической комиссией по стандартизации и техническому нормированию в строительстве (МНТКС)



**Рис. 2.** Схема расстановки термоэлектрических преобразователей: 1 — двутавр № 20; 2 — огнезащитное покрытие; 3 — термоэлектрические преобразователи (3 шт.)

**Fig. 2.** A layout plan of thermoelectric converters: 1 — I-beam no. 20; 2 — fire-resistant coating; 3 — thermoelectric converters (3 items)

температурном режиме до достижения им критической температуры 500 °С, определяемой как средняя температура по показаниям трех термопар. Стандартный температурный режим характеризуется зависимостью (рис. 3) [17–20]:

$$t_{\text{печ}} = t_{\text{нач}} + 345 \lg(8\tau_{\text{огн}} + 1), \quad (3)$$

где  $t_{\text{печ}}$  — температура в печи, °С;

$t_{\text{нач}}$  — температура в печи до начала теплового воздействия (принимается равной температуре окружающей среды), °С;

$\tau_{\text{огн}}$  — время от начала испытания до достижения испытываемым образцом критической температуры 500 °С, мин.

Условия реальных пожаров могут существенно отличаться от стандартных условий и характеризоваться различной температурой и скоростью распространения. В этом случае для оценки огнестойкости строительных конструкций применяют ГОСТ Р ЕН 1363-2-2014<sup>5</sup>, описывающий альтернативные температурные режимы испытаний: углеводородный, наружный, медленно развивающийся (тлеющий) (см. рис. 3).

При интенсивном развитии пожара предусмотрено проведение испытаний по углеводородному температурному режиму [17–20]:

17 ноября 1994 г.

<sup>5</sup> ГОСТ Р ЕН 1363-2-2014. Конструкции строительные. Испытания на огнестойкость. Альтернативные и дополнительные методы: утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 6 октября 2014 г. № 1275-ст.

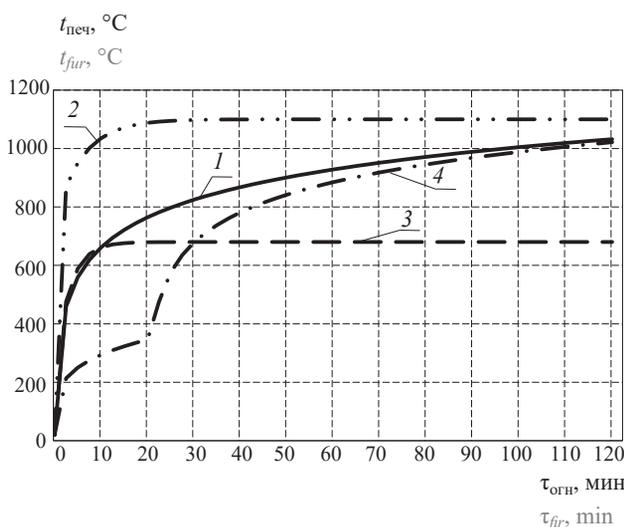


Рис. 3. Температурные режимы: 1 — стандартный; 2 — углеводородный; 3 — наружный; 4 — медленно развивающийся (тлеющий)

Fig. 3. Temperature regimes: 1 — standard; 2 — hydrocarbon; 3 — outdoor; 4 — slowly developing (smoldering)

$$t_{\text{печ}} = 1080(1 - 0,325 \exp(-0,167 \tau_{\text{огн}}) - 0,675 \times \exp(-2,5 \tau_{\text{огн}})) + 20. \quad (4)$$

В случае воздействия внешнего пожара огнестойкость наружных конструкций может быть несколько ниже, тогда используют наружный температурный режим [17–20]:

$$t_{\text{печ}} = 660(1 - 0,687 \exp(-0,32 \tau_{\text{огн}}) - 0,313 \times \exp(-3,8 \tau_{\text{огн}})) + 20. \quad (5)$$

Огнестойкость некоторых конструкций может быть определена из условия медленно развивающегося (тлеющего) температурного режима [17–20]:

$$t_{\text{печ}} = 154 \tau_{\text{огн}}^{0,25} + 20, \quad 0 < \tau_{\text{огн}} \leq 21, \quad (6)$$

$$t_{\text{печ}} = t_{\text{нач}} + 345 \lg(8(\tau_{\text{огн}} - 20) + 1) + 20, \quad \text{при } \tau_{\text{огн}} > 21.$$

Типовые температурные режимы, рассчитываемые по выражениям (3)–(6), показывают изменение температуры в испытательной печи с течением времени, т.е. задается и контролируется только один параметр — температура газа. В печи образец нагревается равномерно со всех сторон, скорость движения газа вокруг образца незначительна.

Анализ метода определения огнезащитной эффективности средств огнезащиты стальных конструкций показывает, что испытания проходят в условиях спокойной (малоподвижной) газовой среды. Из рассмотренных температурных режимов наиболее опасным является углеводородный температурный режим, при котором температура за короткий промежуток времени возрастает до 1100 °С. Такое горение характерно для жидких или газообразных углеводородов при разгерметизации корпусов и трубопроводов. Оно сопровождается образованием высокотемпературных газовых потоков, разрушающих вспучивающееся покрытие за счет интенсивной газовой эрозии и абляции. Поэтому при оценке огнезащитной эффективности вспучивающихся покрытий необходим учет двух факторов: температуры и скорости газового потока.

Критерием огнезащитной эффективности средства огнезащиты является время, в течение которого температура испытываемого образца достигает критического значения. При одинаковой толщине вспучивающегося покрытия образец, находящийся в высокотемпературном газовом потоке, достигнет критической температуры раньше, чем образец, нагреваемый спокойной газовой средой. Поэтому огнезащитная эффективность вспучивающегося покрытия в высокотемпературном газовом потоке значительно снижается, что не учитывается действующей методикой испытаний.

Таким образом, актуальна разработка методики экспериментальной оценки огнезащитной эффек-

тивности вспучивающегося покрытия в высокотемпературном газовом потоке, учитывающая температуру и скорость газового потока.

**Методика оценки огнезащитной эффективности вспучивающихся покрытий стальных конструкций в высокотемпературном газовом потоке**

Для создания высокотемпературного газового потока, близко имитирующего горение при углеводородном температурном режиме, можно использовать газовую горелку. Горелка позволяет регулировку параметров газового потока (расход, скорость истечения, температура) и их постоянство во время проведения испытаний, что обеспечивает воспроизводимость условий эксперимента. Температура пламени кислородно-пропановой горелки может достигать 2700 °С, кислородно-ацетиленовой горелки — 3100 °С, скорость истечения газового потока — до 100 м/с. Образующаяся в горелке смесь горючего газа и кислорода вытекает из мундштука и, сгорая, дает устойчивый высокотемпературный газовый поток, воздействующий на испытываемый образец (рис. 4) [17–20].

Для имитации углеводородного режима с помощью термопары на оси высокотемпературного потока определяют расстояние  $l_{г.п}$  от среза мундштука, на котором температура газового потока составляет  $t_{г.п} = 1100 \pm 10$  °С. В этом же месте с помощью специального приемника давления (трубка Пито) находят скорость газового потока  $U_{г.п}$ . Испытываемый образец устанавливается так, чтобы между срезом мундштука и нагреваемой поверхностью покрытия было расстояние  $l_{г.п}$ , при этом ось мундштука горелки должна проходить через центр квадратной пластины. Воспроизводимость условий эксперимента обеспечивается постоянством параметров работы горелки и размещением испытываемых образцов на одинаковом расстоянии от среза мундштука горелки  $l_{г.п}$ .

Образец для испытаний представляет собой квадратную стальную пластину размером, например 150×150×4 мм, с нанесенным с одной стороны по технологии производителя огнезащитным вспучивающимся составом, а с другой стороны с начекаченной или приваренной по центру пластины термопарой, измеряющей температуру стали. Размеры стальной пластины должны быть в несколько раз больше диаметра газового потока в месте установки пластины, чтобы огнезащитное покрытие постепенно вспенивалось от центра к краям по мере прогрева испытываемого образца.

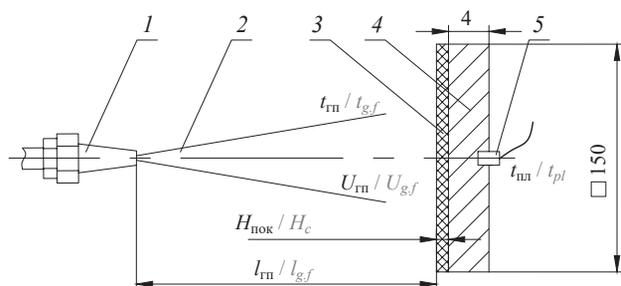
За базовый показатель взято время предела огнестойкости стальной пластины без огнезащитного покрытия  $\tau_{б.огн}$ , измеряемое от начала нагрева до повышения температуры на ее необогреваемой

поверхности до критического значения. Все стальные пластины имеют одинаковые размеры и приведенную толщину металла  $\delta_{пр} = const$ .

Определение огнестойкости стальной пластины с огнезащитным покрытием осуществляют следующим образом. После выставления образца на расстоянии  $l_{г.п}$  зажигают газовую горелку и начинают отсчет времени от начала воздействия высокотемпературного газового потока на образец. Через определенные промежутки времени по показаниям термопары фиксируют температуру на необогреваемой поверхности стальной пластины  $t_{пл}$ . При достижении температурой на необогреваемой поверхности стальной пластины критического значения  $t_{пл} = 500$  °С нагрев прекращают. Время, прошедшее от начала воздействия высокотемпературного газового потока на образец и до потери им теплоизолирующей способности, т.е. достижения температурой на необогреваемой поверхности стальной пластины критического значения, принимают за предел огнестойкости образца  $\tau_{огн}$ .

Для оценки огнезащитной эффективности вспучивающегося покрытия, не зависящей от условий проведения эксперимента (различная приведенная толщина металла, особенности высокотемпературного газового потока, создаваемого различными горелками, и пр.), введен коэффициент относительной огнестойкости:

$$K_{от.огн} = \frac{\tau_{огн}}{\tau_{б.огн}}, \tag{7}$$



**Рис. 4.** Схема определения огнестойкости стальной пластины с огнезащитным покрытием в высокотемпературном газовом потоке: 1 — мундштук газовой горелки; 2 — высокотемпературный газовый поток; 3 — огнезащитное покрытие; 4 — стальная пластина; 5 — термопара измерения температуры стальной пластины;  $t_{г.п}$  — температура газового потока;  $U_{г.п}$  — скорость газового потока;  $l_{г.п}$  — расстояние от среза мундштука до поверхности огнезащитного вспучивающегося покрытия;  $t_{пл}$  — температура на необогреваемой поверхности стальной пластины

**Fig. 4.** A chart used to identify the fire resistance of a steel plate with fire-resistant coating exposed to a high-temperature gas flow: 1 — the tip of a gas burner; 2 — high-temperature gas flow; 3 — fire-resistant coating; 4 — steel plate; 5 — the thermocouple for measuring the temperature of the steel plate;  $t_{g,f}$  — the temperature of the gas flow;  $U_{g,f}$  — the velocity of the gas flow;  $l_{g,f}$  — the distance from the cut of the tip to the surface of the fire-resistant intumescent coating;  $t_{pl}$  — the temperature on the unheated surface of the steel plate

где  $K_{от.огн}$  — коэффициент относительной огнестойкости;

$\tau_{огн}$  — время от начала испытания образца с вспучивающимся покрытием до достижения им критической температуры, мин;

$\tau_{б.огн}$  — время от начала испытания образца без вспучивающегося покрытия до достижения им критической температуры, мин.

Таким образом, предложена методика экспериментальной оценки огнезащитной эффективности вспучивающегося покрытия в высокотемпературном газовом потоке, учитывающая температуру и скорость газового потока.

### Экспериментальная оценка огнезащитной эффективности различных вспучивающихся покрытий в высокотемпературном газовом потоке

В настоящее время выпускаются различные вспучивающиеся композиции и краски. Для экспериментальной оценки их огнезащитной эффективности в высокотемпературном потоке газа выбраны три состава.

Состав 1 — однокомпонентное силиконо-графитовое вспучивающееся покрытие. По данным производителя стальная конструкция при приведенной толщине металла  $\delta_{пр} = 3,4$  мм с покрытием толщиной  $H_{пок} = 1,0$  мм имеет огнестойкость R45.

Состав 2 — двухкомпонентный состав на эпоксидной основе, смешиваемый перед нанесением и формирующий при нагревании вспучивающееся покрытие. По данным производителя стальная конструкция при приведенной толщине металла  $\delta_{пр} = 3,4$  мм с покрытием толщиной  $H_{пок} = 1,2$  мм имеет огнестойкость R45.

Состав 3 — водоразбавляемая краска, представляющая собой тонкодисперсную смесь огнезащитных компонентов, связующего и добавок и формирующая при нагревании вспучивающееся покрытие. По данным производителя, стальная конструкция при приведенной толщине металла  $\delta_{пр} = 3,4$  мм с покрытием толщиной  $H_{пок} = 0,8$  мм имеет огнестойкость R45.

По данным производителей, каждый испытываемый состав имеет предел огнестойкости 45 мин, т.е. в печи со стационарной газовой средой стальная конструкция с нанесенным составом при реализации стандартного температурного режима нагревается до критической температуры 500 °С не менее чем за 45 мин.

Образец для испытаний в высокотемпературном газовом потоке представляет собой пластину из углеродистой стали (Ст3) размерами 150×150×4 мм с нанесенным по технологии изготовителя составом. Толщина покрытий образцов составом 1 составила  $H_{пок} = 0,95...1,05$  мм; составом 2 —  $H_{пок} = 1,18...1,29$  мм; составом 3 —  $H_{пок} = 0,77...0,85$  мм.

Определение предела огнестойкости образцов в высокотемпературном газовом потоке проводилось по предложенной выше методике при температурном режиме, близком к углеводородному режиму. Высокотемпературный газовый поток создавался газовой горелкой «Донмет 286», представляющей собой устройство для смешивания энергоносителей и получения при их сжигании факела заданной формы. Горелка состоит из ствола с мундштуком внутрисоплового смешения, вентилей горючего газа, кислорода и сжатого воздуха. Ствол закреплен в стойке для установки на столе и настройки положения горелки (рис. 5).

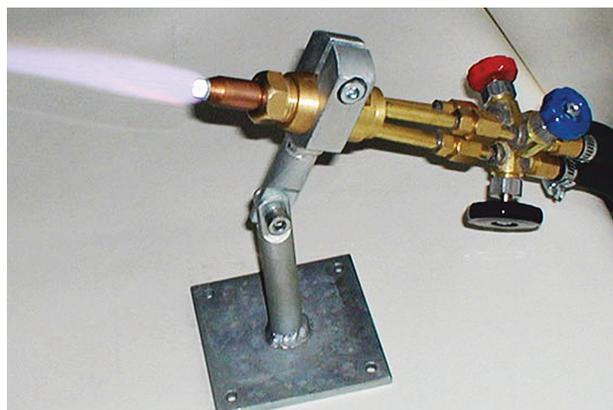


Рис. 5. Газовая горелка «Донмет 286»

Fig. 5. Gas burner “Donmet” 286

Испытываемый образец устанавливался на расстоянии от среза мундштука горелки  $l_{г.п} = 140 \pm 2$  мм, при котором температура на оси газового потока составляет  $t_{г.п} = 1100 \pm 10$  °С, скорость потока газа  $U_{г.п} = 35 \pm 5$  м/с. В процессе нагревания покрытие постепенно вспучивалось от центра образца к краям. Все три испытываемых огнезащитных покрытия при нагревании интенсивно вспучивались. В месте аэродинамического воздействия газового потока на вспученное покрытие наблюдалось его разрушение (рис. 6). За предел огнестойкости образца принято время, измеряемое от начала нагрева до достижения температурой на необогреваемой поверхности стальной пластины критического значения  $t_{пл} = 500$  °С.

Обработка результатов эксперимента проводилась в следующей последовательности (табл.). Рассчитывалось среднее значение предела огнестойкости образца [1]:

$$\tau_{огн.ср} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{обр}} \tau_{огни}}{N_{обр}} \quad (8)$$

где  $\tau_{огн.ср}$  — среднее значение предела огнестойкости образцов;

$N_{обр}$  — число образцов, шт.;

$\tau_{огни}$  — значение предела огнестойкости  $i$ -го образца.

Среднее квадратическое отклонение предела огнестойкости образцов [1]:

$$S_{\tau} = \sqrt{\left(\frac{1}{N_{\text{обр}} - 1}\right) \sum_{i=1}^{N_{\text{обр}}} (\tau_{\text{огни}} - \tau_{\text{огн.ср}})^2}, \quad (9)$$

где  $S_{\tau}$  — среднее квадратическое отклонение предела огнестойкости образцов, мин.

Коэффициент вариации [1]:

$$v_{\tau} = \frac{S_{\tau}}{\tau_{\text{огн.ср}}}, \quad (10)$$

где  $v_{\tau}$  — коэффициент вариации.

Доверительный интервал для предела огнестойкости образцов  $\Delta\tau_{\text{огн}}$  [1]:

$$\Delta\tau_{\text{огн}} = \frac{t_{\tau} S_{\tau}}{\sqrt{N_{\text{обр}}}}, \quad (11)$$

где  $t_{\tau}$  — значение критерия Стьюдента при числе степеней свободы  $(N_{\text{обр}} - 1)$  и уровне значимости 0,05 (доверительная вероятность  $P = 0,95$ ) (при  $N_{\text{обр}} = 10$   $t_{\tau} = 2,262$ ).

Допускаемые отклонения отдельных значений предела огнестойкости образцов должны находиться в пределах  $\tau_{\text{огн.ср}} \pm \Delta\tau_{\text{огн}}$ .

Нормальность распределения результатов испытаний оценивалась по асимметрии и эксцессу [1]:

$$As = \frac{\sum_{i=1}^{N_{\text{обр}}} (\tau_{\text{огни}} - \tau_{\text{огн.ср}})^3}{N_{\text{обр}} S_{\tau}^3}, \quad Ex = \frac{\sum_{i=1}^{N_{\text{обр}}} (\tau_{\text{огни}} - \tau_{\text{огн.ср}})^4 - 3}{N_{\text{обр}} S_{\tau}^4}. \quad (12)$$

Дисперсии асимметрии и эксцесса рассчитывают по выражению [1]:

$$D(As) = \frac{6(N_{\text{обр}} - 1)}{(N_{\text{обр}} + 1)(N_{\text{обр}} + 3)}, \quad (13)$$

$$D(Ex) = \frac{24N_{\text{обр}}(N_{\text{обр}} - 2)(N_{\text{обр}} - 3)}{(N_{\text{обр}} - 1)^2(N_{\text{обр}} + 32)(N_{\text{обр}} + 5)}.$$

Если выполняются условия  $|As| = 3\sqrt{D(As)}$  и  $|Ex| = 5\sqrt{D(Ex)}$ , то результаты испытаний распределены нормально.

При нормальном распределении для оценки вероятности отказа по пределу огнестойкости образца задается минимальное допускаемое значение предела огнестойкости  $[\tau_{\text{огн. мин}}]$  [1]:

$$V_{\text{отк}} = \Phi\left(\frac{\tau_{\text{огн.ср}} - [\tau_{\text{огн. мин}}]}{S_{\tau}}\right), \quad (14)$$

где  $V_{\text{отк}}$  — вероятность отказа по пределу огнестойкости образца;

$\Phi(z)$  — функция Лапласа;

$[\tau_{\text{огн. мин}}]$  — минимальное допускаемое значение предела огнестойкости образца, мин.

За базовый показатель предела огнестойкости образца взято время, измеряемое от начала нагрева стальной пластины без вспучивающегося покрытия до достижения ее необогреваемой поверхностью критической температуры 500 °С. Базовая огнестойкость стальной пластины без огнезащитного покрытия составила  $\tau_{\text{б.огн}} = 1,1$  мин, она определялась как среднее значение измерений, проведенных для трех пластин. Огнезащитная эффективность каждого состава характеризуется коэффициентом относительной огнестойкости  $K_{\text{от.огн}}$ , рассчитанным по выражению (7) (см. таблицу).

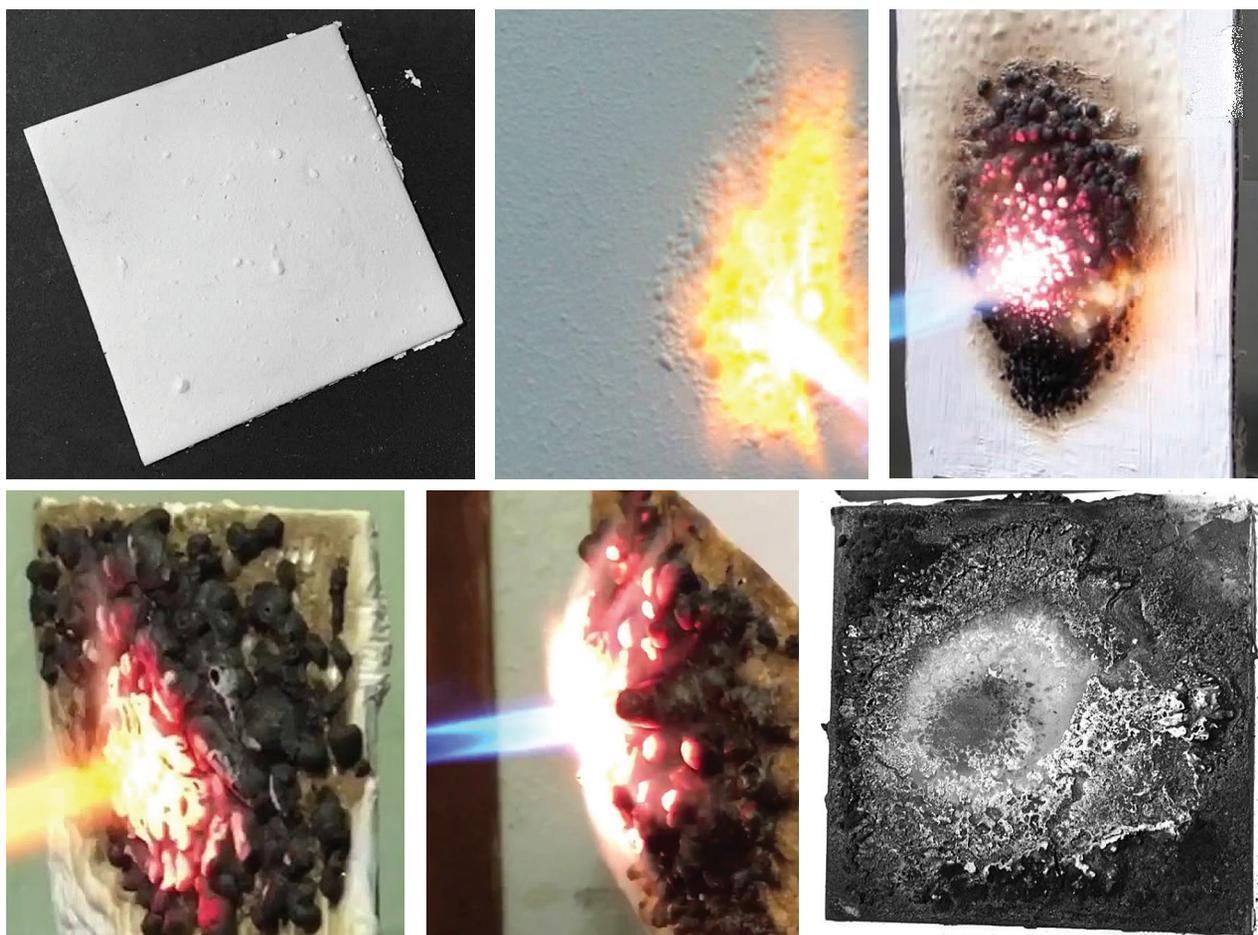
Анализ огнестойкости различных составов в высокотемпературном газовом потоке, реализующем углеродный температурный режим, показал, что предел огнестойкости образцов весьма низкий и составляет менее 15 мин при приведенной толщине металла  $\delta_{\text{пр}} = 1,0$  мм. Эти же составы при стандартном температурном режиме и близкой толщине огнезащитного вспучивающегося покрытия имеют предел огнестойкости не менее 45 мин при приведенной толщине металла  $\delta_{\text{пр}} = 3,4$  мм. Следовательно, создаваемые в высокотемпературном газовом потоке условия существенно снижают огнестойкость стальных конструкций, защищенных вспучивающимися покрытиями.

Задавая минимальный допускаемый предел огнестойкости  $[\tau_{\text{огн}}] = 10$  мин, установлено, что состав 1 имеет вероятность отказа  $V_{\text{отк}} = 0,4588$ , состав 2 —  $V_{\text{отк}} = 0,8964$ , состав 3 —  $V_{\text{отк}} = 0,0334$ . При этом коэффициент относительной огнестойкости составов:  $K_{\text{от.огн1}} = 9,18$ ;  $K_{\text{от.огн2}} = 7,95$ ;  $K_{\text{от.огн3}} = 11,28$  (см. таблицу).

Таким образом, проведенная экспериментальная оценка различных вспучивающихся покрытий показала существенное снижение их огнезащитной эффективности в высокотемпературном газовом потоке, реализующем углеводородный температурный режим, что должно учитываться при обеспечении огнестойкости стальных конструкций, работающих под давлением объектов нефтегазовой отрасли.

### Результаты и их обсуждение

При пожарах на работающих под давлением объектах нефтегазовой отрасли часто возникают высокотемпературные газовые потоки, характеризующиеся высокой температурой до 1300 °С и значительной скоростью истечения из отверстий, трещин, разрывов разгерметизированного оборудования.



**Рис. 6.** Постепенное вспучивание огнезащитного покрытия от центра к краям образца в процессе нагрева высокотемпературным газовым потоком

**Fig. 6.** Gradual intumescence of the fire-retardant coating from the center to the edges of the sample exposed to heating by a high-temperature gas flow

Результаты эксперимента по определению предела огнестойкости стальной пластины с вспучивающимися покрытиями (составами) и вероятности их отказа

Results of an experiment conducted to determine the fire resistance limit of a steel plate with intumescent coatings (compositions) and the probability of their failure

Номер образца Sample number	Предел огнестойкости образца $\tau_{огн}$ , мин Fire resistance limit of sample $\tau_{fr}$ , min		
	Состав 1 ( $H_{пок} = 0,95 \dots 1,05$ мм) Composition 1 ( $H_c = 0,95 \dots 1,05$ mm)	Состав 2 ( $H_{пок} = 1,18 \dots 1,29$ мм) Composition 2 ( $H_c = 1,18 \dots 1,29$ mm)	Состав 3 ( $H_{пок} = 0,77 \dots 0,85$ мм) Composition 3 ( $H_c = 0,77 \dots 0,85$ mm)
1	9,10	10,80	11,50
2	10,20	8,30	13,90
3	11,10	7,90	10,20
4	8,90	8,10	13,40
5	8,60	8,50	12,60
6	10,40	7,80	11,10
7	10,10	8,10	13,90
8	10,20	9,40	13,80

Окончание таблицы

9	11,50	8,50	12,10
10	10,90	10,00	11,60
Среднее значение $\tau_{огн.ср}$ , мин Average value of $\tau_{av.fir}$ , min	10,10	8,74	12,41
Среднее квадратическое отклонение $S_{\tau}$ , мин Mean square deviation $S_{\tau}$ , min	0,97	1,00	1,32
Коэффициент вариации $v_{\tau}$ Coefficient of variation $v_{\tau}$	0,10	0,11	0,11
Доверительный интервал $\Delta\tau_{огн}$ , мин Confidence interval $\Delta\tau_{fir}$ , min	0,69	0,71	0,94
Нормальность распределения Normality of distribution	Нормальное Normal	Нормальное Normal	Нормальное Normal
Минимальный допустимый предел огнестойкости $[\tau_{огн.мин}]$ , мин Minimum acceptable limit of fire resistance $[\tau_{fir.min}]$ , min	10,00	10,00	10,00
Вероятность отказа $V_{отк}$ Probability of failure $V_{tf}$	0,4588	0,8964	0,0334
Коэффициент относительной огнестойкости $K_{от.огн}$ Coefficient of relative fire resistance $K_{rel.fir.res}$	9,1818	7,9455	11,2818

По результатам расчетов скорость истечения газа может достигать местной скорости звука 340 м/с. Подвергающиеся аэродинамическому и тепловому воздействию газового потока стальные конструкции теряют несущую способность и разрушаются в течение короткого времени, что приводит к существенному ущербу. Для минимизации ущерба повышают огнестойкость стальных конструкций, нанося на их поверхности огнезащитные покрытия. Из-за технологичности нанесения и хороших эксплуатационных свойств широко применяют огнезащитные вспучивающиеся покрытия.

Анализ действующей методики определения огнезащитной эффективности вспучивающихся покрытий стальных конструкций показал, что испытания проходят в спокойной (малоподвижной) газовой среде. Во время испытаний изменяется только температура газа в печи. Наиболее опасным является углеводородный температурный режим, при котором температура за короткий промежуток времени возрастает до 1100 °С. Так как в действующей методике скорость газового потока не учитывается, то предложена методика более адекватной оценки огнезащитной эффективности вспучивающихся покрытий стальных конструкций в высокотемпературном газовом потоке, учитывающая два фактора: температуру и скорость газового потока.

По предложенной методике проведена экспериментальная оценка огнезащитной эффективности различных вспучивающихся покрытий в высокотемпературном газовом потоке. Испытывалось три различных состава, предел огнестойкости образцов которых по данным производителя при стандартном температурном режиме и приведенной толщине металла  $\delta_{пр} = 3,4$  мм составляет 45 мин. Их испытания в высокотемпературном газовом потоке, реализующем углеродный температурный режим, показали, что предел огнестойкости образцов весьма низкий и составляет менее 15 мин, а у одного из составов — меньше 10 мин при приведенной толщине металла  $\delta_{пр} = 1,0$  мм.

Полученные экспериментальные результаты говорят о необходимости оценки огнезащитной эффективности вспучивающихся покрытий стальных конструкций на работающих под давлением объектах нефтегазовой отрасли.

## Выводы

Огнезащитная эффективность вспучивающихся покрытий стальных конструкций в высокотемпературных газовых потоках резко снижается, поэтому актуальна задача разработки методики адекватной оценки их огнестойкости.

Скорость истечения высокотемпературных газовых потоков из разгерметизированного объекта может достигать местной скорости звука.

По действующей методике определение огнезащитной эффективности вспучивающихся покрытий стальных конструкций проводится в спокойной (малоподвижной) газовой среде, при проведении испытания изменяется только температура газа.

По предложенной методике оценка огнезащитной эффективности вспучивающихся покрытий стальных конструкций проводится в высокотемпературном газовом потоке, учитываются температура и скорость газового потока.

Для оценки огнезащитной эффективности вспучивающегося покрытия в высокотемператур-

ном газовом потоке введен коэффициент относительной огнестойкости.

Проведенная экспериментальная оценка различных вспучивающихся покрытий показала существенное снижение их огнезащитной эффективности в высокотемпературном газовом потоке, реализующем углеводородный температурный режим.

Можно сделать вывод об актуальности и необходимости оценки огнезащитной эффективности вспучивающихся покрытий стальных конструкций в высокотемпературном газовом потоке работающих под давлением объектов нефтегазовой отрасли, так как в этих условиях наблюдается существенное снижение огнезащитной эффективности.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андрюшкин А.Ю. Применение сверхзвукового газодинамического напыления при многоструйной подаче газа для снижения вероятности отказа многослойных функциональных покрытий : монография. СПб., 2021. 258 с.
2. Андрюшкин А.Ю., Цой А.А. Определение параметров высокотемпературного газового потока при испытаниях огнезащитных покрытий // Безопасность жизнедеятельности. 2016. № 7 (187). С. 35–39.
3. Phan L.T., McAllister T.P., Gross J.L., Hurley M.J. Best practice guidelines for structural fire resistance design of concrete and steel buildings. Gaithersburg, Maryland : NIST, 2010. 200 p. DOI: 10.6028/nist.tn.1681
4. Garlock M., Kruppa J., Li G.-Q., Zhao B. White paper on fire behavior of steel structures. Gaithersburg, Maryland : NIST, 2014. 20 p. DOI: 10.6028/nist.gcr.15-984
5. Morys M., Illerhaus B., Sturm H., Schartel B. Variation of intumescent coatings revealing different modes of action for good protection performance // Fire Technology. 2017. Vol. 53. Pp. 1569–1587. DOI: 10.1007/s10694-017-0649-z
6. Kang J., Takahashi F., T'ien J.S. Computer tomography based structure characterization of expanded intumescent coatings for fire protection // Fire Technology. 2019. Vol. 55. Pp. 689–712. DOI: 10.1007/s10694-018-0796-x
7. Schaumann P., Kirsch T. Protected steel and composite connections: simulation of the mechanical behaviour of steel and composite connections protected by intumescent coating in fire // Journal of Structural Fire Engineering. 2015. Vol. 6. Issue 1. Pp. 41–48. DOI: 10.1260/2040-2317.6.1.41
8. Fox D.M., Cho W., Dubrulle L., Grützmacher P.G., Zammarano M. Intumescent polydopamine coatings for fire protection // Green Materials. 2020. DOI: 10.1680/jgrma.19.00065
9. Lucherini A., Giuliani L., Jomaas G. Experimental study of the performance of intumescent coatings exposed to standard and non-standard fire conditions // Fire Safety Journal. 2018. Vol. 95. Pp. 42–50. DOI: 10.1016/j.firesaf.2017.10.004
10. Puspitasari W.C., Ahmad F., Ullah S., Hussain P., Megat-Yusoff P.S.M., Masset P.J. The study of adhesion between steel substrate, primer, and char of intumescent fire retardant coating // Progress in Organic Coatings. 2019. Vol. 127. Pp. 181–193. DOI: 10.1016/j.porgcoat.2018.11.015
11. Nolan D.P. Handbook of fire and explosion protection engineering principles for oil, gas, chemical and related facilities. Gulf Professional Publ., 2011. 340 p. DOI: 10.1016/C2009-0-64221-5
12. Correia A.M., Pires T.A.C., Rodrigues J.P.C. Behaviour of steel columns subjected to fire // Proceedings of the Sixth International Seminar on Fire and Explosion Hazards. Leeds, UK : University of Leeds, 2011. Pp. 879–890. DOI: 10.3850/978-981-08-7724-8\_13-01
13. Qing Xu, Guo-Qiang Li, Jian Jiang, Yong C. Wang. Experimental study of the influence of topcoat on insulation performance of intumescent coatings for steel structures // Fire Safety Journal. 2018. Vol. 101. Pp. 25–38. DOI: 10.1016/j.firesaf.2018.08.006

14. Meijing Liu, Shenggang Fan, Wenjun Sun, Runmin Ding, Ting Zhu. Fire-resistant design of eccentrically compressed stainless steel columns with constraints // *Fire Safety Journal*. 2018. Vol. 100. Pp. 1–19. DOI: 10.1016/j.firesaf.2018.06.006
15. Maciulaitis R., Grigonis M., Malaiskiene J. The impact of the aging of intumescent fire protective coatings on fire resistance // *Fire Safety Journal*. 2018. Vol. 98. Pp. 15–23. DOI: 10.1016/j.firesaf.2018.03.007
16. Korolchenko D., Eremina T., Minailov D. New method for quality control of fire protective coatings // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 471. Issue 11. DOI: 10.1088/1757-899X/471/11/112016
17. Андрюшкин А.Ю., Цой А.А. О методике определения эффективности огнезащитных покрытий для стальных конструкций в условиях факельного углеводородного горения // *Вестник Санкт-Петербургского университета государственной противопожарной службы МЧС России*. 2016. № 2. С. 45–53. URL: <https://vestnik.igps.ru/wp-content/uploads/V82/7.pdf>
18. Андрюшкин А.Ю., Цой А.А., Смирнова М.А. Об основных предпосылках метода испытаний огнезащитных покрытий в высокотемпературных газовых потоках // *Проблемы управления рисками в техносфере*. 2016. № 1 (37). С. 39–46. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25984067>
19. Андрюшкин А.Ю., Цой А.А., Смирнова М.А. О методе испытаний огнезащитных покрытий в высокотемпературных газовых потоках // *Проблемы управления рисками в техносфере*. 2016. № 2 (38). С. 37–45.
20. Цой А.А., Демехин Ф.В. Испытание огнезащитных материалов в условиях углеводородного температурного режима // *Вестник Санкт-Петербургского университета государственной противопожарной службы МЧС России*. 2015. № 4. С. 139–142. URL: <https://vestnik.igps.ru/wp-content/uploads/V74/4.pdf>

## REFERENCES

1. Andryushkin A.Yu. *Application of supersonic gas-dynamic sputtering with multi-jet gas supply to reduce the probability of failure of multilayer functional coatings : monograph*. St. Petersburg, 2021; 258. (rus).
2. Andryushkin A.Yu., Tsoi A.A. Methods of the determination parameter hot gas flow when test defensive covering. *Life safety*. 2016; 7(187):35-39. (rus).
3. Phan L.T., McAllister T.P., Gross J.L., Hurley M.J. *Best practice guidelines for structural fire resistance design of concrete and steel buildings*. Gaithersburg, Maryland, NIST, 2010; 200. DOI: 10.6028/nist.tn.1681
4. Garlock M., Kruppa J., Li G.-Q., Zhao B. *White paper on fire behavior of steel structures*. Gaithersburg, Maryland, NIST, 2014; 20. DOI: 10.6028/nist.gcr.15-984
5. Morys M., Illerhaus B., Sturm H., Scharfel B. Variation of intumescent coatings revealing different modes of action for good protection performance. *Fire Technology*. 2017; 53:1569-1587. DOI: 10.1007/s10694-017-0649-z
6. Kang J., Takahashi F., T'ien J.S. Computer tomography based structure characterization of expanded intumescent coatings for fire protection. *Fire Technology*. 2019; 55:689-712. DOI: 10.1007/s10694-018-0796-x
7. Schaumann P., Kirsch T. Protected steel and composite connections: simulation of the mechanical behaviour of steel and composite connections protected by intumescent coating in fire. *Journal of Structural Fire Engineering*. 2015; 6(1):41-48. DOI: 10.1260/2040-2317.6.1.41
8. Fox D.M., Cho W., Dubrulle L., Grützmacher P.G., Zammarano M. Intumescent polydopamine coatings for fire protection. *Green Materials*. 2020. DOI: 10.1680/jgrma.19.00065
9. Lucherini A., Giuliani L., Jomaas G. Experimental study of the performance of intumescent coatings exposed to standard and non-standard fire conditions. *Fire Safety Journal*. 2018; 95:42-50. DOI: 10.1016/j.firesaf.2017.10.004
10. Puspitasari W.C., Ahmad F., Ullah S., Hussain P., Megat-Yusoff P.S.M., Masset P.J. The study of adhesion between steel substrate, primer, and char of intumescent fire retardant coating. *Progress in Organic Coatings*. 2019; 127:181-193. DOI: 10.1016/j.porgcoat.2018.11.015
11. Nolan D.P. *Handbook of fire and explosion protection engineering principles for oil, gas, chemical and related facilities*. Gulf Professional Publ., 2011; 340. DOI: 10.1016/C2009-0-64221-5
12. Correia A.M., Pires T.A.C., Rodrigues J.P.C. Behaviour of steel columns subjected to fire. *Proceedings of the Sixth International Seminar on Fire and Explosion Hazards*. Leeds, UK, University of Leeds, 2011; 879-890. DOI: 10.3850/978-981-08-7724-8\_13-01

13. Qing Xu, Guo-Qiang Li, Jian Jiang, Yong C. Wang. Experimental study of the influence of topcoat on insulation performance of intumescent coatings for steel structures. *Fire Safety Journal*. 2018; 101:25-38. DOI: 10.1016/j.firesaf.2018.08.006
14. Meijing Liu, Shenggang Fan, Wenjun Sun, Runmin Ding, Ting Zhu. Fire-resistant design of eccentrically compressed stainless steel columns with constraints. *Fire Safety Journal*. 2018; 100:1-19. DOI: 10.1016/j.firesaf.2018.06.006
15. Maciulaitis R., Grigonis M., Malaiskiene J. The impact of the aging of intumescent fire protective coatings on fire resistance. *Fire Safety Journal*. 2018; 98:15-23. DOI: 10.1016/j.firesaf.2018.03.007
16. Korolchenko D., Eremina T., Minailov D. New method for quality control of fire protective coatings. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019; 471(11). DOI: 10.1088/1757-899X/471/11/112016
17. Andryushkin A.Yu., Tsoi A.A. The methods of definition of fire rating of flame-retardant coating for steel structures in hydrocarbon jet fire. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo Universiteta GPS MCHS Rossii*. 2016; 2:45-53. URL: <https://vestnik.igps.ru/wp-content/uploads/V82/7.pdf> (rus).
18. Andryushkin A.Yu., Tsoi A.A., Smirnova M.A. About the basic preconditions of creation of the method of testing fire-resistant coatings in high temperature gas flow. *Problems of Risk Management in the Technosphere*. 2016; 1(37):39-46. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25984067> (rus).
19. Andryushkin A.Yu., Tsoi A.A., Smirnova M.A. The method tests fire protective coatings in high-temperature gas flow. *Problems of Risk Management in the Technosphere*. 2016; 2(38):37-45. (rus).
20. Tsoy A.A., Demehin F.V. Testing of fire resistant materials in the conditions of the hydrocarbon temperature mode. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo Universiteta GPS MCHS Rossii*. 2015; 4:139-142. URL: <https://vestnik.igps.ru/wp-content/uploads/V74/4.pdf> (rus).

*Поступила 15.03.2021, после доработки 20.05.2021; принята к публикации 04.06.2021  
Received January March 15, 2021; Received in revised form February May 20, 2021; Accepted June 4, 2021*

### Информация об авторах

**АНДРЮШКИН Александр Юрьевич**, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой технологии конструкционных материалов и производства ракетно-космической техники, Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; РИНЦ ID: 717627; Scopus Author ID: 55603904600; ORCID: 0000-0002-7812-069X; e-mail: [sascha1a@mail.ru](mailto:sascha1a@mail.ru)

**КИРШИНА Алена Андреевна**, ассистент кафедры двигателей и энергоустановок летательных аппаратов, Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; ORCID: 0000-0001-7564-6672; e-mail: [kirshinaalyona@gmail.com](mailto:kirshinaalyona@gmail.com)

**КАДОЧНИКОВА Елена Николаевна**, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры пожарной безопасности технологических процессов и производств, Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; РИНЦ ID: 832642; ORCID: 0000-0002-4577-390X; e-mail: [vf10@yandex.ru](mailto:vf10@yandex.ru)

### Information about the authors

**Alexander Yu. ANDRYUSHKIN**, Cand. Sci. (Eng.), Assistant professor, Head of the Department of the Technology of Structural Materials and Production of Rocket and Space Technology, Baltic state technical university “VOENMEH”, Saint Petersburg, Russian Federation; ID RISC: 717627; Scopus Author ID: 55603904600; ORCID: 0000-0002-7812-069X; e-mail: [sascha1a@mail.ru](mailto:sascha1a@mail.ru)

**Alyona A. KIRSHINA**, Assistant of the Department Engines and Power Installations of Aircraft, Baltic State Technical University “VOENMEH”, Saint Petersburg, Russian Federation; ORCID: 0000-0001-7564-6672; e-mail: [kirshinaalyona@gmail.com](mailto:kirshinaalyona@gmail.com)

**Elena N. KADOCHNIKOVA**, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of Fire Safety of Technological Processes and Production, Saint Petersburg University of State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, Saint Petersburg, Russian Federation; ID RISC: 832642; ORCID: 0000-0002-4577-390X; e-mail: [vf10@yandex.ru](mailto:vf10@yandex.ru)

## Идентификация следов инициаторов горения в продуктах термического разложения ламинатов методом флуоресцентного анализа

© Р.Н. Степанов<sup>1</sup>, А.А. Шеков<sup>2✉</sup>, Г.В. Плотникова<sup>2</sup>, К.Л. Кузнецов<sup>3,4</sup>, С.С. Тимофеева<sup>4</sup>

<sup>1</sup> «Сибирская пожарно-спасательная академия» Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (Россия, 662972, Красноярский край, г. Железногорск, ул. Северная, 1)

<sup>2</sup> Восточно-Сибирский институт Министерства внутренних дел Российской Федерации (Россия, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 110)

<sup>3</sup> Судебно-экспертное учреждение Федеральной противопожарной службы «Испытательная пожарная лаборатория» по Иркутской области (Россия, 664009, г. Иркутск, ул. Култукская, 10)

<sup>4</sup> Иркутский национальный исследовательский технический университет (Россия, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83)

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Для интенсификации горения при поджогах злоумышленники в качестве инициаторов горения часто применяют доступные нефтепродукты: бензин, дизельное топливо, их смеси. На исследование инициаторы горения, как правило, поступают в виде следов на поверхности или в объеме объекта-носителя. При повреждении объектов-носителей теплом пожара возможно образование продуктов термического разложения, имеющих компонентный состав, аналогичный нефтепродуктам.

**Цели и задачи.** Исследование методом флуоресцентной спектроскопии экстрактивных компонентов обгоревших ламинатов, как одного из распространенных видов напольных покрытий, и установление их влияния на обнаружение инициаторов горения.

**Методы.** Объектами анализа стали экстракты с образцов ламината фирмы Tarkett размером 50 × 50 мм<sup>2</sup>, подвергшихся термическому воздействию в муфельной печи при температуре 300, 400 и 500 °С в течение 2–10 минут. Изучение экстрактов проводилось методом флуоресцентной спектроскопии при длине волны возбуждения флуоресценции 255 нм.

**Обсуждение.** Спектры флуоресценции образцов ламината, имеющих признаки незначительного термического повреждения (изменение цвета), включают один широкий пик 300–410 нм с максимумом в области 340–370 нм. Смещение максимума флуоресценции и появление пиков в иных областях спектра характерно для образцов ламината, на поверхности которых при температуре 300 °С (600 с) и 400 °С (240, 360 с) сформировался карбонизованный слой. Увеличение степени термического повреждения образцов, сопровождающееся разрушением карбонизованного остатка, приводит к снижению интенсивности флуоресценции их экстрактивных компонентов до фоновых значений.

**Выводы.** Спектры флуоресценции экстрактов с ламинатов, полученных в результате обжига при температуре 400 °С в течение 240–360 с, имеют пики в области бициклических и трициклических ароматических углеводородов, что ограничивает возможности идентификации следов инициаторов горения в виде тяжелых нефтяных фракций (масла, смазки, мазут), сильно выгоревших дизельных топлив.

**Ключевые слова:** пожар; поджог; объекты-носители; нефтепродукты; термические повреждения; продукты термического разложения; экстрактивные компоненты; флуоресцентная спектроскопия; фронтальное элюирование

**Для цитирования:** Степанов Р.Н., Шеков А.А., Плотникова Г.В., Кузнецов К.Л., Тимофеева С.С. Идентификация следов инициаторов горения в продуктах термического разложения ламинатов методом флуоресцентного анализа // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2021. Т. 30. № 4. С. 27–35. DOI: 10.22227/0869-7493.2021.30.04.27-35

✉ Шеков Анатолий Александрович, e-mail: shek@inbox.ru

## Using fluorescence analysis to find traces of accelerants in the thermal decomposition products of laminates

© Roman N. Stepanov<sup>1</sup>, Anatoliy A. Shekov<sup>2✉</sup>, Galina V. Plotnikova<sup>2</sup>, Konstantin L. Kuznetsov<sup>3,4</sup>, Svetlana S. Timofeeva<sup>4</sup>

<sup>1</sup>The Siberian Fire and Rescue Academy of State Firefighting Service of the Ministry of Russian Federation for Civil Defence, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters (Severnaya St., 1, Krasnoyarsk Krai, Zheleznogorsk, 662972, Russian Federation)

<sup>2</sup> East Siberian Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation (Lermontova St., 110, Irkutsk Region, Irkutsk, 664074, Russian Federation)

<sup>3</sup> Judicial and Expert Establishment Fire-Fighting Service "Testing Fire Laboratory" across the Irkutsk Region (Kultuuskaya St., 10, Irkutsk, 664009, Russian Federation)

<sup>4</sup> Irkutsk National Research Technical University (Lermontov St., 83, Irkutsk, 664074, Russian Federation)

## ABSTRACT

**Introduction.** To enhance combustion in arson attacks, arsonists often use accelerants, or easily accessible petrochemicals, such as gasoline, diesel fuel, as well as their mixtures. As a rule, accelerants are submitted for investigation as traces left on the surface or inside objects of evidence. If objects of evidence are damaged by the fire heat, thermal decomposition products may be formed, and their composition is similar to the one of petrochemicals.

**Goals and objectives.** The goal of the study is to use fluorescence spectroscopy to study extractive components of the burnt laminate, as one of the most common types of floor coverings, and identify their influence on detection of accelerants.

**Methods.** The study is focused on extracted samples of the Tarkett laminate, having physical dimensions of 50 × 50 mm<sup>2</sup>, exposed to the thermal impact in a muffle furnace at the temperatures of 300, 400 and 500 °C for 2–10 minutes. The samples were studied using fluorescence spectroscopy at the fluorescence excitation wavelength of 255 nm.

**Discussion.** The fluorescence spectra of the laminate samples, showing signs of minor thermal damage (color change), include a single wide peak of 300–410 nm with a maximum in the area of 340 – 370 nm. The shift of the fluorescence maximum and the emergence of peaks in other areas of the spectrum are typical for laminate samples, on the surface of which a carbonized layer is formed at the temperature of 300 °C (600 s) and 400 °C (240, 360 s). An increase in the thermal damage of samples, accompanied by the destruction of the carbonized residue, leads to the decrease in the fluorescence intensity of their extractive components to background values.

**Conclusion.** The fluorescence spectra of the laminate samples, obtained by means of burning at 400 °C for 240–360 s, have peaks in the area of bicyclic and tricyclic aromatic hydrocarbons, which impede the identifiability of accelerant traces that may be present as heavy oil fractions (oils, lubricants, fuel oil), highly burnt diesel fuels.

**Keywords:** fire; arson; trace evidence; petrochemicals; thermal damage; thermal decomposition products; extractive components; fluorescence spectroscopy; frontal elution

**For citation:** Stepanov R.N., Shekov A.A., Plotnikova G.V., Kuznetsov K.L., Timofeeva S.S. Using fluorescence analysis to find traces of accelerants in the thermal decomposition products of laminates. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2021; 30(4):27-35. DOI: 10.22227/0869-7493.2021.30.04.27-35 (rus).

✉ Anatoliy Aleksandrovich Shekov, e-mail: shek@inbox.ru

## Введение

На сегодняшний день проблема расследования и исследования поджогов не теряет своей актуальности не только в Российской Федерации, но и за рубежом. В значительной степени это обусловлено сложностью расследования и производства судебной экспертизы по данной категории уголовных дел в результате повреждения или полного уничтожения следов преступления в ходе горения [1, 2].

Традиционным способом совершения поджога остается разлив на поверхности напольных покрытий, предметов мебели легковоспламеняющихся (ЛВЖ) или горючих жидкостей (ГЖ), среди которых наибольшее применение получили доступные светлые нефтепродукты (бензины, керосины, дизельные топлива и др.) [3–5].

Определение вида инициатора горения осуществляется в ходе судебно-экспертного исследования с применением современных аналитических методов, таких как ИК-спектроскопия, различные виды хроматографии, флуоресцентная спектроскопия [6, 7]. Последний метод, несмотря на низкую информативность, активно используется в судебно-экспертной

деятельности, что связано с его высокой чувствительностью и низкими трудозатратами [8–10].

На исследование инициаторы горения, как правило, поступают в виде следов на предметах-носителях, нередко имеющих термические повреждения. Продукты термического разложения оказывают влияние на фракционный состав извлекаемых ЛВЖ или ГЖ, что может привести к неправильной интерпретации результатов анализа, полученных экспертом или специалистом [11–15].

Например, в нативном образце фанеры и в образцах, подвергавшихся нагреванию при невысоких температурах, флуоресценция экстрактов незначительная. При нагревании образца до 300 °C максимальная интенсивность флуоресценции полученного экстракта наблюдается в области 340 нм, что не характерно для экстрактов с термически поврежденных образцов древесины. Появление данного максимума флуоресценции объясняется высвобождением экстрактивных веществ, входящих в клеевую композицию. Серьезные проблемы возникают при изучении следов инициаторов горения, сохранившихся на поверхности или в объеме прогретых полимерных материалов и резины [16–18].

В работе установлено, что спектры флуоресценции соэкстрактивных компонентов ковровых покрытий, поливинилхлоридных линолеума и плитки, прогретых до 250–300 °С, практически идентичны спектрам бензинов. Это обусловлено формированием в процессе термической деструкции материалов на основе нейлона и поливинилхлорида моно- (бензол и его гомологи) и полициклических (нафталин, антрацен и др.) аренов, близких по своему составу к анализируемым моторным топливам [17–20].

Спектры флуоресценции экстрактов с полимерных автомобильных коврик, подвергавшихся обжигу в течение трех минут при температуре от 200 до 400 °С, содержат два максимума в интервалах 300–330 нм и 340–370 нм, характерных для следов тяжелых нефтяных фракций (масла, смазки, мазут), либо сильно выгоревших дизельных топлив [21].

При исследовании экстрактов с нативных и обработанных дизельным топливом полиуретановых материалов, которые нагревались при температуре от 200 до 300 °С в течение 5–20 минут, было установлено, что идентификация инициатора горения возможна до 250 °С. При увеличении температуры нагрева интенсивность флуоресценции компонентов дизельного топлива становится ниже интенсивности флуоресценции продуктов термического разложения полиуретана, и идентификация инициатора горения невозможна [22].

Таким образом, для правильной интерпретации результатов исследования объектов, являющихся носителями следов инициаторов горения, специалисту необходима информация о продуктах термического разложения анализируемых материалов.

Исходя из анализа результатов изучения методом флуоресцентной спектроскопии материалов, являющихся объектами-носителями следов инициаторов горения, состава ламинатов, которые могут включать компоненты, обладающие свойством флуоресценции, а также отсутствия данных в литературных источниках об исследовании ламината как объекта-носителя следов ЛВЖ и ГЖ, цель работы — исследование методом флуоресцентной спектроскопии экстрактивных компонентов обгоревших ламинатов, как одного из распространенных видов напольных покрытий, и установление их влияния на обнаружение инициаторов горения.

### Материалы и методы

В качестве объектов исследования были подготовлены образцы ламината фирмы Tarkett размером 50 × 50 мм<sup>2</sup>, которые подвергались термическому воздействию в муфельной печи при температуре 200, 300, 400 и 500 °С в течение 2–10 минут (120–600 с).

В связи с незначительным термическим повреждением в виде изменения цвета образцов, выдержан-

ных при температуре 200 °С в течение 600 с (рис. 1), дальнейшее исследование образцов не проводилось.

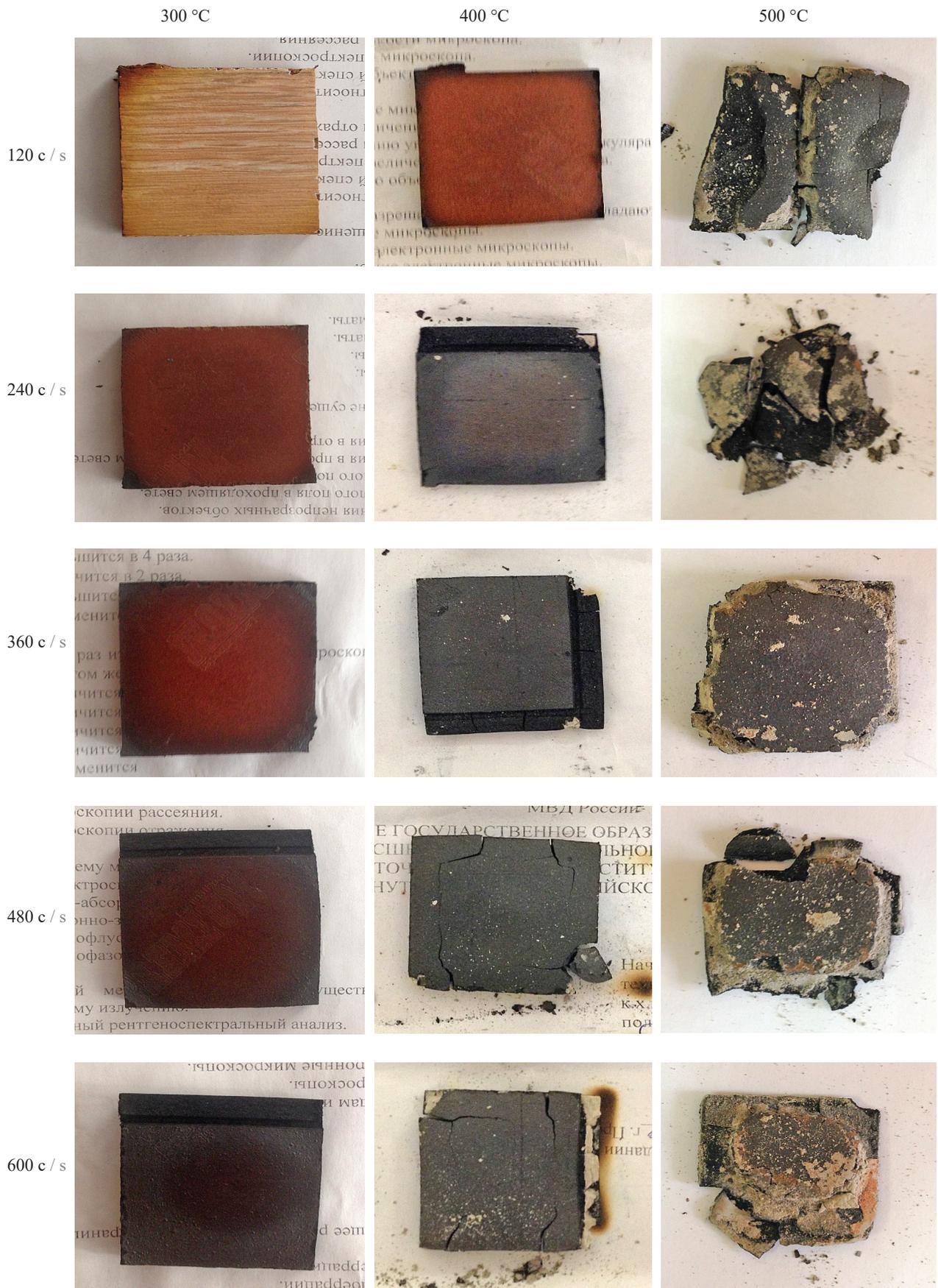


Рис. 1. Образец ламината, полученный в результате обжига при температуре 200 °С в течение 600 с

Fig. 1. A laminate sample obtained by burning at the temperature of 200 °С for 600 s

Обожженные образцы ламината, полученные при 300, 400 и 500 °С (рис. 2), экстрагировались с применением гексана марки «осч». Извлечение органических веществ из объектов исследования проведено способом фронтального элюирования. Для этого использовали две делительные воронки. В нижнюю воронку, на дно которой предварительно был положен кусочек ваты для фильтрования получаемого экстракта, помещали мелконарезанные объекты. С помощью второй воронки, заполненной растворителем (гексаном), прикапывали растворитель со скоростью 1 капля в секунду до образования слоя растворителя над измельченной пробой высотой 1–2 мм. Расход растворителя составил 10 мл. После прекращения подачи растворителя в нижней воронке открывали кран и со скоростью, аналогичной скорости подачи растворителя, в нее сливали полученный экстракт в приемный бюкс.

Экстракты исследовали на спектрофлуориметре «Флюорат-02-Панорама» при длине волны возбуждения флуоресценции 255 нм. Спектральный диапазон измерений — от 270 до 450 нм, шаг сканирования — 1 нм, число вспышек — 25, чувствительность — низкая. При длине волны возбуждающего света 255 нм в области 270–300 нм люминесцируют моноароматические углеводороды (МАУ) — гомологи бензола, главным образом ди- и тризамещенные алкилбензолы. В области 300–330 нм люминесцируют 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



**Рис. 2.** Образцы ламината, полученные в результате обжига при температурах 300–500 °C в течение 120–600 с

**Fig. 2.** Laminate samples obtained by burning at the temperatures of 300–500 °C for 120–600 s

колец и сопряженных двойных связей. Пик в области 340–370 нм свидетельствует о флуоресценции трициклических ароматических углеводородов (ТАУ) — фенантрена и его гомологов, а область спектра от 370 до 430 нм характерна для полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) группы антрацена, пирена и т.д.

Определение максимумов флуоресценции в областях спектра, характерных для ароматических углеводородов, а также анализ спектров проводились в соответствии с методикой, изложенной в работе [23].

### Результаты исследования и их обсуждение

В процессе анализа экстрактов обгоревших ламинатов, полученных при 300 °С (рис. 3) в течение 120–480 с, установлено, что спектры флуоресценции имеют широкий пик в области 300–410 нм с максимумом в области 340–370 нм, характерным для ТАУ. При увеличении времени термического воздействия до 600 с наблюдается смещение максимума пика в длинноволновую область (360–390 нм). Интенсивность флуоресценции составляет 0,35 относительных единиц (отн. ед.).

Наибольшие изменения состава экстрактивных компонентов наблюдаются при температуре 400 °С (рис. 4). При времени термического воздействия 120 с спектр флуоресценции экстракта почти не отличается от спектров, полученных при температуре 300 °С, и представляет собой широкий пик в области 300–410 нм с максимумом 340–370 нм, что соответствует люминесценции ТАУ.

При времени термического воздействия 240 с на спектре формируется пик 360–390 нм с плечом 310–340 нм. В ходе дальнейшего увеличения времени термического воздействия до 240 с происходит формирование пика 300–330 нм, характерного для

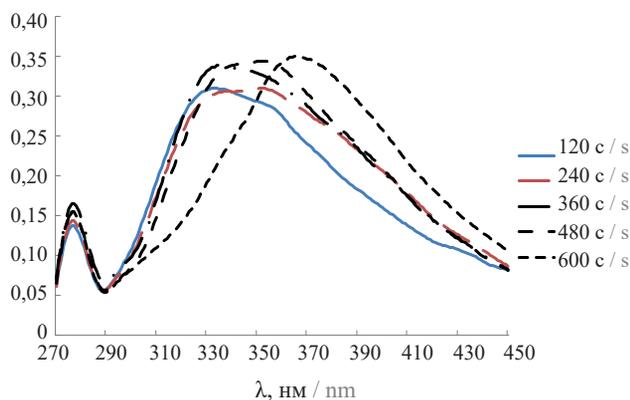


Рис. 3. Спектры флуоресценции экстрактов остатков ламината, полученных при 300 °С

Fig. 3. Fluorescence spectra of the extracted burnt laminate obtained at 300 °С

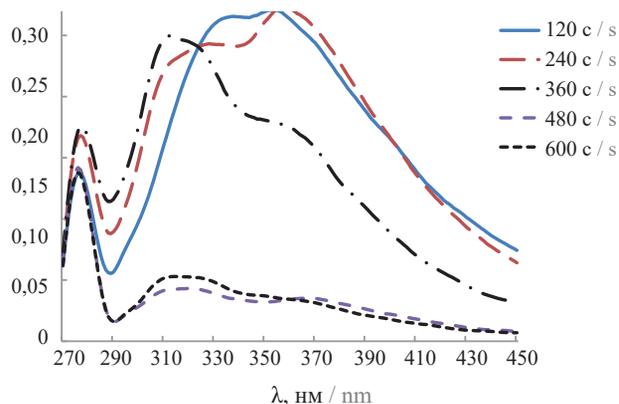


Рис. 4. Спектры флуоресценции экстрактов остатков ламината, полученных при 400 °С

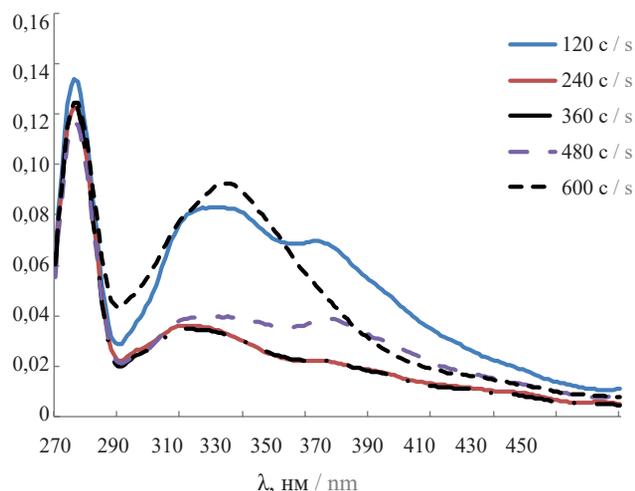
Fig. 4. Fluorescence spectra of the extracted burnt laminate obtained at 400 °С

БАУ, и плеча 340–370 нм, характерного для ТАУ. Длительный обжиг образцов ламината при температуре 400 °С в течение 480 и 600 с приводит к снижению люминесценции экстрактивных компонентов, полученных с их обугленных остатков. Интенсивность пиков люминесценции менее 0,25 отн. ед., т.е. находится в пределах фоновых значений.

Пики в области БАУ и ТАУ на спектрах флуоресценции экстрактов ламинатов, полученных при температуре 400 °С в течение 240–360 с, также присущи тяжелым нефтяным фракциям (масла, смазки, мазут) или сильно выгоревшим дизельным топливам. Следовательно, продукты термического разложения ламинатов, формирующиеся при данных условиях, могут ограничивать возможности эксперта по обнаружению и идентификации инициаторов горения.

В процессе высокотемпературного нагрева при 500 °С (рис. 5) органическая составляющая ламинатов выгорает, в результате чего наблюдается низкая люминесценция экстрактов обугленных остатков. Интенсивность пиков люминесценции находится в пределах фоновых значений, при этом максимумы пиков отмечаются в области 300–330 нм (БАУ) и 340–370 нм (ТАУ).

Изменения спектров флуоресценции экстрактов сопоставимы со степенью термического повреждения образцов ламината (рис. 2). Спектры флуоресценции образцов ламината, имеющих признаки незначительного термического повреждения (изменение цвета), включают один широкий пик 300–410 нм с максимумом в области 340–370 нм. Смещение максимума флуоресценции и появление пиков в иных областях спектра характерно для образцов ламината, на поверхности которых при температуре 300 °С (600 с) и 400 °С (240, 360 с) сформировался карбонизованный слой. Увеличение степени термического повреждения образцов, сопровождающееся разрушением карбонизованного остатка, приводит



**Рис. 5.** Спектры флуоресценции экстрактов остатков ламината, полученных при 500 °С

**Fig. 5.** Fluorescence spectra of the extracted burnt laminate obtained at 500 °C

к снижению интенсивности флуоресценции их экстрактивных компонентов до фоновых значений.

Необходимо отметить, что в спектрах флуоресценции экстрактов, содержащих продукты термического разложения ламинатов, отсутствуют пики МАУ с интенсивностью, превышающей фоновые значения 0,25 отн. ед., и пики ПАУ. Значит, соэкстрактивные компоненты термически поврежденных ламинатов не будут ограничивать возможности эксперта в идентификации индивидуальных МАУ, смесевых растворителей, керосинов и автомобильных бензинов

с низкой степенью выгорания (наличие пиков МАУ), а также керосинов и автомобильных бензинов с высокой степенью выгорания (наличие пиков ПАУ).

### Выводы

Таким образом, в результате проведенного исследования установлено:

- на степень термического поражения материалов влияет не только температура, но и время термического воздействия;
- спектры флуоресценции экстрактов обгоревших ламинатов, полученных при 300 °С в течение 120–480 с, имеют широкий пик в области 300–410 нм с максимумом в области 340–370 нм;
- наибольшие изменения состава экстрактивных компонентов наблюдаются при температуре 400 °С и времени температурного воздействия 120–360 с;
- длительный обжиг образцов ламината при температуре 400 °С (480, 600 с) и 500 °С приводит к снижению люминесценции экстрактивных компонентов их обугленных остатков, при этом интенсивность пиков их люминесценции находится в пределах фоновых значений;
- экстракты ламинатов, полученных при температуре 400 °С в течение 240–360 с, в спектрах флуоресценции имеют пики в области БАУ и ТАУ, что характерно для тяжелых нефтяных фракций (масла, смазки, мазут) либо сильно выгоревших дизельных топлив. Однако достижение данной температуры на уровне пола маловероятно.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эндерс А.И. Основные аспекты осуществления противодействия сокрытию следов преступлений на примере поджогов // *Философия права*. 2020. № 1 (92). С. 170–173. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42718469>
2. Cacho J.I., Campillo N., Aliste M., Viñas P., Hernández-Córdoba M. Headspace sorptive extraction for the detection of combustion accelerants in fire debris // *Forensic Science International*. 2014. Vol. 238. Pp. 26–32. DOI:10.1016/j.forsciint.2014.02.006
3. Удилов Т.В. Исследование самодельных зажигательных составов методом газожидкостной хроматографии // *Судебная экспертиза*. 2015. № 4 (44). С. 75–79.
4. Могильникова А.В. Исследование дизельных топлив методом флуоресцентной спектроскопии при расследовании поджогов // *Криминалистика: вчера, сегодня, завтра*. 2020. № 3 (15). С. 85–92. DOI: 10.24411/2587-9820-2020-10057 URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44078353>
5. Pert A.D., Baron M.G., Birkett J.W. Review of analytical techniques for arson residues // *Journal of Forensic Sciences*. 2006. Vol. 51. Issue. 5. Pp. 1033–1049. DOI: 10.1111/j.1556-4029.2006.00229.x
6. Клаптюк И.В., Чеуко И.Д. Обнаружение следов светлых нефтепродуктов на месте пожара при поджогах // *Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России*. 2012. № 3. С. 38–43. URL: <https://vestnik.igps.ru/wp-content/uploads/V43/6.pdf>
7. Bruno T.J., Lovestead T.M., Huber M.L. Prediction and preliminary standardization of fire debris constituents with the advanced distillation curve method // *Journal of Forensic Sciences*. 2011. Vol. 56. Issue. S1. Pp. S192–S202. DOI:10.1111/j.1556-4029.2010.01628.x
8. Siegel J.A., Fisher J., Gilna C., Spadafora A., Krupp D. Fluorescence of petroleum products. I. Three-dimensional fluorescence plots of motor oils and lubricants // *Journal of Forensic Sciences*. 1985. Vol. 30. Issue. 3. P. 741–759. DOI:10.1520/JFS11008J

9. 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 (23). С. 72–77. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29344433>
10. Гапоненко М.В., Ворошилов Р.Ф., Долгушина Л.В. Использование метода флуоресцентной спектроскопии при анализе зольного остатка в целях пожарно-технической экспертизы // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2018. № 1 (8). С. 17–22. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=34899062>
11. DeHaan D. Pyrolysis products of structure fires // Journal of the Forensic Science Society. 1988. Vol. 28. Pp. 299–309. DOI: 10.1016/S0015-7368(88)72856-X
12. Almirall J.R., Furton K.G. Characterization of background and pyrolysis products that may interfere with the forensic analysis of fire debris // Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. 2004. Vol. 71. Issue 1. Pp. 51–67. DOI: 10.1016/S0165-2370(03)00098-6
13. Шеков А.А., Плотникова Г.В. Факторы, влияющие на обнаружение и идентификацию интенсификаторов горения методом газовой хроматографии // Эксперт-криминалист. 2019. № 1. С. 36–38.
14. Pena-Pereira F., Costas-Mora I., Lavilla I., Bendicho C. Rapid screening of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in waters by directly suspended droplet microextraction-microvolume fluorospectrometry // Talanta. 2012. Vol. 89. Pp. 217–222. DOI: 10.1016/j.talanta.2011.11.084
15. Huang Y., Wei J., Song J., Chen M., Luo Y. Determination of low levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in soil by high performance liquid chromatography with tandem fluorescence and diode-array detectors // Chemosphere. 2013. Vol. 92. Pp. 1010–1016. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2013.03.035
16. Peschier L.J.C., Grutters M.M.P., Hendrikse J.N. Using alkylate components for classifying gasoline in fire debris samples // Journal of Forensic Sciences. 2018. Vol. 63. Issue 2. Pp. 420–430. DOI: 10.1111/1556-4029.13563
17. Ying-yu L., Dong L., Hao S. An analysis of background interference on fire debris // Procedia Engineering. 2013. Vol. 52. Pp. 664–670. DOI: 10.1016/j.proeng.2013.02.203
18. Stauffer E. Concept of pyrolysis for fire debris analysts // Science & Justice. 2003. Vol. 43. Issue 1. Pp. 29–40. DOI: 10.1016/S1355-0306(03)71738-9
19. Alkurdi F., Karabet F., Dimashki M. Characterization, concentrations and emission rates of polycyclic aromatic hydrocarbons in the exhaust emissions from in-service vehicles in Damascus // Atmospheric Research. 2013. Issue 120–121. Pp. 68–77. DOI: 10.1016/j.atmosres.2012.08.003
20. Yang B., Zhou L., Xue N., Li F., Li Y., Vogt R.D. et al. Source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons in soils of Huanghuai Plain, China: Comparison of three receptor models // Science of the Total Environment. 2013. Vol. 443. Pp. 31–39. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2012.10.094
21. Зырянов В.С. Влияние продуктов термического разложения автомобильного коврика на обнаружение и идентификацию инициаторов горения методом флуоресцентной спектроскопии // Научный дайджест Восточно-Сибирского института МВД России. 2019. № 1 (1). С. 233–238. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42349681>
22. Плотникова Г.В., Кузнецов К.Л., 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
23. Чешико И.Д., Принцева М.Ю., Яценко Л.А. Обнаружение и установление состава легковоспламеняющихся и горючих жидкостей при поджогах: методическое пособие. М. : ВНИИПО, 2010. 90 с.

## REFERENCES

1. Enders A.I. The main aspects of the implementation of counteraction to the suppression of traces of crimes by an example of arson. *Philosophy of Law*. 2020; 1:170-173. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42718469> (rus).
2. Cacho J.I., Campillo N., Aliste M., Viñas P., Hernández-Córdoba M. Headspace sorptive extraction for the detection of combustion accelerants in fire debris. *Forensic Science International*. 2014; 238:26-32. DOI: 10.1016/j.forsciint.2014.02.006
3. Udilov T.V. The study of improvised incendiary compositions by gas-liquid partition chromatography. *Forensic examination*. 2015; 4:75-79. (rus).

4. Mogilnikova A.V. Investigation of diesel fuels by fluorescence spectroscopy in the investigation of arson. *Kriminalistika: vchera, segodnya, zavtra/Forensics: yesterday, today, tomorrow*, 2020; 4:85-92. DOI: 10.24411/2587-9820-2020-10057 URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44078353> (rus).
5. Pert A.D., Baron M.G., Birkett J.W. Review of analytical techniques for arson residues. *Journal of Forensic Sciences*. 2006; 51(5):1033-1049. DOI: 10.1111/j.1556-4029.2006.00229.x
6. Klapyuk I.V., Cheshko I.D. The discovery of traces of light oil on the fire spot at the case of arson. *Bulletin of the St. Petersburg university of the state fire service EMERCOM of Russia*. 2012; 3:38-43. URL: <https://vestnik.igps.ru/wp-content/uploads/V43/6.pdf> (rus).
7. Bruno T.J., Lovestead T.M., Huber M.L. Prediction and preliminary standardization of fire debris constituents with the advanced distillation curve method. *Journal of Forensic Sciences*. 2011; 56(S1):S192-S202. DOI: 10.1111/j.1556-4029.2010.01628.x
8. Siegel J.A., Fisher J., Gilna C., Spadafora A., Krupp D. Fluorescence of Petroleum products. I. Three-dimensional fluorescence plots of motor oils and lubricants. *Journal of Forensic Sciences*. 1985; 30(3):741-759. DOI: 10.1520/JFS11008J
9. Vorontsova A.A., Kalashnikov D.V., Lipsky A.A., Asatov O.A. Problems and prospects for the use of fire-technical experts, modern methods of detection and study tools for arson. *Bulletin of the Voronezh Institute of the State Fire Service of the EMERCOM of Russia*. 2017; 2(23):72-77. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29344433> (rus).
10. Gaponenko M.V., Voroshilov R.F., Dolgushina L.V. Use of the fluorescence spectroscopy method for analyzing the ash residue for fire and technical expertise. *Siberian Fire and Rescue Bulletin*. 2018; 1:17-22. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=34899062> (rus).
11. DeHaan D. Pyrolysis products of structure fires. *Journal of the Forensic Science Society*. 1988; 28:299-309. DOI: 10.1016/S0015-7368(88)72856-X
12. Almirall J.R., Furton K.G. Characterization of background and pyrolysis products that may interfere with the forensic analysis of fire debris. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 2004; 71(1):51-67. DOI: 10.1016/S0165-2370(03)00098-6
13. Shekov A.A., Plotnikova G.V. Factors affecting detection and identification of accelerants using the gas chromatography method. *Expert-Criminalist*. 2019; 1:36-38. (rus).
14. Pena-Pereira F., Costas-Mora I., Lavilla I., Bendicho C. Rapid screening of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in waters by directly suspended droplet microextraction-microvolume fluorospectrometry. *Talanta*. 2012; 89:217-222. DOI: 10.1016/j.talanta.2011.11.084
15. Huang Y., Wei J., Song J., Chen M., Luo Y. Determination of low levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in soil by high performance liquid chromatography with tandem fluorescence and diode-array detectors. *Chemosphere*. 2013; 92:1010-1016. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2013.03.035
16. Peschier L.J.C., Grutters M.M.P., Hendrikse J.N. Using alkylate components for classifying gasoline in fire debris samples. *Journal of Forensic Sciences*. 2018; 63(2):420-430. DOI: 10.1111/1556-4029.13563
17. Ying-yu L., Dong L., Hao S. An analysis of background interference on fire debris. *Procedia Engineering*. 2013; 52:664-670. DOI: 10.1016/j.proeng.2013.02.203
18. Stauffer E. Concept of pyrolysis for fire debris analysts. *Science & Justice*. 2003; 43(1):29-40. DOI: 10.1016/S1355-0306(03)71738-9
19. Alkurdi F., Karabet F., Dimashki M. Characterization, concentrations and emission rates of polycyclic aromatic hydrocarbons in the exhaust emissions from in-service vehicles in Damascus. *Atmospheric Research*. 2013; 120-121:68-77. DOI: 10.1016/j.atmosres.2012.08.003
20. Yang B., Zhou L., Xue N., Li F., Li Y., Vogt R.D. et al. Source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons in soils of Huanghuai Plain, China: Comparison of three receptor models. *Science of the Total Environment*. 2013; 443:31-39. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2012.10.094
21. Zyryanov V.S. Influence of thermal decomposition products of car room on detection and identification of combustion initiators by fluorescence spectroscopy. *Scientific digest of the East Siberian Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia*. 2019; 1(1):233-238. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42349681> (rus).
22. Plotnikova G.V., Kuznetsov K.L., Malysheva S.F. Features of the polyurethane study as a result of arson attacks. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2019; 28(2):31-38. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.02.31-38 (rus).
23. Cheshko I.D., Printseva M.Yu., Yatsenko L.A. *Detection and establishment of the composition of flammable and combustible liquids during arson: a methodological guide*. Moscow, VNIPO Publ., 2010; 90. (rus).

Поступила 22.04.2021, после доработки 09.06.2021;

принята к публикации 24.06.2021

Received January April 22, 2021; Received in revised form June 9, 2021;

Accepted June 24, 2021

### Информация об авторах

**СТЕПАНОВ Роман Николаевич**, магистрант, «Сибирская пожарно-спасательная академия» Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, г. Железногорск, Российская Федерация; ORCID: 0000-0002-9959-4835; e-mail: step\_rom@mail.ru

**ШЕКОВ Анатолий Александрович**, канд. хим. наук, доцент, доцент кафедры судебно-экспертной деятельности, Восточно-Сибирский институт Министерства внутренних дел Российской Федерации, г. Иркутск, Российская Федерация; РИНЦ ID: 673937; ORCID: 0000-0003-2111-718X; e-mail: shek@inbox.ru

**ПЛОТНИКОВА Галина Викторовна**, канд. хим. наук, доцент, доцент кафедры судебно-экспертной деятельности, Восточно-Сибирский институт Министерства внутренних дел Российской Федерации, г. Иркутск, Российская Федерация; РИНЦ ID: 409919; ORCID: 0000-0003-2721-292X; e-mail: plotnikovagv@mail.ru

**КУЗНЕЦОВ Константин Леонидович**, канд. хим. наук, начальник Федерального государственного бюджетного учреждения Судебно-экспертного учреждения Федеральной противопожарной службы «Испытательная пожарная лаборатория» по Иркутской области; доцент кафедры промэкологии и безопасности жизнедеятельности; Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Российская Федерация; РИНЦ ID: 1065126; ORCID: 0000-0002-8091-1247; e-mail: kuznets84@inbox.ru

**ТИМОФЕЕВА Светлана Семеновна**, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности, Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Российская Федерация; РИНЦ ID: 79973; ORCID: 0000-0001-8427-3732; e-mail: timofeeva@istu.edu

### Information about the authors

**Roman N. STEPANOV**, Master's Student, the Siberian Fire and Rescue Academy of State Firefighting Service of the Ministry of Russian Federation for Civil Defence, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, Zheleznogorsk, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-2111-718X; e-mail: step\_rom@mail.ru

**Anatoliy A. SHEKOV**, Cand. Sci. (Chem.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Forensic Expert Activity, East Siberian Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation, Irkutsk, Russian Federation; ID RISC: 673937; ORCID: 0000-0003-2111-718X; e-mail: shek@inbox.ru

**Galina V. PLOTNIKOVA**, Cand. Sci. (Chem.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Forensic Expert Activity, East Siberian Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation, Irkutsk, Russian Federation; ID RISC: 409919; ORCID: 0000-0003-2721-292X; e-mail: plotnikovagv@mail.ru

**Konstantin L. KUZNETSOV**, Cand. Sci. (Chem.), Chief of Federal State Budgetary Establishment of Judicial and Expert Establishment Fire-Fighting Service "Testing Fire Laboratory" across the Irkutsk Region; Associate Professor of Department of Industrial Ecology and Life Safety, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russian Federation; ID RISC: 1065126; ORCID: 0000-0002-8091-1247; e-mail: kuznets84@inbox.ru

**Svetlana S. TIMOFEEVA**, Dr. Sci (Eng.), Professor, Head of Department of Industrial Ecology and Life Safety, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russian Federation; ID RISC: 79973; ORCID: 0000-0001-8427-3732; e-mail: timofeeva@istu.edu

# Эффективность применения вспучивающихся огнезащитных покрытий силовых кабелей каналов систем безопасности атомных станций в условиях пожара

© О.С. Лебедченко, С.В. Пузач✉, В.И. Зыков

Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4)

## АННОТАЦИЯ

**Введение.** Для обеспечения безопасного останова и расхолаживания реакторной установки АЭС при пожаре необходимо гарантированное функционирование систем безопасности с выходом из строя не более одного канала безопасности. Однако оценка потери изоляционными материалами силовых кабелей вышеуказанных каналов эксплуатационных свойств в случае их защиты огнезащитными вспучивающимися составами при одновременном воздействии различных режимов пожара и токовой нагрузки не проводилась.

**Цели и задачи.** Целью статьи является теоретическая оценка эффективности применения вспучивающихся огнезащитных покрытий силовых кабелей каналов СБ атомных станций с водо-водяными реакторами в условиях пожара. Для достижения поставленной цели проведен расчет температур наружной поверхности изоляции и вспучивающегося огнезащитного покрытия в зависимости от времени пожара.

**Теоретические основы.** Для определения распределения температур внутри многослойной изоляции и слоя огнезащиты токопроводящей жилы решается нестационарное одномерное уравнение теплопроводности.

**Результаты и их обсуждение.** Получены зависимости температур наружной поверхности изоляции и огнезащитного состава в случае трехжильного кабеля ВВГнг(А)-LS 3х2,5-0,66 от температуры газовой среды в помещении для трех стандартных и реального режимов пожара. Обнаружено, что до момента начала процесса деструкции материала изоляции вспучивание огнезащитного покрытия происходит только при углеводородном пожаре. При реальных режимах пожара максимальное время плавления изоляции до момента вспучивания огнезащитного покрытия при минимальной температуре вспучивания равно 4,75 мин, а максимальное время от начала деструкции материала изоляции до момента плавления изоляции составляет 6,0 мин.

**Выводы.** Экспериментальное или теоретическое обоснование параметров вспучивающихся огнезащитных составов с использованием стандартных режимов пожара может привести к потере изоляционными материалами силовых кабелей каналов СБ АЭС эксплуатационных свойств при реальном пожаре. Поэтому необходимо научное обоснование эффективности применения огнезащитных составов для вышеуказанных кабелей с учетом реальных режимов пожара.

**Ключевые слова:** канал безопасности; стандартный режим пожара; деструкция материала; ток нагрузки; огнезащитная эффективность; вспучивающийся состав; безопасный останов реакторной установки

**Для цитирования:** Лебедченко О.С., Пузач С.В., Зыков В.И. Эффективность применения вспучивающихся огнезащитных покрытий силовых кабелей каналов систем безопасности атомных станций в условиях пожара // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2021. Т. 30. № 4. С. 36–47. DOI: 10.22227/0869-7493.2021.30.04.36-47

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

## The application efficiency of intumescent coatings for power cables of safety systems of nuclear power plants under fire conditions

© Olga S. Lebedchenko, Sergey V. Puzach✉, Vladimir I. Zykov

The State Fire Academy of the Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation)

## ABSTRACT

**Introduction.** The reliable operation of safety systems, that allows for the failure of no more than one safety system component, entails the safe shutdown and cool-down of an NPP reactor in the event of fire. However, the co-authors have not assessed the loss of performance by an insulating material, treated by intumescent compositions and used in the power cables of the above safety systems exposed to the simultaneous effect of various modes of fire and current loads.

**Goals and objectives.** The purpose of the article is the theoretical assessment of the application efficiency of intumescent fire-retardant coatings in power cables used in the safety systems of nuclear power plants having water-cooled and water-moderated reactors under fire conditions. To achieve this goal, the temperature of the outer surface of the insulation and the intumescent fire-retardant coating was analyzed depending on the mode of fire.

**Theoretical foundations.** A non-stationary one-dimensional heat transfer equation is solved to identify the temperature distribution inside the multilayered insulation and the fire-protection layer of a conductive core.

**Results and their discussion.** The co-authors have identified dependences between the temperature of the outer surface of the insulation and the fire retarding composition of the three-core cable VVGng (A)-LS 3x2.5-0.66, on the one hand, and the temperature of the indoor gas environment for three standard modes of fire and one real fire mode. It is found that before the initiation of the process of destruction of the insulation material, the intumescence of the fire-retardant coating occurs only in case of a hydrocarbon fire. Under real fire conditions, the maximal insulation melting time before the initiation of intumescence of the fire-retardant coating at the minimal temperature of intumescence is 4.75 minutes, while the maximal time period from the initiation of destruction of the insulation material to the moment of the insulation melting is 6.0 minutes.

**Conclusions.** An experimental or theoretical substantiation of parameters of intumescent fire retardants, performed using standard modes of fire, has proven the potential loss of operational properties by insulating materials of power cables, used in the safety systems of nuclear power plants, in case of a real fire. Therefore, it is necessary to establish a scientific rationale for the efficient use of fire retardants in the above cables with regard for the conditions of a real fire.

**Keywords:** safety channel; standard mode of fire; destruction of materials; load current; fire-protection efficiency; intumescent composition; safe shutdown of a reactor

**For citation:** Lebedchenko O.S., Puzach S.V., Zykov V.I. The application efficiency of intumescent coatings for power cables of safety systems of nuclear power plants under fire conditions. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2021; 30(4):36-47. DOI: 10.22227/0869-7493.2021.30.04.36-47 (rus).

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

## Введение

Одной из основных функций системы пожарной безопасности атомной станции является обеспечение безопасного останова и расхолаживания реакторной установки при пожаре. Раздел 9 проектной документации АЭС «Перечень мероприятий по обеспечению пожарной безопасности» п. 9.1.3.5 содержит формулировку «...противопожарная защита должна гарантировать функционирование систем безопасности, в случае пожара, допускается выход из строя не более одного канала систем безопасности».

В тех пожароопасных зонах, где имеет место расположение элементов разных каналов (электрических кабелей силовой и контрольной сетей) систем безопасности (СБ), ликвидация пожара должна быть обеспечена на начальной стадии его развития в пределах одного канала СБ (п. 9.1.3.7. Раздела 9 ПД АЭС). Это означает, что в таких помещениях, как блочный пульт управления, резервный пульт управления, гермозона и межболочное пространство реакторного здания, где, согласно особенностям технологического процесса, сходятся все каналы СБ, электрические кабели остальных каналов СБ должны сохранять работоспособность.

В работах [1, 2] представлены результаты теоретической оценки возможности сигнальных кабелей СБ АЭС передавать корректно модулированный электрический сигнал при одновременном воздействии пожара и токовой нагрузки. Для ее достижения решалась задача теоретического исследования температуры токопроводящей жилы сигнального кабеля на начальной стадии пожара. Однако в вы-

шеуказанной работе решалось стационарное уравнение теплопроводности, что не позволяло оценить динамику режима нагрева электрического кабеля.

Известно, что повышение температуры проводов и кабелей приводит к преждевременному высыханию изоляции и, как следствие [3–17], перегрев проводов и кабелей сверхдопустимых величин может повлечь пожары. Поэтому в ГОСТ 31996-2012 устанавливаются длительно допустимые значения температуры нагрева токопроводящих жил проводов и кабелей. Так, например, длительно допустимое значение температуры для жилы проводов с изоляцией ПВХ — пластика, ПВХ — пластикутов пониженной пожарной опасности и полимерных композиций, не содержащих галогенов, составляет 70 °С.

Загорание, перешедшее в крупный пожар, охвативший большую часть Останкинской телебашни, произошло 27 августа 2000 г. Причиной аварии, как следовало из выводов Генпрокуратуры РФ, стало «нарушение противопожарных правил, в результате чего на высоте 450 метров произошло короткое замыкание, загорелась оплетка высокочастотных кабелей (волноводов), вследствие чего огонь за счет потока горящих капель расплавленного полиэтилена быстро распространился вниз по башне» [18].

Таким образом, пожар начал распространяться не только вверх, но и вертикально вниз по шахте. Распространение пожара достигло нижней отметки 67 м, где он был остановлен в результате героических действий московских пожарных. На отметке 62 м Останкинской башни находилось аппаратное помещение с дорогостоящей радиопередающей аппаратурой и аппаратурой телевизионного веща-

ния. Их уничтожение привело бы к остановке телевизионного и радиовещания на несколько месяцев на территории не только Московской области, но и Российской Федерации.

Изложенное выше свидетельствует об актуальности рассматриваемой проблемы. Цель статьи — теоретическая оценка эффективности применения вспучивающихся огнезащитных покрытий силовых кабелей каналов СБ атомных станций с водо-водяными реакторами в условиях пожара при одновременном воздействии различных режимов пожара и токовой нагрузки.

Для ее достижения были рассмотрены следующие температурные режимы пожара:

- стандартный, углеводородный и медленно развивающийся (тлеющий)<sup>1</sup>;
- реальный режим пожара в кабельном этаже АЭС с водо-водяными реакторами, в котором проходит, как минимум, два канала СБ.

В случаях вышеуказанных режимов проведен расчет температур наружной поверхности изоляции и вспучивающегося огнезащитного покрытия в зависимости от времени пожара.

### Теоретические основы

Решается сопряженная нестационарная задача теплоотдачи при нагреве кабелей СБ АЭС от воздействия пожара и токовой нагрузки.

Расчет динамики нагрева кабелей проводился для трех стандартных режимов пожара (стандартного, углеводородного и медленно развивающегося (тлеющего)) и реального режима пожара в кабельном этаже БПУ АЭС с водо-водяными реакторами, в которых проходят, как минимум, два канала без опасности.

Предполагаем одинаковую по периметру изоляции и длине кабеля плотность теплового потока, падающего на поверхность изоляции от газовой среды помещения.

В этом случае для определения распределения температур внутри многослойной изоляции токопроводящей жилы решается нестационарное одномерное уравнение теплопроводности [19]:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right), \quad (1)$$

где  $\rho$  — плотность материала, кг/м<sup>3</sup>;  
 $c$  — удельная теплоемкость материала, Дж/(кг·К);  
 $\tau$  — время, с;

<sup>1</sup> ГОСТ Р ЕН 1363-2-2014. Национальный стандарт Российской Федерации. Конструкции строительные. Испытания на огнестойкость. Альтернативные и дополнительные методы : введен 01.06.2015.

$y$  — координата, направленная по толщине материала, м;

$\lambda$  — коэффициент теплопроводности материала, Вт/(м·К);

$T$  — температура, К.

Уравнение (1) решается численным методом контрольных объемов [20].

Предполагается идеальный тепловой контакт между слоями изоляции, изготовленными из различных материалов, а также слоем огнезащитного состава, что также является наиболее опасным вариантом с точки зрения нагрева конструкции кабеля.

В случаях стандартных режимов пожара задаются граничные условия 3-го рода [19] в соответствии с данными нормативных документов<sup>1,2</sup>.

При стандартном режиме пожара к уравнению (1) граничные условия 3-го рода имеют вид:

- температура среды  $T_m$  изменяется в соответствии с кривой «стандартного» пожара:

$$T_m = 345 \lg(0,133\tau + 1) + T_0; \quad (2)$$

где  $\tau$  — время, с;  $T_0$  — начальная температура в помещении, К.

- коэффициент теплоотдачи от газовой среды к поверхности изоляции равен  $\alpha = 35$  Вт/(м<sup>2</sup>·К). При углеводородном режиме пожара граничные условия 3-го рода принимаются в виде:

- температура среды изменяется по формуле:

$$T_m = 1080 \left[ 1 - 0,325 e^{-0,167\tau} - 0,67 e^{-2,5\tau} \right] + 20; \quad (3)$$

- коэффициент теплоотдачи  $\alpha = 50$  Вт/(м<sup>2</sup>·К).

В случае медленно развивающегося (тлеющего) режима пожара:

- температура среды изменяется в соответствии со следующими выражениями:

при  $0 < \tau \leq 21$  мин:

$$T_m = 154\tau^{0,25} + 20; \quad (4)$$

при  $\tau > 21$  мин:

$$T_m = 345 \log_{10} (8(\tau - 20) + 1) + 20; \quad (5)$$

- коэффициент теплоотдачи  $\alpha = 35$  Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Для реального режима пожара температура в помещении определяется с использованием интегральной математической модели пожара [21].

<sup>2</sup> Национальный стандарт Российской Федерации. НСР ЕН 1991-1-2-2011. ЕВРОКОД 1: Воздействия на сооружения. Часть 1-2: Основные воздействия — Воздействия на сооружения при пожаре (1-я редакция). М. : ОАО «НИЦ «Строительство», 2011.

Среднеобъемная температура газовой среды в помещении пожара  $T_m$  находится из уравнения закона сохранения энергии и уравнения состояния [21]:

$$\frac{V}{k_m - 1} \frac{dp_m}{d\tau} = \eta \Psi Q_n^p + c_{pa} T_a G_a - c_{pm} T_m G_m - Q_\Sigma - Q_{пр}, \quad (6)$$

$$p_m = \rho_m R T_m, \quad (7)$$

где  $V$  — объем помещения, м<sup>3</sup>;

$k_m$  — показатель адиабаты газовой среды в помещении;

$p_m$  — среднеобъемное давление газовой среды, Па;

$\tau$  — время, с;

$\eta$  — полнота сгорания;

$\Psi$  — массовый расход продуктов газификации горючего материала, кг/с;

$Q_n^p$  — низшая рабочая теплота сгорания горючего материала, Дж/кг;

$c_{pa}, c_{pm}$  — удельные изобарные теплоемкости воздуха и газовой среды, Дж/(кг·К);

$T_a$  — температура наружного воздуха, К;

$G_a, G_m$  — массовые расходы поступающего воздуха и вытекающих наружу газов при естественном газообмене через открытые проемы, кг/с;

$Q_\Sigma = Q_c + Q_w + Q_f$  — суммарный тепловой поток, отводимый в ограждающие конструкции от газовой среды, Вт;

$Q_c, Q_w, Q_f$  — суммарные тепловые потоки, отводимые соответственно в потолок, стены и пол, Вт;

$Q_{пр}$  — тепловой поток, излучаемый через открытые проемы наружу, Вт;

$\rho_m$  — среднеобъемная плотность газовой среды, кг/м<sup>3</sup>;

$R$  — газовая постоянная, Дж/(кг·К).

Коэффициент теплоотдачи определяется в случае вертикальных цилиндров при свободном движении в неограниченном пространстве и повышенной температуре окружающей среды. Горизонтальное расположение электрического кабеля менее опасно для нагрева кабеля [1].

При реальном режиме пожара в случае вертикального расположения провода (при  $(GrPr)_m > 10^{10}$ ) [19]:

$$Nu = 0,15 (GrPr)_m^{1/3} \left( \frac{Pr_m}{Pr_w} \right)^{0,25}, \quad (8)$$

где  $Nu = \frac{\alpha L}{\lambda}$  — число Нуссельта;

$Gr = \beta g (T_m - T_w) L^3 / \nu^2$  — число Грасгофа;

$Pr$  — число Прандтля;

$\beta$  — коэффициент объемного расширения, 1/К;

$g$  — ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$T_w$  — температура наружной поверхности изоляции (или огнезащитного состава) токопроводящей жилы, К;

$\nu$  — коэффициент кинематической вязкости, м<sup>2</sup>/с;

$\lambda$  — коэффициент теплопроводности газовой среды помещения, Вт/(м·К);

$L$  — характерный размер при вертикальном расположении провода, м; индекс  $m$  означает, что теплофизические свойства берутся при температуре  $T_m$ , индекс  $w$  — при  $T_w$ .

Зависимость удельного сопротивления проводника (медь) от температуры определяется по формуле<sup>3</sup>:

$$\rho_o = \rho_o^* (1 + 0,0043(T_c - 20)), \quad (9)$$

где  $\rho_o$  — удельное электрическое сопротивление материала токопроводящей жилы при температуре токопроводящей жилы  $T_c$ , °С;

$\rho_o^* = 0,0175$  Ом·мм<sup>2</sup>/м — удельное электрическое сопротивление медной токопроводящей жилы при 20 °С.

Приведенные формулы (1)–(9) позволяют установить, через какое время перегрев изоляции проводника достигнет заданного критического значения.

### Исходные данные для проведения численного эксперимента

Рассматриваем силовую кабель ВВГнг(А)-LS 3х2,5 ТУ 16.К71-310-2001 изм. 4, используемый в каналах СБ АЭС с водо-водяными реакторами. Силовые кабели данного типа предназначены для передачи и распределения электрической энергии в стационарных установках при переменном и постоянном напряжении 1,0 кВ.

При реальном режиме пожара принимаем, что кабель находится в кабельном этаже АЭС с площадью пола 102 м<sup>2</sup> и высотой 3,1 м. Горючим материалом являются кабели НГ. Рассматриваем развитие реального пожара при открытых и закрытых дверях помещения.

Сила тока принималась равной 6 А (максимальная величина тока согласно ПУЭ).

Геометрические размеры и теплофизические свойства<sup>4, 5</sup> [22] материалов жилы и изоляции кабелей, а также сухого слоя вспучивающегося огнезащитного состава представлены в табл. 1.

<sup>3</sup> Электрик Инфо. URL: <http://elektrik.info/main/school/1654-elektricheskoe-soprotivlenie-i-ego-zavisimost-ot-temperatury.html>

<sup>4</sup> Теплопроводность металлов. URL: <https://prompriem.ru/metally/teploprovodnost.html>

<sup>5</sup> Теплопроводность пластиков и пластмасс, плотность пластмассы — физические свойства полимеров. URL: <http://thermalinfo.ru/svoystva-materialov/plastmassa-i-plastik/teploprovodnost-plastikov-i-plastmass-fizicheskie-svoystva-polimerov>

**Таблица 1.** Геометрические размеры и теплофизические свойства материалов жилы и изоляции кабелей, а также сухого слоя вспучивающегося огнезащитного состава

**Table 1.** Physical dimensions and thermophysical properties of the cable core and insulation materials, as well as the dry layer of the intumescent fire-retarding composition

Материал Material	Наружный диаметр, мм Outer diameter, mm	Плотность, кг/м <sup>3</sup> Density, kg/m <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К) Heat transfer coefficient, W/(m·K)	Удельная теплоемкость, Дж/(кг·К) Specific thermal capacity, J/(kg·K)
Жила кабеля (медь) Cable core (copper)	1,54	8900	392	397
Изоляция кабеля (ПВХ пластикат пониженной пожароопасности с низким дымо- и газовыделением) Cable insulation (low flammability PVC plasticate featuring low smoke and gas emissions)	5,0	1290	0,165	1680
Сухой слой вспучивающегося огнезащитного состава A dry layer of an intumescent fire-protection composition	6,0	1190	0,18	2000

Критические температуры изоляции кабеля, согласно ГОСТ Р МЭК 60724-2009 Национальный стандарт Российской Федерации «Предельные температуры электрических кабелей на номинальное напряжение 1 кВ (1,2 Кв) и 3 кВ (3,6 кВ) в условиях короткого замыкания», составляют 150–200 °С.

Деструкция изоляции из ПВХ пластиката происходит при нагревании выше 140 °С и сопровождается выделением хлористого водорода. Температура текучести полимера равна 150–160 °С, температура самовоспламенения — 400 °С<sup>5</sup>.

Время воздействия до достижения критических температур определяется нагревом слоев кабеля от газовой среды помещения пожара.

Температуры вспучивания огнезащитного состава принимались в диапазоне 180–250 °С. При этом процесс вспучивания не рассматривался, расчеты проводились для оценок времени его начала.

### Результаты и их обсуждение

Зависимости температур наружной поверхности изоляции и медной жилы кабеля от времени его работы в нормальных условиях при максимальной силе тока 6 А представлены на рис. 1.

Из рис. 1 видно, что в отсутствие пожара температура наружной поверхности изоляции рассматриваемого кабеля повышается на 8 °С и остается постоянной по времени.

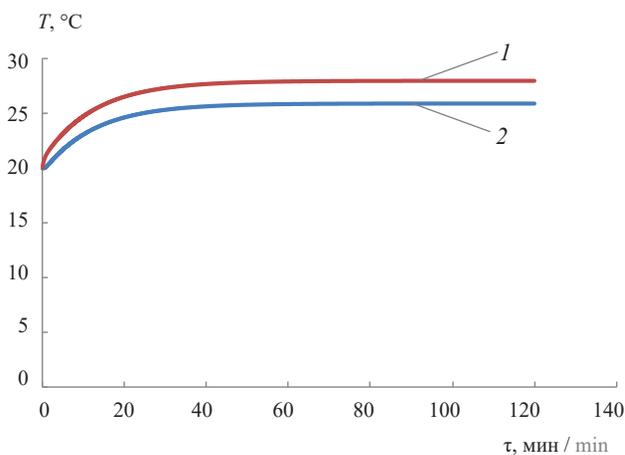
Зависимости температуры наружных поверхностей изоляции в отсутствие вспучивающегося огнезащитного состава от времени пожара показаны на рис. 2.

На рис. 3 приведены зависимости температуры наружных поверхностей изоляции и сухого слоя вспучивающегося огнезащитного состава от времени пожара.

Время от начала пожара до достижения критических температур изоляции без огнезащиты и с нанесенным огнезащитным составом представлено в табл. 2.

Температуры изоляции и наружной поверхности огнезащитного слоя при достижении критических температур изоляции кабеля приведены в табл. 3.

В табл. 3 выделены ячейки с температурой наружной поверхности огнезащитного слоя, большей минимальной температуры вспучивания 180 °С.

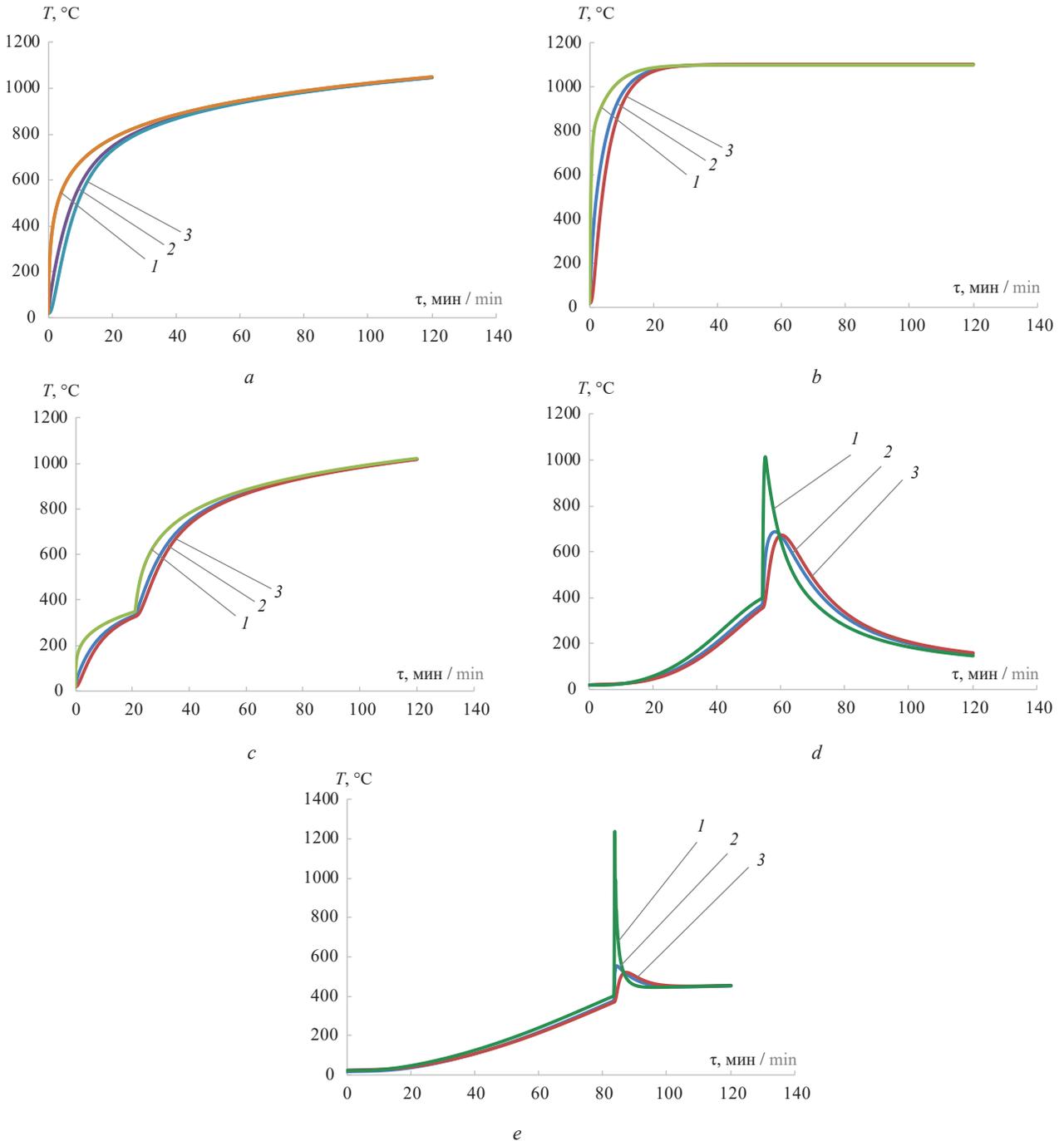


**Рис. 1.** Зависимости характерных температур в кабеле от времени его работы в нормальных условиях при максимальной силе тока: 1 — температура наружной поверхности изоляции; 2 — температура медной жилы кабеля

**Fig. 1.** Dependencies of characteristic temperatures in the cable on the time of its operation under normal conditions at maximal current intensity: 1 — temperature of the outer surface of the insulation; 2 — temperature of the copper cable core

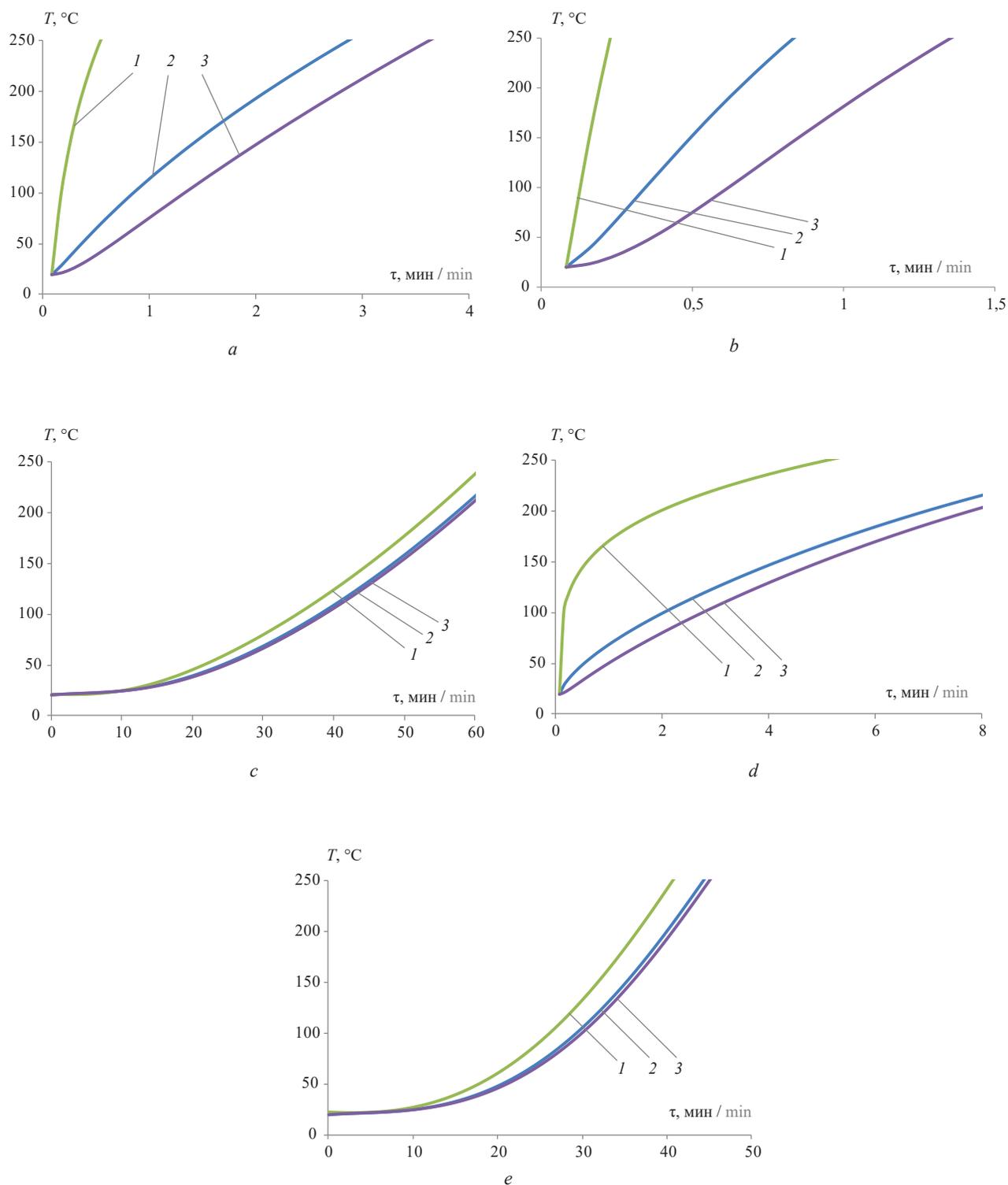
Температуры наружной поверхности огнезащитного состава (зеленый цвет) при температуре наружной поверхности изоляции 120 °С (1), 150 °С (2)

и 200 °С (3), а также время ее достижения (красный цвет) при рассматриваемых режимах пожара приведены на рис. 4.



**Рис. 2.** Зависимости характерных температур в кабеле без огнезащиты от времени его работы в условиях пожара при максимальной силе тока 6 А: *a* — стандартный пожар; *b* — углеводородный пожар; *c* — тлеющий пожар; *d* — реальный пожар в кабельном этаже при горении кабелей НГ (проемы открыты); *e* — реальный пожар в кабельном этаже при горении кабелей НГ (проемы закрыты); 1 — среднеобъемная температура; 2 — температура наружной поверхности изоляции; 3 — температура внутренней поверхности изоляции

**Fig. 2.** Dependencies of characteristic temperatures in the cable without any fire protection on the time of its operation under fire conditions at the maximal intensity of 6 А: *a* — a standard fire; *b* — a hydrocarbon fire; *c* — a smoldering fire; *d* — a real fire on the cable floor in case of slow-burning cables on fire (if openings are open); *e* — a real fire on the cable floor in case of slow-burning cables on fire (if openings are closed); 1 — the average volumetric temperature; 2 — the temperature of the outer surface of the insulation; 3 — the temperature of the internal surface of the insulation



**Рис. 3.** Зависимости характерных температур в кабеле, покрытом вспучивающейся огнезащитной краской, от времени его работы в условиях пожара при максимальной силе тока: *a* — стандартный пожар; *b* — углеводородный пожар; *c* — тлеющий пожар; *d* — реальный пожар в кабельном этаже при горении кабелей НГ (проемы открыты); *e* — реальный пожар в кабельном этаже при горении кабелей НГ (проемы закрыты): 1 — среднеобъемная температура; 2 — температура наружной поверхности огнезащитного состава; 3 — температура наружной поверхности изоляции

**Fig. 3.** Dependencies of characteristic temperatures in the cable covered with intumescent fire protection paint on the time of its operation under fire conditions at the maximal current intensity of 6 A: *a* — a standard fire; *b* — a hydrocarbon fire; *c* — a smoldering fire; *d* — a real fire on the cable floor in case of slow-burning cables on fire (if openings are open); *e* — a real fire on the cable floor in case of slow-burning cables on fire (if openings are closed): 1 — the average volumetric temperature; 2 — the temperature of the outer surface of the fire protection composition; 3 — the temperature of the internal surface of the insulation

**Таблица 2.** Время, мин, от начала пожара до достижения критических температур изоляции и жилы кабеля без огнезащиты и с использованием огнезащитного вспучивающегося состава

**Table 2.** The time period, in minutes, from the initial fire start to the critical temperatures of the insulation and the core if neither has any fire protection/if both have fire protection in the form of an intumescent composition

Режим пожара Mode of fire		Температура наружной поверхности изоляции без огнезащиты, °C The temperature of the outer surface of the insulation that has no fire protection, °C				Температура наружной поверхности изоляции с использованием огнезащитного вспучивающегося состава, °C The temperature of the outer surface of the insulation that has fire protection in the form of an intumescent composition, °C		
		120	150	200	400*	120	150	200
Стандартный Standard		1,0	1,3	1,95	5,2	1,6	2,08	2,83
Стандартный углеводородный Standard hydrocarbon		0,34	0,43	0,6	1,5	0,7	0,92	1,08
Стандартный медленно развивающийся (тлеющий) Standard slow (smoldering)		2,53	3,7	6,2	23,0	3,6	5,0	7,75
Реальный Real	Проемы открыты Openings are open	41,9	47,9	56,8	83,5	43,3	49,25	58,17
	Проемы закрыты Openings are closed	31,3	34,7	39,5	54,4	32,5	35,83	40,67

\*Температура самовоспламенения изоляции.

\*Insulation self-ignition temperature.

Из табл. 3 и рис. 4 видно, что при температуре изоляции:

- 120 °C (начало деструкции материала изоляции) только при углеводородном пожаре происходит вспучивание огнезащитного покрытия;
- 150 °C (начало плавления материала изоляции) наблюдается вспучивание огнезащитного по-

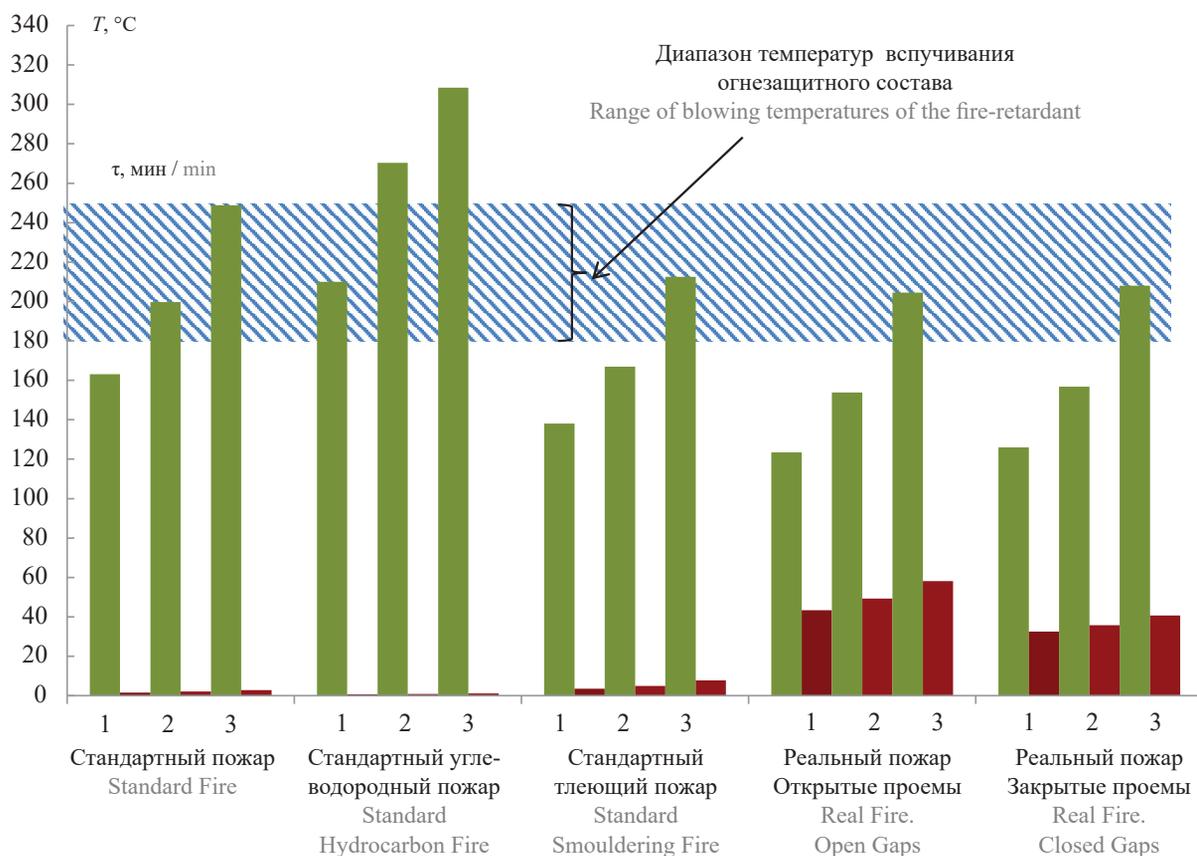
- 200 °C (температура активной текучести материала изоляции) во всех рассматриваемых режимах происходит вспучивание.

При реальных режимах пожара время плавления изоляции до момента вспучивания огнезащит-

**Таблица 3.** Температуры, °C, наружной поверхности огнезащитного слоя при достижении критических температур изоляции

**Table 3.** Temperatures, in °C, of the outer surface of the fire protection layer at the critical temperatures of the insulation

Критические температуры изоляции, °C Critical temperatures of the insulation, °C		120	150	200
Стандартный Standard fire		163,1	199,8	248,9
Стандартный углеводородный Standard hydrocarbon fire		210	270,4	308,5
Стандартный медленно развивающийся (тлеющий) Standard slow (smoldering) fire		138,1	167,0	212,5
Реальный Real fire	Проемы открыты If openings are open	123,4	153,8	204,5
	Проемы закрыты If openings are closed	126,0	156,8	208,1



**Рис. 4.** Температуры наружной поверхности огнезащитного состава (зеленый цвет) при температуре наружной поверхности изоляции 120 °C (1), 150 °C (2) и 200 °C (3), а также время ее достижения (красный цвет) при всех рассматриваемых режимах пожара

**Fig. 4.** Temperatures of the outer surface of the fire protection composition (in green color) at the temperature of the outer surface of the insulation equal to 120 °C (1), 150 °C (2), and 200 °C (3), as well as the time needed for the temperature to reach these values (in red color) in case of all modes of fire analyzed in the article

ного покрытия (минимальная температура вспучивания 180 °C) равно:

- пожар в помещении (проемы открыты)  $\tau_{пл} = 4,75$  мин;
- пожар в помещении (проемы закрыты)  $\tau_{пл} = 3,0$  мин.

При реальных режимах пожара время от начала деструкции материала изоляции до момента плавления изоляции (минимальная температура плавления изоляции 150 °C) составляет:

- пожар в помещении (проемы открыты)  $\tau_d = 6,0$  мин;
- пожар в помещении (проемы закрыты)  $\tau_d = 3,33$  мин.

При стандартном медленно развивающемся (тлеющем) режиме пожара:

- время от начала деструкции материала изоляции до момента плавления изоляции (минимальная температура плавления изоляции 150 °C) равно  $\tau_d = 1,42$  мин;
- время плавления изоляции до момента вспучивания огнезащитного покрытия (минимальная температура вспучивания 180 °C) —  $\tau_{пл} = 1,5$  мин.

При стандартном режиме пожара:

- время от начала деструкции материала изоляции до момента плавления изоляции (минимальная температура плавления изоляции 150 °C) равно  $\tau_d = 0,42$  мин;
  - время плавления изоляции до момента вспучивания огнезащитного покрытия (минимальная температура вспучивания 180 °C) —  $\tau_{пл} = 0,5$  мин.
- Таким образом, при минимальной температуре вспучивания 180 °C:
- максимальное время от начала деструкции материала изоляции до момента плавления изоляции составляет 6,0 мин;
  - максимальное время процесса плавления изоляции — 4,75 мин.

## Выводы

Экспериментальное или теоретическое обоснование параметров вспучивающихся огнезащитных составов с использованием стандартных режимов пожара может привести к потере изоляционными

материалами силовых кабелей каналов СБ АЭС эксплуатационных свойств при реальном пожаре.

Поэтому необходимо научное обоснование эффективности применения огнезащитных составов для

вышеуказанных кабелей с учетом реальных режимов пожара, особенно в помещениях, где, согласно особенностям технологического процесса, сходятся все каналы СБ.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лебедченко О.С., Зыков В.И., Пузач С.В. Оценка функционирования сигнальных кабелей каналов безопасности атомных станций в условиях пожара // Пожаровзрывобезопасность/ Fire and Explosion Safety. 2020. Т. 29. № 4. С. 51–58. DOI: 10.22227/PVB.2020.29.04.51-58
2. Лебедченко О.С. Оценка обеспечения корректной работы кабелей каналов безопасности атомных станций в условиях пожара // Ройтмановские чтения : сб. мат. VIII науч.-практ. конф. Москва, 05 марта 2020 г. / под ред. Б.Б. Серкова. М. : Академия ГПС МЧС России, 2020. С. 72–75.
3. Зыков В.И., Анисимов Ю.Н., Малащенко Г.Н. Противопожарная защита электрических сетей от токов утечки // Снижение риска гибели людей при пожарах : мат. XVIII науч.-практ. конф. Ч. 1. М. : ВНИИПО, 2003. С. 182–185.
4. Смелков Г.И. Пожарная безопасность электроустановок. М. : ООО «Кабель», 2009. 328 с.
5. Мещанов Г.И., Холодный С.Д. Анализ особенностей горения полимерной изоляции кабелей при их групповой прокладке // Кабели и провода. 2010. № 6 (325). С. 10–14.
6. Benchmark analysis for condition monitoring test techniques of aged low voltage cables in nuclear power plants. Final results of a coordinated research project. IAEA-TECDOC-1825. Vienna : International Atomic Energy Agency, 2017.
7. Cable ageing in nuclear power plants. Report on the first and second terms (2012–2017) of the NEA Cable Ageing Data and Knowledge (CADAK) project. NEA/CSNI/R(2018)8. Nuclear Energy Agency, 2018. 58 p. URL: [https://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=NEA/CSNI/R\(2018\)8&docLanguage=En](https://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=NEA/CSNI/R(2018)8&docLanguage=En)
8. Csanyi E. Internal electrical systems within nuclear power plant stations (power sources). Electrical Engineering Portal. 2019. URL: <https://electrical-engineering-portal.com/electrical-systems-nuclear-power-plant-stations>
9. Finger V. Achievements in the field of testing electrical equipment for fire resistance // Journal of electrical insulation EEE. 1986. Vol. 2. No. 4. P. 128.
10. Cable research in light water reactor related to mechanisms of cable degradation: Understanding of role of material type, history, and environment, as well as accelerated testing limitations. US DOE/NRC/EPRI, 2013.
11. Assessing and managing cable ageing in nuclear power plants. NP-T-3.6. Vienna : International Atomic Energy Agency, 2012. URL: [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1554\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1554_web.pdf)
12. SAND 2013-2388 NPP. Cable materials: review of qualification and currently available ageing data for margin assessments in cable performance, Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM, 2013. 144 p.
13. SAND 2015-1794. Submerged medium voltage cable systems at nuclear power plants: a review of research efforts relevant to ageing mechanisms and condition monitoring. 2015.
14. 13395-REP-00001. Ageing management of cable in nuclear generating stations. 2012.
15. Khalyasmaa A.I., Valiev R.T., Bolgov V.A. The methodology of risk evaluation for power equipment technical state assessment // 2017 15th International Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA). 2017. Pp. 493–496. DOI: 10.1109/ELMA.2017.7955494
16. Ross T.J. Fuzzy logic with engineering applications. 4th ed. Wiley, 2016. 580 p.
17. Зыков В.И., Козлова Ю.С., Крупин М.В. Определение уровня пожарной опасности воздушных линий электропередачи напряжением до 1000 В // Пожары и чрезвычайные ситуации: предупреждение, ликвидация. 2021. № 1. С. 34–39. DOI: 10.25257/FE.2021.1.34-39
18. Пехотиков В.А., Болодьян И.А., Рябиков А.И., Грузинова О.И. Пожар на останкинской телебашне в 2000 году. Хроника событий // Пожарная безопасность. 2017. № 4. С. 108–112.
19. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. М. : Атомиздат, 1979. 416 с.
20. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. М. : Энергоатомиздат, 1984. 152 с.
21. Пузач С.В. Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности : монография. М. : Академия ГПС МЧС России, 2005. 336 с.

22. Кузнецов Е.В., Прохорова И.П., Файзуллина Д.А. Альбом технологических схем производства полимеров и пластических масс на их основе. М. : Изд-во «Химия», 1976. 108 с.

## REFERENCES

1. Lebedchenko O.S., Zykov V.I., Puzach S.V. Assessment of operation of safety channel signal cables at nuclear power plants under fire conditions. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2020; 29(4):51-58. DOI: 10.22227/PVB.2020.29.04.51-58 (rus).
2. Lebedchenko O.S. Assessment of ensuring the correct operation of safety channel cables of nuclear power plants in a fire. *Collection of materials of the VIII Scientific and practical conference "Roitman readings". Moscow, 05 March 2020*. Moscow, Academy of the State Fire Service Emercom of Russia, 2020; 72-75. (rus).
3. Zykov V.I., Anisimov Yu.N., Malashenkov G.N. Fire protection of electrical networks from leakage currents. *Reducing the risk of death in fires : Materials of the XVIII scientific and practical conference. Part I*. Moscow, VNIPO Publ., 2003; 182-185. (rus.).
4. Smelkov G.I. *Fire safety of electrical installations*. Moscow, LLC "Cable", 2009; 328. (rus).
5. Meshchanov G.I., Kholodnyy S.D. Analysis of the combustion characteristics of polymer insulation of cables during their group laying. *Cables and wires*. 2010; 6(325):10-14. (rus.).
6. *Benchmark analysis for condition monitoring test techniques of aged low voltage cables in nuclear power plants. Final Results of a Coordinated Research Project. IAEA-TECDOC-1825*. Vienna, International Atomic Energy Agency, 2017.
7. *Cable ageing in nuclear power plants. Report on the first and second terms (2012–2017) of the NEA Cable Ageing Data and Knowledge (CADAK) Project. NEA/CSNI/R(2018)8*. Nuclear Energy Agency, 2018; 58. URL: [https://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=NEA/CSNI/R\(2018\)8&docLanguage=En](https://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=NEA/CSNI/R(2018)8&docLanguage=En)
8. Csanyi E. Internal electrical systems within nuclear power plant stations (power sources). *Electrical Engineering Portal*. 2019. URL: <https://electrical-engineering-portal.com/electrical-systems-nuclear-power-plant-stations>
9. Finger V. Achievements in the field of testing electrical equipment for fire resistance. *Journal of electrical insulation EEE*. 1986; 2(4):128.
10. *Cable research in light water reactor related to mechanisms of cable degradation: Understanding of role of material type, history, and environment, as well as accelerated testing limitations*. US DOE/NRC/EPRI, 2013.
11. *Assessing and managing cable ageing in nuclear power plants. NP-T-3.6*. Vienna, International Atomic Energy Agency, 2012. URL: [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1554\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1554_web.pdf)
12. SAND 2013-2388. NPP cable materials: review of qualification and currently available ageing data for margin assessments in cable performance, Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM, 2013; 144.
13. SAND 2015-1794. Submerged medium voltage cable systems at nuclear power plants: a review of research efforts relevant to ageing mechanisms and condition monitoring. 2015.
14. 13395-REP-00001. Ageing Management of Cable in Nuclear Generating Stations. 2012.
15. Khalyasmaa A.I., Valiev R.T., Bolgov V.A. The methodology of risk evaluation for power equipment technical state assessment. *2017 15th International Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA)*. 2017; 493-496. DOI: 10.1109/ELMA.2017.7955494
16. Ross T.J. *Fuzzy logic with engineering applications*. 4th Ed. Wiley, 2016; 580.
17. Zykov V.I., Kozlova Yu.S., Krupin M.V. Fire hazard level determination for overhead power lines with a voltage of up to 1000v. *Fires and emergencies: prevention, elimination*. 2021; 1:34-39. DOI: 10.25257/FE.2021.1.34-39 (rus).
18. Pekhotikov V.A., Bolodyan I.A., Ryabikov A.I., Gruzinova O.I. Fire on Ostankino TV tower in 2000. Chronicle of events. *Pozharnaya bezopasnost'/Fire safety*. 2017; 4:108-112. (rus).
19. Kutateladze S.S. *Fundamentals of heat transfer theory*. Moscow, Atomizdat Publ., 1979; 416. (rus).
20. Patankar S. *Numerical methods for solving problems of heat transfer and fluid dynamics*. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1984; 152. (rus).
21. Puzach S.V. *Methods for calculating heat and mass transfer in a fire in a room and their application in solving practical problems of fire and explosion safety : monograph*. Moscow, Academy of GPS of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2005; 336. (rus).

22. Kuznetsov E.V., Prokhorova I.P., Fayzullina D.A. *Album of technological schemes for the production of polymers and plastic masses based on them*. Moscow, Publishing House "Chemistry", 1976; 108. (rus).

*Поступала 11.05.2021, после доработки 02.06.2021; принята к публикации 30.06.2021*  
*Received January May 11, 2021; Received in revised form February June 2, 2021;*  
*Accepted June 30, 2021*

### Информация об авторах

**ЛЕБЕДЧЕНКО Ольга Сергеевна**, канд. юр. наук, доцент, доцент кафедры инженерной теплофизики и гидравлики, Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, г. Москва, Российская Федерация; РИНЦ ID: 770128; ORCID: 0000-0001-5375-2167; e-mail: ol-26@mail.ru

**ПУЗАЧ Сергей Викторович**, д-р техн. наук, профессор, начальник кафедры инженерной теплофизики и гидравлики, заслуженный деятель науки РФ, Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, г. Москва, Российская Федерация; РИНЦ ID: 18265; Scopus Author ID: 7003537835; ResearcherID U-2907-2019; ORCID: 0000-0001-7234-1339; e-mail: puzachsv@mail.ru

**ЗЫКОВ Владимир Иванович**, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры специальной электротехники автоматизированных систем и связи, лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники, заслуженный работник высшей школы РФ, Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, г. Москва, Российская Федерация; РИНЦ ID: 328773; ORCID: 0000-0002-1568-5167; zikov01@mail.ru

### Information about the authors

**Olga S. LEBEDCHENKO**, Cand. Sci. (Juridical), Assistant Professor, Assistant Professor of Thermal Physics and Hydraulic Department, the State Fire Academy of the Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters, Moscow, Russian Federation; ID RISC: 770128; ORCID: 0000-0001-5375-2167; e-mail: ol-26@mail.ru

**Sergey V. PUZACH**, Cand. Sci. (Eng.) Professor, Head of Thermal Physics and Hydraulic Department, Honoured Scientist of the Russian Federation, the State Fire Academy of the Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters, Moscow, Russian Federation; ID RISC: 18265; Scopus Author ID: 7003537835; ResearcherID U-2907-2019; ORCID: 0000-0001-7234-1339; e-mail: puzachsv@mail.ru

**Vladimir I. Zikov**, Cand. Sci. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Special Electrical Engineering of Automated Systems and Communication, Laureate of the RF Government Prize in Science and Technology, Honored Worker of Higher Education of the Russian Federation, the State Fire Academy of the Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters, Moscow, Russian Federation; ID RISC: 328773; ORCID: 0000-0002-1568-5167; zikov01@mail.ru

## Интенсивность движения людских и транспортных потоков (обзор)

© В.В. Холщевников<sup>1, 2</sup>✉, А.П. Парфененко<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4)

<sup>2</sup> Научно-исследовательский институт — Республиканский исследовательский научно-консультационный центр экспертизы (123317, г. Москва, ул. Антонова-Овсеенко, 13, стр. 1)

<sup>3</sup> Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26)

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** В статье дано подробное описание понятий интенсивности людского и транспортного потоков. Значения интенсивности движения соответствуют пропускной способности пути шириной 1 м. Также дано описание плотности и скорости потока, определяющих интенсивность движения. Показано, что плотность потока — это технический параметр, характеризующий свободу движения людей в потоке. Влияние состояния людей на скорость движения людского потока определяется с помощью коэффициентов условий движения. Чтобы подчеркнуть различие областей применения этих понятий при разработке методологии оптимизации коммуникационных путей, в статье были рассмотрены показатели величина людского потока и пропускная способность сечения пути, зависящие от ширины потока и ширины сечения пути. В теории людских потоков на основании статистического анализа эмпирических данных были установлены закономерности связи между параметрами людского потока, основанные на законах психофизики, математические ожидания которых описаны элементарной случайной функцией, т.е. людской поток — стохастический процесс.

**Предмет исследования.** Интенсивность движения людского и транспортного потоков в зависимости от различных параметров.

**Цели.** Показать и выполнить поиск объяснений в различиях между интенсивностями людского и транспортного потоков.

**Материалы и методы.** Сбор и анализ научной литературы в области движения людских и транспортных потоков.

**Результаты.** Показано, что транспортный поток является самостоятельной системой и определяется неопределенностью, конечностью и зависимостью расстояния от времени. Величиной, связывающей все параметры, характеризующие процесс движения людей, является пропускная способность пути, а интенсивность движения определяется как произведение плотности и скорости потока.

**Выводы.** Установленная зависимость между параметрами людского потока легла в основу нормирования размеров эвакуационных путей и выходов в зданиях различного назначения. В современной методологии при оценке расчетных величин пожарного риска установленные закономерности использованы для моделирования процесса эвакуации людей при проектировании и эксплуатации зданий и сооружений, а результаты многолетних исследований послужили основой формирования статистической базы данных при разработке строительных норм и правил.

**Ключевые слова:** модель; схема тела; закономерность; участок пути; пропускная способность, величина потока; вероятность

**Для цитирования:** Холщевников В.В., Парфененко А.П. Интенсивность движения людских и транспортных потоков // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2021. Т. 30. № 4. С. 48–64. DOI: 10.22227/0869-7493.2021.30.04.48-64

✉ Холщевников Валерий Васильевич, e-mail: reglament2004@mail.ru

## The intensity of human flows and traffic streams (a review)

© Valeriy V. Kholshchevnikov<sup>1, 2</sup>✉, Aleksander P. Parfenenko<sup>3</sup>

<sup>1</sup> The State Fire Academy of the Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation)

<sup>2</sup> Scientific Research Institute — Federal Research Centre for Projects Evaluation and Consulting Services (Antonova-Ovseenko St., 13, Bldg. 1, Moscow, 123317, Russian Federation)

<sup>3</sup> Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (Yaroslavl'skoe Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation)

**ABSTRACT**

**Introduction.** The article offers a detailed description of the notions of intensity of human flows and traffic streams. The values of their intensity are determined by the capacity of a road that is one meter wide. The article also offers a description of the flow/stream density and speed that determine their intensity. The co-authors have demonstrated that the flow/stream density is a technical parameter that characterizes the mobility of humans in a flow. The influence of people on the human flow speed is identified with the help of coefficients of motion conditions. To distinguish between the areas of application of these two notions in the process of developing a route optimization methodology, the co-authors addressed the properties of human flows and the road section capacity that depend on the flow width and the road section width. The theory of human flows employs the statistical analysis of human flows to identify the relationship between the parameters of a human flow, based on regularities of psychophysics, and its mathematical anticipations are described by an elementary stochastic function, which means that a human flow is a stochastic process.

**Subject of research.** The intensity of interdependent human flows and traffic streams.

**Goals.** The purpose of the article is to identify and demonstrate explanations of differences between the intensity of human flows and traffic streams.

**Materials and methods.** Collecting and analyzing the research literature focused on human flows and traffic streams.

**Results.** The co-authors have shown that a traffic stream is an independent system that is determined by uncertainty, finitude, and dependence of distance on time. The value, that ties all the parameters, that characterize the process of human motion, is the road capacity, while the motion intensity is defined as the product of density times speed.

**Conclusions.** The identified dependence between the human flow parameters serves as the basis for standardizing different escape routes and exists from buildings performing different functions. The currently used methodology applies the regularities thus identified to simulate human evacuation processes in the course of design and operation of buildings and structures in order to assess the value of the fire risk, while the results of multiannual research projects are contributed to statistical databases used to develop construction rules and regulations.

**Keywords:** model; body scheme; regularity; route section; capacity; flow size; probability

**For citation:** Kholshchevnikov V.V., Parfenenko A.P. The intensity of human flows and traffic streams (a review). *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2021; 30(4):48-64. DOI: 10.22227/0869-7493.2021.30.04.48-64 (rus).

✉ Valeriy Vasilyevich Kholshchevnikov, e-mail: reglament2004@mail.ru

**Предисловие**

Осенью прошлого года один из авторов настоящей статьи получил следующее предложение: «Dear V.V. Kholshchevnikov, Special Issue on “Traffic Engineering” for You...», которое в переводе на русский язык звучит таким образом: «Дорогой В.В. Холшевников, специальный выпуск на «транспортной разработке» для Вас...».

Адресат был тронут таким вниманием прежде всего потому, что, являясь автором довольно многочисленных публикаций в широкой печати по теории людских потоков, а также автором открытия закономерностей связи между их параметрами, он никогда не акцентировал своего внимания на транспортных потоках.

Из этого следует, что прежде, чем сделать такое предложение, его авторы, по-видимому, должны были углубиться в теоретические рассуждения адресата, в ходе которых он обращался к математической теории транспортных потоков, но вроде бы никогда не использовал прямой аналогии с ними. По его мнению, это было бы некорректно. Правда, до тех пор, пока второму автору настоящей статьи не удалось открыть основополагающую для теории людских потоков роль модели схемы тела человека. Однако эта модель представляет собой лишь психо-

физиологический коррелят системного принципа — согласованного оптимума, которым пользуется организм теплокровного животного для выживания в окружающей среде и который был использован при установлении закономерностей движения людских потоков.

После сделанного предложения авторам настоящей статьи и самим стало весьма интересно выяснить, как же повлияли положения математической теории транспортных потоков на практику нормирования людских и транспортных потоков.

Результатом этих изысканий и стала настоящая статья.

**К истории вопроса**

Понятие «интенсивность движения» применительно к людским потокам впервые было введено В.М. Предтеченским [1] при описании вариантов изменения значений параметров потока в результате его перехода через границу смежных участков пути: с участка  $i$ , имеющего ширину  $\delta_{ij}$ , на участок  $i + 1$  шириной  $\delta_{(i+1)j}$  того же ( $j$ -го) или иного вида пути (рис. 1).

Согласно [1], величиной, связывающей все параметры, характеризующие процесс движения, т.е. ширину  $\delta$  (м) и длину  $l$  (м) пути, плотность потока

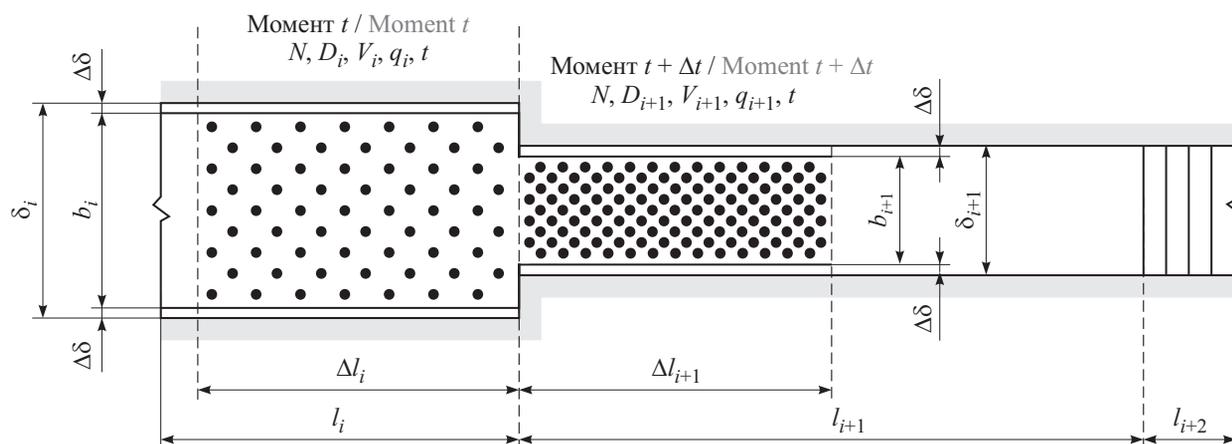


Рис. 1. Переход людского потока через границу смежных участков пути

Fig. 1. A human flow trespassing the boundary between adjacent route sections

$D$  ( $\text{м}^2/\text{м}^2$ ) и скорость его движения  $V$  ( $\text{м}/\text{мин}$ ), является **пропускная способность пути**  $Q$  ( $\text{м}^2/\text{мин}$ ). Пропускной способностью пути или его элемента (горизонтального участка, проема или лестницы) называется количество людей, проходящих в единицу времени через **сечение** элемента пути:

$$Q = DV\delta, \quad (1)$$

где  $D$  — плотность потока, выраженная площадью, занимаемой людьми, отнесенной к единице площади пути,  $\text{м}^2/\text{м}^2$ .

Пропускная способность элемента пути, отнесенная к единице его ширины, может быть названа **удельной пропускной способностью**  $q$  ( $\text{м}/\text{мин}$ ):

$$q = DV. \quad (2)$$

В результате сопоставительного анализа рассмотренных вариантов было установлено, что имеет место пропорциональная зависимость между шириной смежных элементов пути и удельными пропускными способностями:

$$q_{i+1} \delta_{i+1} = q_i \delta_i,$$

а не плотностями, как принято в рекомендациях ЦНИИПО [1].

В соответствии с [2] интенсивность движения  $q$  определяется как **произведение плотности и скорости**:

$$q = DV,$$

так как значения  $q$ , не зависящие от ширины пути, характеризуют кинетику процесса движения людского потока. Значения интенсивности движения соответствуют пропускной способности пути шириной 1 м [2].

Ссылка на кинетику не компенсирует отсутствия содержательного объяснения данного параметра людского потока. Поскольку слово «кинетики»

происходит от греческого *kinetikos* — «приводящий в движение», вместо объяснения имеем фактически тавтологию.

### Поиск объяснений

Поиск содержательного объяснения заставляет обратиться к рассмотрению параметров, которые определяют интенсивность движения. Это — плотность  $D$  и скорость  $V$  потока.

**Плотность потока** — технический параметр, характеризующий свободу движения людей в потоке. Впервые этот параметр встречается в исследованиях Института архитектуры Всероссийской академии художеств, описанных С.В. Беляевым: «...при массовой эвакуации плотность потока служит тем основным признаком, от которого зависят пропускная способность и скорость эвакуационного движения, а в связи с этими данными и время эвакуации» [3, с. 21].

При описании структуры людского потока в виде движения рядов «людей одного за другим» («элементарных потоков» [4, с. 6]) С.В. Беляев отметил, что «скорость движения... зависит от плотности эвакуационного потока или от величины участка, приходящегося на одного человека по длине потока» (рис. 2) [3, с. 20].

«Скорость движения в минуту определяется произведением числа шагов на амплитуду шага. ... Амплитуда шага **при свободной ходьбе, не нога в ногу**, связана с величиной участка по длине потока и выражается разностью между этой величиной и длиной ступни, составляющей в среднем 0,25 м» [2, с. 20].

«Переходя к вопросу о **пропускной способности**, следует иметь в виду, что последняя представляет собой частное от деления скорости движения на среднюю длину участка, приходящегося на одного человека, и поэтому величина ее зависит

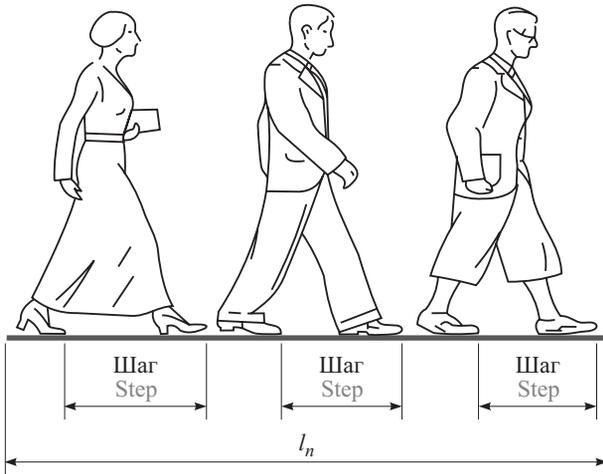


Рис. 2. Участок длиной  $l_n$ , занимаемый эвакуационным (элементарным) потоком [3, рис. 22]

Fig. 2. The route section that has length  $l_n$ , occupied by the evacuation (elementary) flow [3, Fig. 22]

в каждом конкретном случае от двух указанных величин» [4, с. 11].

По мнению С.В. Беляева, «с большей наглядностью та же зависимость может быть выражена в графической форме» [3, с. 22]. На рис. 3 приведен использовавшийся им на первых этапах исследований график влияния плотности потока на скорость его движения. Такое выражение плотности, как на графике, было названо В.М. Предтеченским [1] **линейной плотностью людских потоков  $D_l$**  (м/чел.):

$$D_l = l_n / N. \quad (3)$$

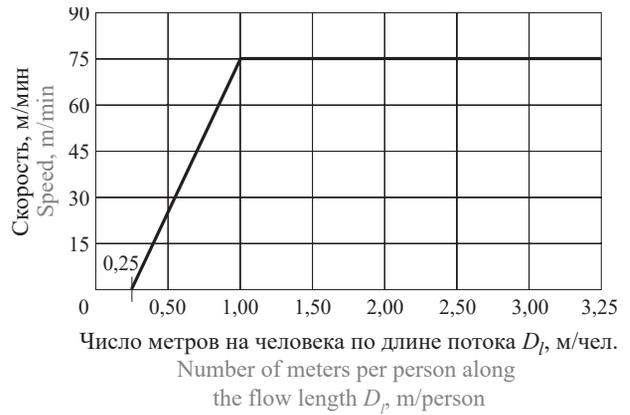


Рис. 3. Влияние плотности эвакуационного потока на скорость его движения [3, рис. 22]

Fig. 3. The influence of the density of an evacuation flow on its speed [3, Fig. 22]

где  $l_n$  — длина участка, занимаемого потоком, м;  $N$  — количество человек в потоке.

Аналогичную демонстрацию соотношения между скоростью и плотностью людского потока можно обнаружить и в зарубежных, более поздних, публикациях [5] (рис. 4).

Однако В.М. Предтеченский предпочел иной способ определения плотности потока, использованный к тому времени в многочисленных сериях натуральных наблюдений, проведенных ЦНИИПО МВД СССР, и описанный А.И. Милинским [6]:

$$D_f = \sum f / (\delta_n l_n), \quad (4)$$

где  $D_f$  — плотность потока, м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>;

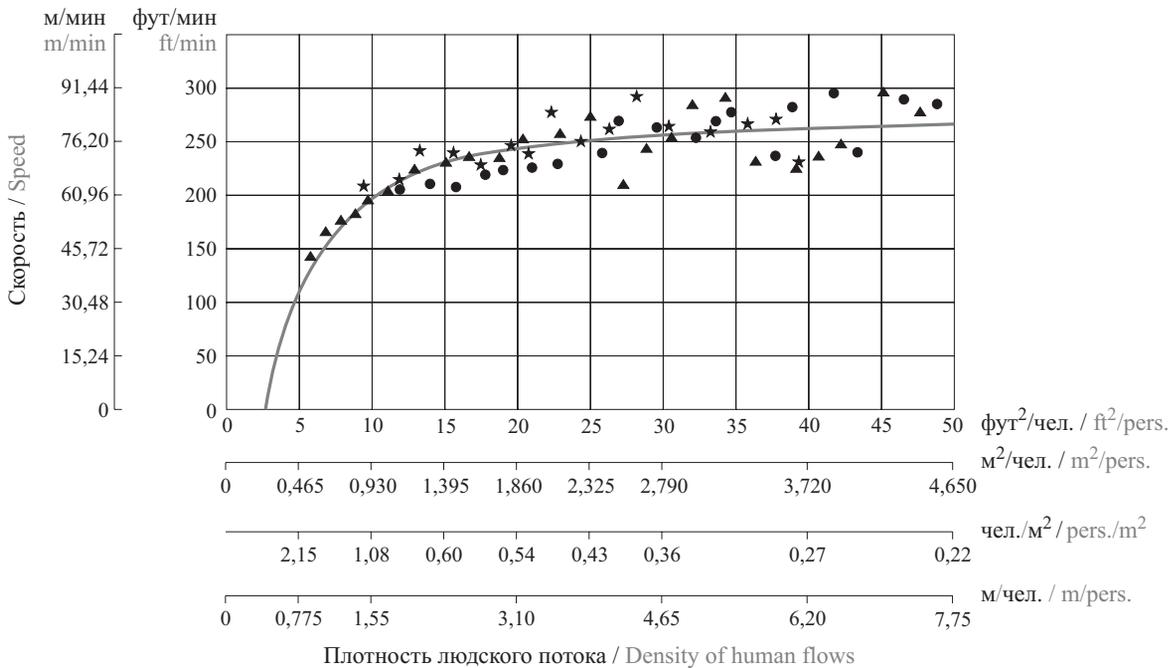
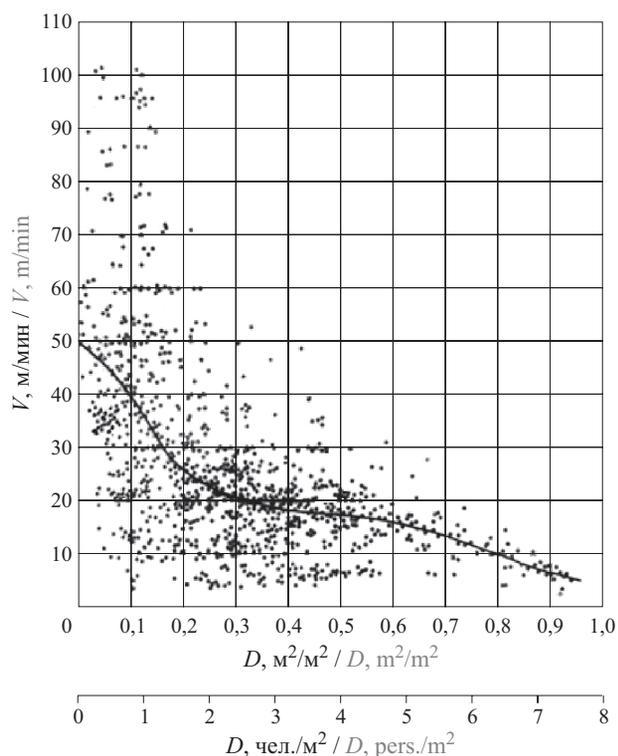


Рис. 4. Соотношение между скоростью и плотностью людского потока по данным J.J. Fruin [5]

Fig. 4. The relationship between the speed and density of a human flow according to J.J. Fruin [5]



**Рис. 5.** Результаты 1033 замеров скоростей на горизонтальных путях в театральном зрелищных зданиях; кривая построена по средним, определенным простейшим способом — методом медиан [6]

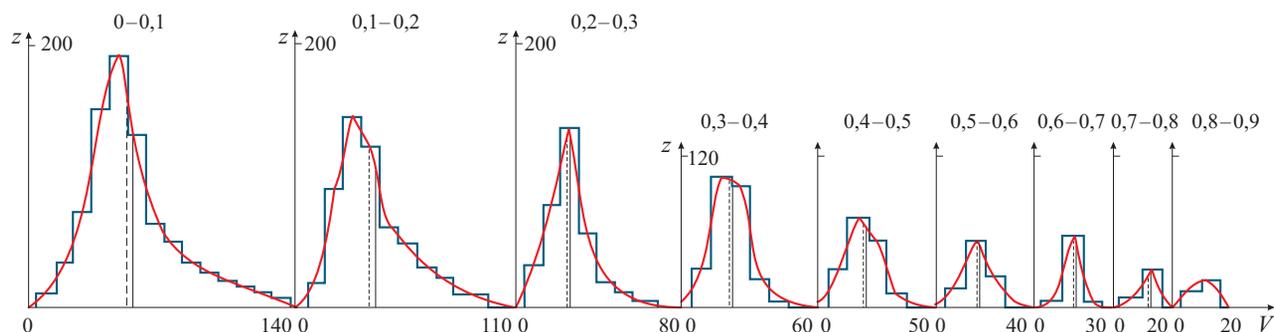
**Fig. 5.** Results of 1,033 speed measurements taken along the horizontal routes inside theatre buildings; the curve is made on the basis of average values, identified using the simplest method, the method of medians [6]

$f$  — площадь горизонтальной проекции одного человека,  $m^2$ ;

$\delta_n$  — ширина людского потока,  $m$ .

А.И. Милинский считал, что такое измерение плотности «придает большую точность значению понятия “плотность”» [6, с. 36]. Значение скорости потока  $V$  при этом определялось из выражения

$$V = 60l_n / \Delta t, \quad (5)$$



**Рис. 6.** Гистограммы и полигоны распределения значений скоростей движения в интервалах плотности, полученных визуальным методом наблюдений на горизонтальных путях [2]

**Fig. 6.** Histograms and polygons of the speed value distribution over density intervals, obtained using the method of visual observation of horizontal routes [2]

где  $\Delta t$  — интервал времени прохождения участка  $l_n$  при проведении натуральных наблюдений визуальным методом, с.

Приняв эту методологию, В.М. Предтеченский вынужден был устанавливать математический вид зависимостей  $V = \varphi(D_f)$  в анализируемых сериях натуральных наблюдений, чего не было сделано ни в работе С.В. Беляева [4], ни в работе А.И. Милинского [6] (рис. 5 и 6).

Стремясь учесть результаты всех известных к тому времени натуральных наблюдений, В.М. Предтеченский выводит формулу соотношения между  $D_f$  и  $D_l$ :

$$D_f = f(0,6D_l) \quad (6)$$

и на ее основе строит графики зависимости удельной пропускной способности сечения пути от плотности потока (рис. 7).

Руководствуясь стремлением «перейти к математической зависимости» скоростей движения по горизонтальным путям, В.М. Предтеченский выбирает «некоторую среднюю кривую», описываемую уравнением вида:

$$Y = a(b + x)^{-n}. \quad (7)$$

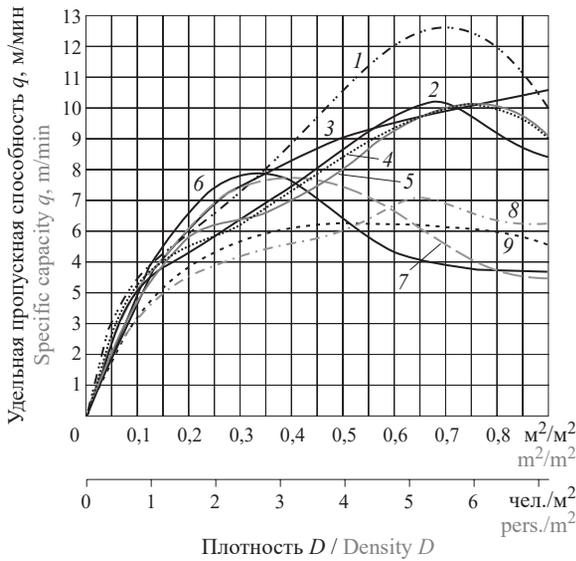
В целях большей «непогрешимости» аппроксимации эмпирических данных связь между ними при движении по горизонтальному пути стала описываться «полиномом наилучшего приближения Чебышева» [7]:

$$V = AD^4 - BD^3 + CD^2 - ED + 57; 0,00 \leq D \leq 0,92. \quad (8)$$

Принимая его в качестве основного, выражающего зависимость скорости от плотности, и введя эмпирические коэффициенты  $m_j$ , которые учитывают влияние на скорость движения вида пути, получают зависимости для других видов путей:

$$V_j = Vm_j. \quad (9)$$

Влияние **состояния** людей на скорость движения людского потока определяется с помощью



**Рис. 7.** Удельная пропускная способность участка пути [1, рис. 2]: 1 — по экспериментальным данным, полученным на горизонтальных путях в промышленных зданиях (498 замеров); 2 — то же, в зданиях различного назначения (2804 замера); 3 — теоретическая при скоростях, принятых по выражению  $V = 13,5(0,25 + D)^{-1}$ ; 4 — при скоростях, принятых по данным ВАХ; 5 — теоретическая при движении по лестнице при подъеме; 6 — по экспериментальным данным, полученным при движении по лестнице при спуске; 7 — теоретическая при движении по лестнице при спуске; 8 — по экспериментальным данным, полученным при движении по лестнице при подъеме; 9 — теоретическая при подъеме по лестнице при скоростях, принятых по выражению  $V_{\text{лн}} = 42,5(1 + D_{\text{лн}})^{-3}$

**Fig. 7.** Specific capacity of a route section [1, Fig. 2]: 1 — representing the experimental data of the horizontal routes in industrial buildings (498 measurements); 2 — the same, in buildings performing different functions (2,804 measurements); 3 — the theoretical capacity obtained for the speed values that are calculated as follows:  $V = 13.5(0.25 + D)^{-1}$ ; 4 — for the speed values, identified on the basis of the data provided by emergency evacuation sensors; 5 — theoretically identified for the motion up the stairs; 6 — experimentally identified for the motion down the stairs; 7 — theoretically identified for the motion down the stairs; 8 — experimentally identified for the motion up the stairs; 9 — theoretically identified for the motion up the stairs if the speed values are found as follows:  $V_{\text{human flow}} = 42.5(1 + D_{\text{human flow}})^{-3}$

**коэффициентов условий движения  $\mu$ :** «для нормальных условий движения  $\mu = 1$ ; для аварийных  $\mu_a > 1$ ; для комфортных  $\mu_k < 1$ . Численные значения коэффициента  $\mu_a$  определяются путем экстраполяции параметров движения людских потоков, полученных для нормальных условиях ... или в результате натурных наблюдений за движением искусственно созданных потоков» [7, с. 64].

Однако, что дают установленные таким образом зависимости? Вы получаете значения **удельной пропускной способности** (т.е. единицы ширины элемента пути), а не **интенсивности** движения людского потока. Это — характеристики различных предметов исследований!

Чтобы это было более очевидно, достаточно сопроводить графические построения С.В. Беляева соответствующими им математическими соотношениями. Тогда, если пропускную способность элементарного потока обозначить через  $Q_{э.п}$ , получим:

$$Q_{э.п} = V/(l_n/N)$$

или с учетом формулы (3)

$$Q_{э.п} = V/D_t \tag{10}$$

Как видно из формулы (10), величина, названная С.В. Беляевым «пропускной способностью потока», не имеет никакого отношения к параметру «пропускная способность»: величина  $Q_{э.п}$  определяется количеством людей, проходящих в единицу времени **вдоль** пути движения людского потока, а не через **поперечное сечение** пути.

Чтобы подчеркнуть различие областей применения этих понятий при разработке методологии оптимизации коммуникационных путей [8], были введены следующие показатели:

**величина людского потока:**

$$P = q\delta_n; \tag{11}$$

**пропускная способность сечения пути:**

$$Q = qb_n, \tag{12}$$

где  $\delta_n$  — ширина потока, м;

$b_n$  — ширина сечения пути, м.

Смешение этих понятий и в наше время ведет к парадоксам. Так, например, Р. Thompson с коллегами пишут [9]: «...при реальной эвакуации Театра “Эмпайр” в Эдинбурге в 1911 году... предупреждение о пожаре поступило перед началом исполнения государственного гимна. Театр был эвакуирован примерно за время исполнения гимна (пока оркестр продолжал играть), хотя не обошлось без жертв. Важно отметить, что до сих пор этот показатель (150 с) используется в нормативных документах Великобритании<sup>1</sup> в качестве контрольного времени эвакуации людского потока. Такая длительность в сочетании с предполагаемой пропускной способностью потока 1,33 чел./((м·с) = 80 чел./((м·мин) приводит к наиболее часто используемой норме ширины выхода на человека (5 мм/чел.), которая применяется для расчета пропускной способности выхода в соответствии с руководством по проектированию:

$$q = \frac{N_p \text{ (чел.)}}{\left( \frac{w \text{ (М)}}{\tau \text{ (с)}} \right)} \therefore \frac{N_p}{w} = qt = \frac{80}{60} \cdot 150 = 200, \\ \therefore \frac{w}{N_p} = \frac{1}{200} = 0,005,$$

где  $q$  — поток на единицу ширины, чел./( $\text{м}\cdot\text{с}$ );

$N_p$  — количество людей;

$w$  — ширина выхода, м;

$t$  — общее время, с.

Таким образом, **ширина для «безопасной эвакуации» в расчете на одного человека = 0,005 м (5 мм).**

Это — «стандартное» число ширины выхода 5 мм на человека, позволяющее «безопасно» эвакуироваться, используется в строительных нормах Великобритании<sup>1</sup> и США<sup>2</sup>.

Как видим, механическая подстановка размерностей величин в формулу и их сокращение приводят к потере изначальной сущности определяемой величины:  $q$  становится **величиной потока «на единицу ширины».**

В связи с этим неудивительно, что поиск содержательного объяснения того, что такое «**интенсивность движения  $q$ , не зависящая от ширины пути**», продолжался и после публикации работы [1]. Так, во втором издании учебного пособия [10, с. 71] находим: «Произведение плотности и скорости  $q = DV$  называется **интенсивностью**, или **количеством, движения...**». Как известно, количество движения — характеристика механического движения. Использование данного термина свидетельствует о попытке авторов доказать, что людской поток — процесс закономерный, как и процессы механического движения.

Дело в том, что в то время в научном сознании господствовали представления, согласно которым, там, где **нет строгой однозначности, нельзя говорить об истинной закономерности**: в этих случаях мы имеем дело лишь с подходом к истине, но еще не владеем самой истиной (парадигма детерминизма). Отсюда возникает понятие «точные науки», объединяющие классическую механику, физику, химию — дисциплины, на базе которых было взращено целое поколение специалистов технического профиля. Для них, по терминологии психологов, происходила ассимиляция новых данных в сложившуюся систему принципов. Как видно, и разработчики феноменологического этапа развития теории людских потоков явно находились под влиянием парадигмы детерминизма и поэтому стремились рассматривать в ее рамках реально наблюдаемую стохастичность процесса движения людского потока.

Одновременно с такой ассимиляцией исследователи [8] стали уделять постоянное внимание процессам, которые в различных областях знаний

<sup>1</sup> The Building Regulations 2000. Approved Document B: Fire Safety (Vol. 2. Buildings other than dwelling houses). 2006 ed. Department of Communities and Local Government (DCLG), 2007.

<sup>2</sup> NFPA 101. Code for safety to life from fire in buildings and structures. Washington, DC : U.S. Department of Commerce, 2012.

(теория вероятностей [11], гидравлика [12], теория массового обслуживания [13], потоки в сетях [14], ежедневные миграционные потоки в городе [15–17]) рассматривали потоки разного содержания. Здесь можно было бы отметить, что определения типа: «**Транспортный поток** — это упорядоченное транспортной сетью движение транспортных средств. Перемещение пассажиров называется **пассажиропотоком**, перемещение грузов — **грузопотоком**, движение пешеходов — **пешеходным потоком**», приведенные в Википедии, никогда не рассматривались ввиду наивности, мягко сказать, позиции, с которой они формулируются. Данные термины и определения всегда требовали содержательной интерпретации понятия «поток» как постоянного движения массы чего-либо.

В связи с этим напомним: «**Людской поток** — одновременное пешеходное движение групп людей по общему пути в одном направлении» [18]. Движение людей в противоположном направлении называется встречным потоком, поперек — пересекающимся.

И вдруг обнаруживается, что «...диаграмма, показывающая изменение интенсивности потока в зависимости от его плотности, называется основной диаграммой транспортного потока» [19, с. 94] (рис. 8).

«Эта диаграмма является характеристикой определенного места в определенный момент времени для определенной совокупности автомобилей. Форма диаграммы может изменяться при возникновении любого из событий: ухудшение видимости в сумерках, неожиданный дождь или даже появление полицейского автомобиля» [19, с. 95].

И далее, «... $\rho$  рассматривается как величина, **обратная средней длительности промежутка времени между последовательными автомобилями,**



**Рис. 8.** Основная диаграмма транспортных потоков [19]:  $\rho$  — интенсивность потока (число автомобилей в единицу времени);  $\lambda$  — плотность потока (число автомобилей на единицу длины)

**Fig. 8.** The principal diagram of traffic streams [19]:  $\rho$  — stream intensity (the number of vehicles per unit of time);  $\lambda$  — traffic stream density (the number of vehicles per unit of length)

а  $\lambda$  — как величина, **обратная среднему интервалу между последовательными автомобилями** при «средней для группы автомобилей скорости  $m$ »:

$$\rho = m\lambda. \quad (13)$$

Правильная функциональная форма» выражения (13) будет иметь вид

$$\rho(\lambda) = \lambda m(\lambda). \quad (14)$$

Смысл этого соотношения заключается в том, что нужно находить  $\rho(\lambda)$  или функцию  $m(\lambda)$ ; после чего по формуле (14) можно определить значение другой функции» [19, с. 93].

Далее Ф. Хейт пишет: «Нам удобнее предположить, что кривая распределения скорости асимптотически приближается к оси, чем принять, что она обрывается в какой-либо определенной точке» [19, с. 94].

Следует отметить, что при написании своей монографии Ф. Хейт методологически очень правильно предварил рассмотрение конкретных моделей движения дискретных объектов по двумерным транспортным сетям рассмотрением трех основных свойств транспортного потока, «которые характеризуют его как самостоятельную систему» [19, с. 88]. Это:

- **неопределенность** (управление объекта самим объектом);
- **конечность** (соизмеримость физических размеров объектов и сетей);
- **зависимость расстояния от времени** (скорость движения не остается постоянной).

Эти свойства характерны и для людского потока.

По мнению Ф. Хейта, при увеличении числа автомобилей скорость их движения обычно уменьшается, а в **случае потока жидкости**, грубо говоря, имеет место обратное явление, когда при сужении потока **скорость увеличивается**.

«Модели, в которых условие конечности игнорируется и транспортный поток рассматривается как **поток телефонных вызовов, нельзя считать достаточно реальными, чтобы их можно было принять в качестве моделей движения транспортных потоков по дорогам**. ... Положения автомобилей в пространстве и во времени, рассматриваемые как стохастические процессы, не являются идентичными. Это объясняется тем, что скорость движения не остается постоянной. В этом смысле транспортный поток резко отличается от других потоков, включая поток радиоактивных частиц, поток телефонных вызовов и другие рекуррентные процессы. Во всех этих случаях оба измерения — время и расстояние — являются конгруэнтными. **Ничего подобного не наблюдается при движении транспортного потока**. При изучении послед-

него нельзя не учитывать изменения скорости» [19, с. 90–91].

Вышесказанное благотворно повлияло на когнитивный диссонанс [18, с. 291], имевший место в среде участников научной школы людских потоков [20] из-за смыслового противоречия применяемых методов детерминированного расчета и вероятностной статистики эмпирических данных натуральных наблюдений, используемых для него.

Особое внимание обращает на себя следующее замечание: «Допустим, что три автомобиля преодолели расстояние 8,3 км со скоростями, равными 41, 50 и 83 км/ч. Очевидно, что средняя скорость равна 58 км/ч. Аналогично среднее время движения равно 28/60 ч. Однако эти три значения (8,3 км, 58 км/ч и 28/60 ч) не удовлетворяют равенству

$$(\text{расстояние}) = (\text{скорость}) \times (\text{время}).$$

Причина этого заключается в том, что данное равенство справедливо для средних значений только в том случае, если для скорости берется гармоническое среднее, а для времени — среднее арифметическое, или наоборот» [19, с. 40].

Такое замечание побуждало к **отказу от парадигмы детерминизма** в теории и практике нормирования людских потоков из-за показанной некорректности практических результатов при использовании детерминированных методов расчета. Однако причина, почему именно так нужно проводить расчет, оставалась загадкой для исследователей не только людских, но и транспортных потоков.

### Людской поток — стохастический процесс живой системы

Настойчивое стремление основоположников теории людских потоков описывать связь между скоростью и плотностью потоков  $V = \varphi(D_f)$  в виде детерминированной зависимости (как в механике) базировалось на убеждении, что «...наиболее фундаментальными следует считать исследования ВНИИПО и МИСИ им. В.В. Куйбышева... Последующие исследования, проведенные в МИСИ и ВШ МВД СССР, **не дали существенных отклонений** от ранее установленных закономерностей  $V = f(D)$ ...» [10, с. 58].

Последнее утверждение требовало статистической оценки. Разработанная к тому времени в СССР методология статистического анализа позволяла сделать это в нескольких вариантах. Исходя из влияния на параметры людских потоков многочисленных факторов и изменчивости состава потока в зданиях различного функционального назначения, в которых проводились натурные наблюдения, в качестве метода статистического анализа была ис-

пользована методология оценки однородности выборочных совокупностей [21], т.е. оценка различий средних и дисперсий выборочных совокупностей.

К концу 1970-х годов в России было проведено более 75 серий натуральных наблюдений людских потоков, но их результаты оказались разбросанными более чем по трем десяткам диссертационных работ и отчетов НИР. Впервые собрать большинство из них для статистического анализа удалось в ходе разработки новых строительных норм противопожарного проектирования<sup>3</sup>.

Анализ собранных эмпирических данных показал, что часть выборочных совокупностей содержит логически несостоятельные допущения. Например, в выборки объединялись данные, полученные при различных условиях эксплуатации зданий (например, в утренние часы «пик» и в дневные часы эксплуатации зданий транспортных сооружений). Подобные выборки были исключены из дальнейшего рассмотрения. Оставшиеся 69 серий, содержащие 24,5 тыс. результатов натуральных наблюдений, не вселяли уверенности в методической корректности и идентичности статистической обработки данных [21, 22], поскольку многие серии не содержали дисперсий в качестве числовых характеристик выборочных совокупностей (следует отметить, что зарубежные публикации никогда не содержат этих числовых характеристик). Поэтому представленные в этих исследованиях вариационные ряды наблюдаемых значений скоростей движения людей в потоках  $V = f(D_j)$  были обработаны по единой методике на ЭВМ ЕС-10-40. Только после этого был проведен анализ однородности выборочных совокупностей на ЭВМ БСМ-6 по специально разработанной программе.

Статистический анализ показал разнонаправленные с методической точки зрения тенденции формирования эмпирической базы данных. Наиболее значительные расхождения обнаружил анализ однородности выборочных совокупностей пар серий: его результаты показали несостоятельность гипотезы о несущественности отклонений между закономерностями  $V = f(D_j)$  в рассмотренных сериях натуральных наблюдений. «Более того, и средние выборочных совокупностей Милинского А.И. для горизонтальных путей оказались различающимися значимо. Следовательно, не было необходимых статистических оснований для объединения этих выборок в единую совокупность. Отсюда следует некорректность установленных таким образом расчетных зависимостей для горизонтальных путей, что влечет за собой и не-

корректность определяемых по отношению к ним коэффициентов видов пути, условий движения и состава потока» [21, с. 166]. Эти результаты послужили основой для пересмотра методологии формирования статистической базы данных при нормировании эвакуационных путей и выходов [23, 24].

В то же время оказалось довольно много пар серий, в которых средние скорости движения людей во всех наблюдаемых в них интервалах плотности оказались однородными и поэтому могут быть объединены: анализ эффекта объединения выборок показал увеличение точности оценки математических ожиданий скорости в 2–3 раза.

Группировка пар серий достаточно явно отражает влияние условий движения, а точнее сказать, психологического настроения людей на скорость их движения: например, значительно отличаются скорости движения в городском узле в дневные и вечерние часы. При этом обращает на себя внимание тот факт, что в начальном интервале плотности (0–1 чел./м<sup>2</sup>) выборок с одинаковыми средними и даже дисперсиями гораздо больше, чем в остальных интервалах плотности потока. Поскольку влияние плотности на скорость движения в этом интервале весьма мало, то, вероятно, значения параметров потоков при достаточно близком составе их участников определяются (в основном) психологическим состоянием людей и **могут быть использованы для классификации психологических условий движения людских потоков.**

Необходимо обратить внимание на то, что загадка результатов очень броского примера (13), приведенного Ф. Хейтом [19], остается нераскрытой и требует понимания теории вероятностей (в частности, **законов распределения функций случайных аргументов**) [11], что в то время не входило в учебную программу подготовки инженеров технических вузов.

Поскольку при установлении значений скорости движения людских потоков (так же, как и транспортных потоков) в процессе натуральных наблюдений измеряется не сама скорость  $V$ , а определяющие ее параметры — расстояние  $l$  и время движения  $t$ , то существенным оказывается, что  $t$  или  $l$  является переменной измеряемой величиной. В зависимости от этого функцией случайного аргумента — скорости людей — является либо распределение людей по длине пути  $f_i(l)$ , либо распределение людей по времени их прихода в определенное сечение пути (сток)  $f_i(t)$ .

Согласно теории вероятностей, если случайная величина  $X$  (аргумент) имеет распределение  $f(x)$ , а другая величина  $Y$  является ее функцией, то плотность распределения  $g(y)$  величины  $Y$  определяется по формуле

$$g(y) = f(\phi(y)) \left| \phi^{-1}(y) \right|, \quad (15)$$

<sup>3</sup> СНиП II-2-80. Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений : утвержден 18 декабря 1980 г. Госстроем СССР. СНиП II-2-80 заменен 1 января 1987 г. на СНиП 2.01.02–85 «Противопожарные нормы». СНиП 2.01.02-85 заменен СНиП 21-01–97\* «Пожарная безопасность зданий и сооружений».

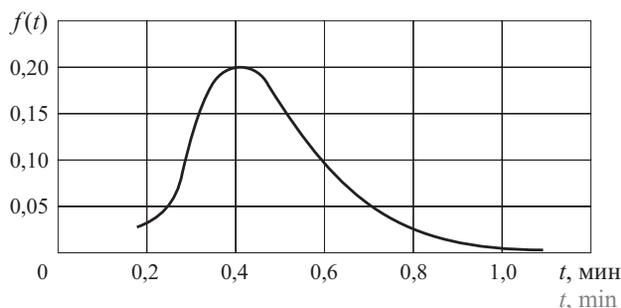


Рис. 9. Пример аппроксимации распределения времени прихода людей в сток — на остановку общественного транспорта [26–28]

Fig. 9. The case of approximate distribution of the time of arrival to a public transport stop [26–28]

где  $\phi(y)$  — функция, обратная функции  $\phi(x)$ , которая существует и имеет производную;

$|\phi^{-1}(y)|$  — модуль производной обратной функции.

В исследованиях людских потоков это правило проявляется, начиная с проведения натуральных наблюдений (но мало кто об этом задумывался [25]).

В визуальном методе натуральных наблюдений измеряется время  $\Delta t$  прохождения людьми участка пути определенной длины  $\Delta l$ , установленной заранее на определенном расстоянии от источника людского потока. Таким образом, здесь  $\Delta l$  — постоянная величина, а  $\Delta t$  — переменная, которая и является функцией случайной скорости людей в источнике потока (со средним  $V_{0j}$ ). Тогда величина  $\Delta t$  связана с  $V$  зависимостью

$$\Delta t = \Delta l / V, \quad (16)$$

т.е. при постоянном значении  $\Delta l$  она обратно пропорциональна скорости.

Ее производная

$$\phi^{-1}(t) = -l/t^2. \quad (17)$$

Следовательно, при использовании визуального метода функция (15) даст **асимметричный вид**

закона распределения плотности вероятности  $f=l(t)$ , что мы и видим на рис. 6.

В общем случае для подобных ситуаций имеем распределения, представленные на рис. 9 и 10.

Нам, по-видимому, следует обратить особое внимание на то обстоятельство, что в период, когда была опубликована книга Ф. Хейта [19] (1963–1964 гг.), теория людских потоков [20] еще не имела разработанной методологии натуральных наблюдений, обеспечивающей возможность фиксировать изменения параметров потока во времени (в каком-либо сечении пути). Это стало возможным только при применении кинометодов натуральных наблюдений [18, гл. 3], поскольку только тогда появилась возможность фиксировать длину участка, которую проходил тот или иной человек за определенный интервал времени  $\Delta t$ . Поэтому в кинометод  $\Delta t$  может быть константой, а  $\Delta l$  — функцией случайного аргумента  $V$ , но линейной:

$$\Delta l = \Delta t V. \quad (18)$$

Поскольку  $f_i(l)$  является линейной функцией случайного аргумента, она имеет тот же вид закона распределения, что и определяющий ее аргумент  $V$ . Как видим, наблюдается симметричный закон распределения плотности вероятностей  $g(\Delta l)$ , в данном случае распределения людей по длине пути. Поэтому во всех исследованиях, проведенных кинометодом<sup>4</sup>, получены нормальные законы распределения построенных функций  $g(\Delta l)$ , что свидетельствует и о нормальном законе распределения определяющего его аргумента  $f(V)$ :

$$f(V) = \frac{1}{S_V \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(V-\bar{V})^2}{2S_V^2}}, \quad (19)$$

где  $\bar{V}$ ,  $S_V$  — математическое ожидание и среднеквадратичное отклонение скорости движения людей в потоке.

Конкретика требований к моделям, возможным для описания природной сущности транспортного

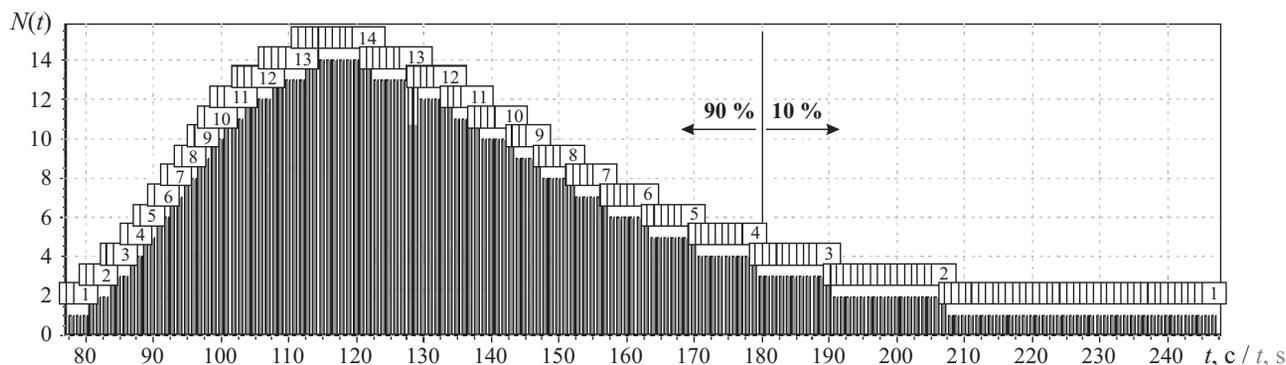


Рис. 10. Гистограмма распределения времени прихода людей на остановку городского транспорта при  $l = 200$  м, полученная при расчетах по программе FMT 1.0 [29–31]

Fig. 10. The histogram of distribution of the time of arrival to a public transport stop, if  $l = 200$  m, obtained using FMT 1.0 software [29–31]

и людского потоков, в значительной степени стимулировала **описание людского потока как живой системы, вариабельность параметров функционирования которой определяется индивидуализацией свойств ее элементов — людей.** При кажущейся очевидности понятия «живая система» описание ее свойств с общесистемных позиций<sup>2</sup> [32] прошло многочисленные этапы формирования системного мышления [33–37] в различных областях знаний, включая кибернетику [36, 37].

В теории людских потоков были установлены закономерности связи между параметрами людского потока, основанные на законах психофизики [38, 39], математические ожидания которых описаны элементарной случайной функцией:

$$V_{\Delta D_j} = V_{\Delta 0j} (1 - R_{Dj}), \quad (20)$$

где  $V_{\Delta 0j}$  — случайная величина (математическое ожидание скорости свободного движения  $V_0$  людского потока в эмоциональном состоянии по  $j$ -му виду пути);

$R_{Dj}$  — неслучайная (функциональная) зависимость от плотности потока;

$$R_{Dj} = a_j \ln(D_i/D_{0j}); \quad (21)$$

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

$D_i$  — текущее значение плотности потока;

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

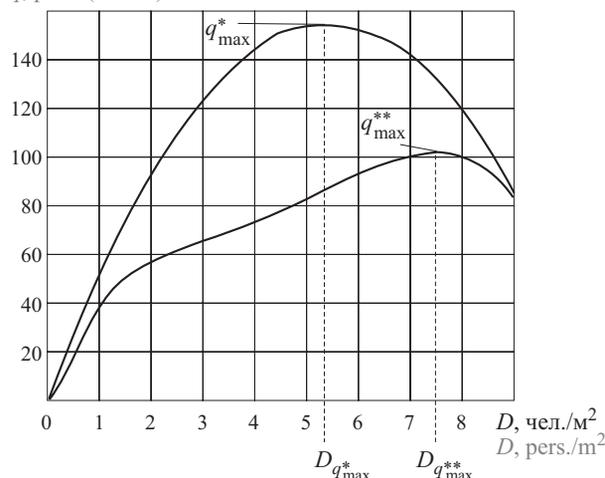
Вид этой зависимости определяет положение значения  $q_{\max}$  на оси  $D$ , а следовательно, и предельное значение плотности людского потока, при котором обеспечивается беспрепятственность движения по тому или иному виду пути  $D_j$ . Поэтому использование величины  $q_j = (V_j D_{jj})$  обостряет вопрос о корректности форм математических функций, которые применяются для аппроксимации эмпирических зависимостей  $V = f(D)$  — от линейной до полинома четвертого порядка (рис. 11).

С 1980 г. зависимость

$$\bar{V}_{Dj}^{\Delta} = \bar{V}_{0j}^{\Delta} \left( 1 - a_j \ln \frac{D_i}{D_{0j}} \right). \quad (22)$$

**становится основой для нормирования размеров эвакуационных путей и выходов в зданиях различного назначения.** Этот вид функции сохраняется на последовательных этапах поиска принципов гибкого нормирования, от создания обобщенных

$q$ , чел./ (м·мин)  
 $q$ , pers./ (m·min)



**Рис. 11.** Графики функции  $q = VD$  в зависимости от выражения функции  $V$ :  $V^* = 57 - 5,256D$ ;  $V^{**} = 112 D^4 - 380D^3 + 434D^2 - 217D + 57$  [2]

**Fig. 11.** Graphs of function  $q = VD$  depending on the expression of function  $V$ :  $V^* = 57 - 5.256D$ ;  $V^{**} = 112 D^4 - 380D^3 + 434D^2 - 217D + 57$  [2]

по видам зданий строительных норм проектирования<sup>5</sup> до введения технических регламентов<sup>6</sup>.

Дальнейшие исследования людских потоков, состоящих из крайних возрастных групп людей (людей пожилого возраста и детей дошкольного возраста [40, 41]), выявили **существование психофизиологических коррелятов в виде схемы тела человека**<sup>7</sup> [42] с присущими ей свойствами распространения на средства действия<sup>8</sup>, являющиеся ее продолжением.

Исследования параметров движения детей с ограниченными возможностями [43] подтвердили факт **распространения модели схемы тела**

<sup>5</sup> СНиП 2.08.02-89\*. Общественные здания и сооружения : утверждены постановлением Государственного строительного комитета СССР от 16 мая 1989 г. № 78.

<sup>6</sup> Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ принят Государственной Думой 4 июля 2008 г.; одобрен Советом Федерации 11 июля 2008 г.; Технический регламент о безопасности зданий и сооружений : Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ принят Государственной Думой 23 декабря 2009 г.; одобрен Советом Федерации 25 декабря 2009 г.; Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности : утверждена приказом МЧС России от 30 июня 2009 г. № 382 (далее — Методика № 382).

<sup>7</sup> Схема тела — психофизиологическая модель собственного тела, формирующаяся в сознании животного на основании сенсорного опыта — синтеза различных ощущений величины, положения и взаимосвязи частей тела.

<sup>8</sup> Модель схемы тела распространяется и на орудия, предметы, при помощи которых совершаются действия (например, ракетка при игре в теннис, карандаш при рисовании; можно полагать, и средства опоры и передвижения у людей с нарушением опорно-двигательного аппарата).

и на предметы, при помощи которых они выполняют свои действия, в данном случае на кресла-коляски. Это стало еще одним подтверждением того факта, что открытые закономерности связи между параметрами людских потоков опираются на природные психофизиологические свойства людей. Поэтому установленные в ходе исследований закономерности были признаны международным научным сообществом **научным открытием** [44].

В современной методологии нормирования величин пожарного риска (см. Методику № 382) и стандарте строителей России<sup>9</sup> данные закономерности использованы для упрощенного аналитического и имитационно-стохастического моделирования процесса эвакуации людей.

Таким образом, интеллектуальная поддержка, полученная исследователями людских потоков от профессиональных математиков, занимающихся проблемами моделирования транспортных потоков, позволила им перейти на теоретический уровень познания и широко внедрить новые знания в практику архитектурно-строительного проектирования и противопожарного нормирования эвакуационных путей и выходов — одной из систем противопожарной защиты зданий и сооружений.

Появившаяся возможность корректно фиксировать [25, 45] формирование величины людского потока расширила область наблюдения реальных ситуаций его образования. Наблюдения показали [26], что величину потока следует и рассматривать не как функцию случайной величины, а как **функцию случайного процесса**, величина которого изменяется во времени. Затем стало понятно, что эту функцию можно рассматривать и с более общих позиций как «поток событий» [42], хотя этот поток не является простейшим,

<sup>9</sup> СТО НОСТРОЙ 2.35.73–2012. Инженерные сети высотных зданий. Системы обеспечения комплексной безопасности высотных зданий и сооружений : утвержден и введен в действие решением Совета Национального объединения строителей, протокол от 22 июня 2012 г. № 30.

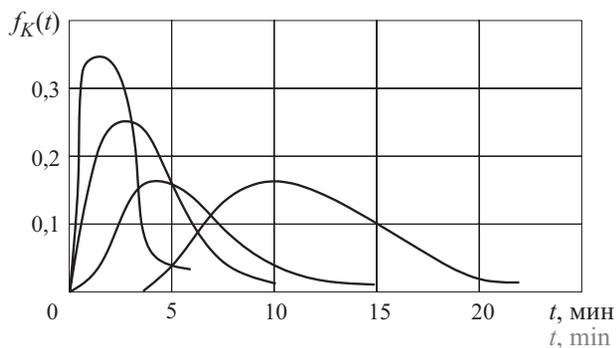


Рис. 12. Пример изменения плотности вероятности распределения Эрланга при изменении его порядка  $K$

Fig. 12. The case demonstrating a change in the density of the probability of the Erlang distribution caused by a change in its order  $K$

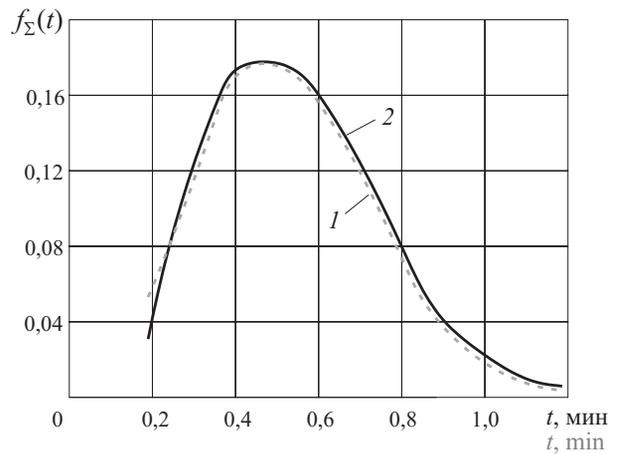


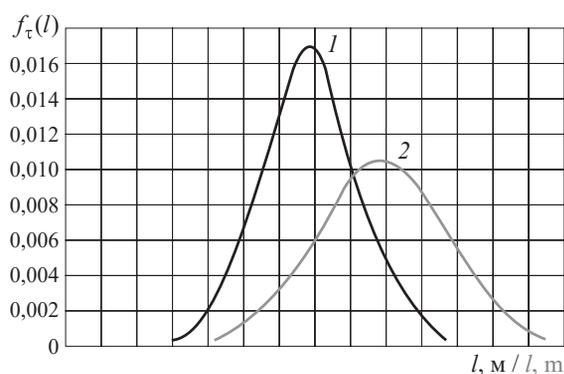
Рис. 13. Аппроксимация наблюдаемого распределения времени прихода людей в сток (1) распределением Эрланга (2)

Fig. 13. The observed approximate distribution of the time of arrival to a bus stop (1) using the Erlang distribution (2)

поскольку он не обладает стационарностью, отсутствием последствия, ординарностью. Однако, если реальный людской поток, формирующийся на городской территории из многих источников, представить как сумму потоков с этими свойствами, то его удастся рассмотреть обобщенно как поток Эрланга того или иного ( $K$ -го) порядка [43] (рис. 12).

На рис. 13 приведены графики наблюдаемого распределения времени прихода людей в сечение пути из нескольких источников и распределения, рассчитанного через представление людского потока как потока Эрланга [46]. Анализ результатов расчета движения людских потоков из нескольких источников [47] показывает, что с увеличением расстояния до стока происходит уменьшение влияния расстояния между источниками на характер распределения времени прихода людей в сток. Поэтому при определенных значениях этого расстояния все источники можно заменить одним, расположенным на расстоянии, равном средневзвешенному расстоянию от источников до стока. «Например, расчет на ЭВМ показал, что при  $\bar{V} = 60$  м/мин,  $S = 12$  м/мин,  $K = 4$ ,  $\Delta l = 5$  м и минимальном расстоянии до стока 100 м ( $l = 107,5$  м) расхождение между результатами ... не превышает 0,1 %» [48, с. 20].

Поскольку людской поток в стоке близок по свойствам потоку Эрланга, то графики, приведенные на рис. 13, дают представление о характере изменения величины потока и интенсивности движения в различных сечениях пути. На рис. 14 в качестве примера практического использования закона Эрланга представлены графики, описывающие распределение людей, выходящих из нескольких источников, по длине пути в последовательные моменты времени. На графиках наглядно прослеживается процесс растекания потока (увеличение его длины и уменьше-



**Рис. 14.** Пример изменения плотности вероятности распределения людей по длине потока в процессе его свободного движения из источника: 1 — при  $t = 1$  мин; 2 — при  $t = 2$  мин

**Fig. 14.** The case of a change in the density of the probability of distribution of persons along the flow length in the process of its free motion, starting from the source: 1 — if  $t = 1$  min; 2 — if  $t = 2$  min

ние плотности) по мере удаления от источников, хотя время выхода людей из них одинаково.

Таким образом, то, что математики поделились с исследователями людских потоков своими профессиональными знаниями, подтолкнуло последних к интеллектуальным умозаключениям, способствовавшим переходу теории людских потоков на более высокий уровень познания и обеспечившим практику норми-

рования систем противопожарной защиты (эвакуационные пути и выходы) на основе объективных данных о поведении людей в условиях чрезвычайных ситуаций.

А что же имеем сегодня в практике нормирования интенсивности транспортных потоков?

Самым показательным образцом в этой области деятельности является ГОСТ 32965–2014<sup>10</sup>. В этом межгосударственном стандарте читаем:

«2.7. интенсивность движения: количество транспортных средств, проходящих через поперечное сечение автомобильной дороги в единицу времени (за сутки или за один час);

2.14. учет интенсивности движения: определение количества различных типов транспортных средств, проходящих в единицу времени через поперечное сечение автомобильной дороги».

Из вышесказанного следует, что мы опять возвращаемся на круги своя, а именно к вопросу: **что характеризует интенсивность движения** — процесс (поток) или путь, на котором он происходит?

<sup>10</sup> ГОСТ 32965–2014. Дороги автомобильные общего пользования. Методы учета интенсивности движения транспортного потока : принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации по переписке (протокол от 20 октября 2014 г. № 71-П).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Предтеченский В.М. О расчете движения людских потоков в зданиях массового назначения // Известия высших учебных заведений. Строительство и архитектура. 1958. № 7.
2. Предтеченский В.М., Милинский А.И. Проектирование зданий с учетом организации движения людских потоков : учебное пособие. М. : Стройиздат, 1969. 247 с.
3. Беляев С.В. Принципы планировки зал собраний. М. ; Л. : Госстройиздат, 1934. 132 с.
4. Беляев С.В. Эвакуация зданий массового назначения. М. : Изд-во Всес. акад. архитектуры, 1938. 72 с.
5. Fruin J.J. Pedestrian planning and design. New York : Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners, Inc., 1971. 206 p.
6. Милинский А.И. Исследование процесса эвакуации зданий массового назначения : дис. ... канд. техн. наук. М., 1951. 178 с.
7. Великовский Л.Б., Гуляницкий Н.Ф., Ильинский В.М., Ковригин С.Д., Кондратенков А.Н., Меньшиков Н.Г. и др. Архитектура гражданских и промышленных зданий. Т. II. Основы проектирования. М. : Стройиздат, 1976. 214 с.
8. Холщевников В.В. Оптимизация путей движения людских потоков. Высотные здания : дис. ... канд. техн. наук. М., 1969. 324 с.
9. Thompson P., Nilsson D., Boyce K., McGrath D. Evacuation models are running out of time // Fire Safety Journal. 2015. Vol. 78. Pp. 251–261. DOI: 10.1016/j.firesaf.2015.09.004
10. Предтеченский В.М., Милинский А.И. Проектирование зданий с учетом организации движения людских потоков : учеб. пособие для архит. и строит. специальностей вузов. М. : Стройиздат, 1969. 247 с.
11. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. Глава 12. Законы распределения функций случайных аргументов. М. : Наука, 1969. С. 263–285.
12. Кочин Н.Е., Кибель И.А., Розе Н.В. Теоретическая гидромеханика : в 2-х ч. М. : Гос. изд. физ.-мат. литературы, 1963.
13. Khintchine A.Ya. Mathematical methods in the theory of queueing. Griffin's Statistical Monographs and Courses. No. 7. London, 1960. 120 p.

14. Ford L.R., Fulkerson D.R. Flows in networks. Princeton, New Jersey : Princeton University Press, 1962. 194 p. DOI: 10.1515/9781400875184
15. Шелейховский Г.В. Планировка, транспорт, расселение. Харьков, 1934.
16. Давидович В.Г. Количественные закономерности расселения относительно мест работы // Расселение в городах (количественные закономерности) : сб. ст. / под ред. В.Г. Давидовича, О.К. Кудрявцева. М. : Мысль, 1968. 216 с.
17. Merlin Pierre. Methodes quantitatives et espace urbain. Paris, 1973. 190 p.
18. Холщевников В.В. Гносеология людских потоков : монография. М. : Академия ГПС МЧС России, 2019. 592 с.
19. Mathematical theories of traffic flow / ed. F.A. Haight. New York, London : Academic Press, 1963. 242 p. DOI: 10.1016/s0076-5392(08)x6020-5
20. Научная школа. Теория людских потоков // Российская архитектурно-строительная энциклопедия. Т. VII. М. : ВНИИТПИ Госстроя России, 2001. С. 96.
21. Холщевников В.В. Статистика зависимостей между параметрами людских потоков // Исследование по основам архитектурного проектирования (функциональные, физико-технические и эстетические проблемы архитектуры) / под ред. Р.М. Дувидзон. Томск : Томский государственный университет, 1983. С. 155–174.
22. Митропольский А.К. Техника статистических вычислений. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Наука, 1971. 576 с.
23. Fisher R.A. Statistical methods for research workers. 12th ed., revised. Edinburg : Oliver and Boyd, 1954. 356 p.
24. Холщевников В.В. Исследования людских потоков и методология нормирования эвакуации людей из зданий при пожаре : монография. М. : МИПБ МВД России, 1999. 93 с.
25. Холщевников В.В. Влияние методов натурных наблюдений на определение числовых характеристик закона распределения расчетной величины скорости людского потока // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2013. Т. 22. № 8. С. 71–80. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20349100>
26. Сапеловская А.А. Формирование транспортных и пешеходных потоков в пересадочных узлах пригородно-городского сообщения : дис. ... канд. техн. наук. М., 1980. 270 с.
27. Холщевников В.В., Хомицкая А.А. Расчет путей движения людских потоков при пересадке и загрузке остановки городского транспорта // Индустриализация строительства. М. : МИСИ, 1981. С. 107–119.
28. Холщевников В.В. Расчет оптимальных вариантов пешеходных путей в городских узлах // На стройках России. 1983. № 3. С. 15–17.
29. Холщевников В.В., Шишов И.А. Моделирование свободного движения людских потоков // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2011. № 2. С. 89–103. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16387376>
30. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011614752 от 17.06.2011 г. Программа FMT 1.0 / И.А. Шишов, В.В. Холщевников. М. : Федеральная служба по интеллектуальной собственности (Роспатент), 2011.
31. Холщевников В.В. Моделирование зависимостей между параметрами людских потоков // Исследование по основам архитектурного проектирования (функциональные, физико-технические и эстетические проблемы архитектуры) / под ред. Р.М. Дувидзон. Томск : Томский государственный университет, 1983. С. 36–53.
32. Холщевников В.В. Людские потоки в зданиях, сооружениях и на территории их комплексов : дис. ... д-ра техн. наук. М., 1983. 486 с.
33. Von Bertalanffy L. General system theory — A critical review // General Systems. 1962. Vol. VII. Pp. 1–20.
34. Анохин П.К. Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем // Принципы системной организации функций. М. : Наука, 1973. С. 5–61.
35. Sghrodinger E. What is life? The physical aspect of the living cell. Cambridge : Cambridge University Press, 1967. 178 p.
36. Wiener N. The human use of human beings: cybernetics and society. 2nd ed., revised. NY : Doubleday, 1954. 199 p.
37. Shannon C.E., Weaver W. The mathematical theory of communication. Urbana : University of Illinois Press, 1949. 117 p.
38. Fechner G. Elemente der Psychophysik. 2te Auflagen. Leipzig : Druck und Verlag von Breitkopf und Härtel, 1889.

39. Забродин Ю.М., Лебедев А.Н. Психофизиология и психофизика. М. : Наука, 1977. 288 с.
40. 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.
41. 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. Pp. 349–366. DOI: 10.1002/fam.2152
42. Гурфинкель В.С., Левик Ю.С. Концепция схемы тела и моторный контроль // Интеллектуальные процессы и их моделирование. Организация движений / под ред. А.В. Чернавского. М. : Наука, 1991. С. 59–105.
43. Слюсарев С.В. Нормирование требований пожарной безопасности к эвакуационным путям и выходам для детей с ограниченными возможностями здоровья в зданиях с их массовым пребыванием : дис. ... канд. техн. наук. М., 2016. 189 с.
44. Холицевников В.В. Закономерности связи между параметрами людских потоков : диплом № 24-S на открытие в области социальной психологии // Научные открытия. М. : Российская академия естественных наук, Международная академия авторов научных открытий и изобретений, Международная ассоциация авторов научных открытий, 2005. С. 63–69.
45. Григорьянц Р.Г., Подольный В.П. Графический способ обработки кинокадров движения людских потоков // Известия Северо-Кавказского научного центра. 1975. № 1. С. 17–19.
46. Айбуев З.С.-А. Формирование людских потоков на предзаводских территориях крупных промышленных узлов машиностроительного профиля : дис. ... канд. техн. наук. М., 1989. 292 с.
47. Кисляков В.М., Филиппов В.В., Школяренко И.А. Математическое моделирование и оценка условий движения автомобилей и пешеходов. М. : Транспорт, 1979. 200 с.
48. Холицевников В.В., Никонов С.А., Левин Ю.И. Расчет и моделирование движения людских потоков // Исследование по основам архитектурного проектирования (функциональные, физико-технические и эстетические проблемы архитектуры) / под ред. Р.М. Дувидзон. Томск : Томский государственный университет, 1983. С. 7–28.

## REFERENCES

1. Predtechenskiy V.M. On calculation of human flows in general public buildings. *News of higher educational institutions. Construction and Architecture*. 1958; 7. (rus).
2. Predtechenskiy V.M., Milinskiy A.I. *Building design consider the organization of human flows traffic : Manual*. Moscow, Stroyizdat Publ., 1969; 274. (rus).
3. Belyaev S.V. *Principles of planning a meeting room*. Moscow, Leningrad, Gosstroyizdat Publ., 1934; 132. (rus).
4. Belyaev S.V. *Evacuation of buildings for public use*. Moscow, All-Union Academy of Architecture Publ., 1938; 72. (rus).
5. Fruin J.J. *Pedestrian planning and design*. New York, Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners, Inc., 1971; 206.
6. Milinskiy A.I. *Research of the evacuation of buildings for public use : dissertation of the candidate of technical sciences*. Moscow, 1951; 178. (rus).
7. Velikovskiy L.B., Gulyanitskiy N.F., Il'inskiy V.M., Kovrigin S.D., Kondratenkov A.N., Men'shikov N.G. et al. *The architecture of civil and industrial buildings. Vol. II. Basics of design*. Moscow, Stroyizdat Publ., 1976; 214. (rus).
8. Kholshchevnikov V.V. *Optimization of the traffic ways of human flows. High-rise buildings : dissertation of the candidate of technical sciences*. Moscow, 1969; 324. (rus).
9. Thompson P., Nilsson D., Boyce K., McGrath D. Evacuation models are running out of time. *Fire Safety Journal*. 2015; 78:251-261. DOI: 10.1016/j.firesaf.2015.09.004
10. Predtechenskiy V.M., Milinskiy A.I. *Building design consider the organization of human flows traffic : Manual for architectural and construction specialties*. Moscow, Stroyizdat Publ., 1969; 247. (rus).
11. Wentzell E.S. *Probability theory. Chapter 12. Distribution laws of functions of random arguments*. Moscow, Nauka Publ., 1969; 263-285 (rus).
12. Kochin N.E., Kibel I.A., Roze N.V. *Theoretical fluid mechanics : in 2 parts*. Moscow, State Publishing House of Physical and Mathematical Literature, 1963. (rus).
13. Khintchine A.Ya. Mathematical methods in the theory of queueing. *Griffin's Statistical Monographs and Courses, No. 7*. London, 1960; 120.

14. Ford L.R., Fulkerson D.R. *Flows in networks*. Princeton, New Jersey, Princeton University Press, 1962; 194. DOI: 10.1515/9781400875184
15. Sheleikhovskiy G.V. *Planning, transport, resettlement*. Kharkov, 1934. (rus).
16. Davidovich V.G. Quantitative patterns of settlement in relation to places of work. *Settlement in cities (quantitative patterns)*. Davidovich V.G., Kudryavtsev O.K. (eds.). Moscow, Mysl Publ., 1968; 216. (rus).
17. Pierre Merlin. *Methodes quantitatives et espace urbain*. Paris, 1973; 190. (fr).
18. Kholshchevnikov V.V. *Epistemology of human flows : monograph*. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2019; 592. (rus).
19. *Mathematical theories of traffic flow*. Haight F.A. (ed.). New York, London, Academic Press, 1963; 242. DOI: 10.1016/s0076-5392(08)x6020-5
20. Scientific school. The theory of human flows. *Russian Architectural and Construction Encyclopedia. Vol. VII*. Moscow, VNIINTPI Gosstroy of Russia, 2001; 96. (rus).
21. Kholshchevnikov V.V. Statistics of dependencies between the parameters of human flows. *Research on the basics of architectural design (functional, physical, technical and aesthetic problems of architecture)*. Duvidzon R.M. (ed.). Tomsk, Tomsk State University Publ., 1983; 155-174. (rus).
22. Mitropolskiy A.K. *Technique of statistical calculations*. 2nd ed. Moscow, Nauka Publ., 1971; 576. (rus).
23. Fisher R.A. *Statistical methods for research workers*. 12th ed., revised. Edinburg, Oliver and Boyd, 1954; 356.
24. Kholshchevnikov V.V. *Research of human flows and valuation methodology evacuation of people from buildings in case of fire : Monograph*. Moscow, Moscow Institute of Fire Safety of the Ministry of Internal Affairs Publ., 1999; 93. (rus).
25. Kholshchevnikov V.V. The effect of field observation methods on determining numeric characteristics of the law of human flow velocity distribution. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2013; 22(8):71-80. (rus).
26. Sapelovskaya A.A. *Formation of transport and pedestrian flows in interchange hubs of suburban-urban communication : dissertation of the candidate of technical sciences*. Moscow, 1980; 270. (rus).
27. Kholshchevnikov V.V., Khomitskaya A.A. Calculation of the routes of movement of human flows during transfer and loading of urban transport stops. *Industrialization of construction*. Moscow, Moscow Civil Engineering Institute Publ., 1981; 107-119. (rus).
28. Kholshchevnikov V.V. Calculation of the optimal options for pedestrian paths in urban hubs. *At Construction Sites of Russia*. 1983; 3:15-17. (rus).
29. Kholshchevnikov V.V., Shishov I.A. Modelling of free movement of human flows. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta/Journal of Construction and Architecture*. 2011; 2:89-103. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16387376> (rus).
30. Shishov I.A., Kholshchevnikov V.V. *Certificate of state registration of the computer program No. 2011614752. Program FMT 1.0*. Moscow, Federal Service for Intellectual Property (Rospatent), 2011. (rus).
31. Kholshchevnikov V.V. Modeling the dependencies between the parameters of human flows. *Research on the basics of architectural design (functional, physical, technical and aesthetic problems of architecture)*. Duvidzon R.M. (ed.). Tomsk, Tomsk State University Publ., 1983; 36-53. (rus).
32. Kholshchevnikov V.V. *Human flows in buildings, structures and on the territory of their complexes : dissertation of doctor of technical sciences*. Moscow, 1983; 486. (rus).
33. Von Bertalanffy L. General system theory — A critical review. *General Systems*. 1962; VII:1-20.
34. Anokhin P.K. Principled questions of the general theory of functional systems. *Principles of system organization of functions*. Moscow, Nauka Publ., 1973; 5-61 (rus).
35. Sghrodinger E. *What is life? The physical aspect of the living cell*. Cambridge, Cambridge University Press, 1967; 178.
36. Wiener N. *The human use of human beings: cybernetics and society*. 2nd ed., revised. NY, Doubleday, 1954; 199.
37. Shannon C.E., Weaver W. *The mathematical theory of communication*. Urbana, University of Illinois Press, 1949; 117.
38. Fechner G. *Elemente der Psychophysik*. 2te Auflagen. Leipzig, Druck und Verlag von Breitkopf und Härtel, 1889. (ger).
39. Zabrodin Yu.M., Lebedev A.N. *Psychophysiology and psychophysics*. Moscow, Nauka Publ., 1977; 288. (rus).
40. Parfenenko A.P. *Rationing of fire safety requirements for evacuation paths and exits in buildings of preschool educational institutions : dissertation of the candidate of technical sciences*. Moscow, 2012; 153. (rus).

41. 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; 36(5-6):349-366. DOI: 10.1002/fam.2152
42. Gurfinkel V.S., Levik Yu.S. The concept of body patterns and motor control. *Intellectual processes and their modeling. Organization of movements*. Chernavskiy A.V. (ed.). Moscow, Nauka Publ., 1991; 59-105. (rus).
43. Slyusarev S.V. *Rationing of fire safety requirements for evacuation paths and exits for children with disabilities in buildings with massive stay : dissertation of the candidate of technical sciences*. Moscow, 2016; 189. (rus).
44. Kholshchevnikov V.V. Regularities of the connection between the parameters of human flows. Diploma No. 24-S for discovery in the field of social psychology. *Scientific discoveries*. Moscow, Russian Academy of Natural Sciences, International Academy of Authors of Scientific Discoveries and Inventions, International Association of Authors of Scientific Discoveries Publ., 2005; 63-69. (rus).
45. Grigoryants R.G., Podolnyy V.P. A graphic method for processing motion pictures of human streams. *News of the North Caucasian Scientific Center*. 1975; 1:17-19. (rus).
46. Aybuev Z.S.-A. *The formation of human flows on pre-factory territories of large industrial units of engineering profile : dissertation of the candidate of technical sciences*. Moscow, 1989; 292. (rus).
47. Kislyakov V.M., Filippov V.V., Shkolyarenko I.A. *Mathematical modeling and assessment of traffic conditions for cars and pedestrians*. Moscow, Transport Publ., 1979; 200. (rus).
48. Kholshchevnikov V.V., Nikonov S.A., Levin Yu.I. Calculation and modeling of the movement of human flows. *Research on the basics of architectural design (functional, physical, technical and aesthetic problems of architecture)*. Duvidzon R.M. (ed.). Tomsk, Tomsk State University Publ., 1983; 7-28. (rus).

*Поступила 16.02.2021, после доработки 29.03.2021; принята к публикации 21.04.2021  
Received February 16, 2021; Received in revised form March 29, 2021; Accepted April 21, 2021*

### Информация об авторах

**ХОЛЩЕВНИКОВ Валерий Васильевич**, д-р техн. наук, профессор кафедры пожарной безопасности в строительстве, Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий; главный научный сотрудник, Научно-исследовательский институт — Республиканский исследовательский научно-консультационный центр экспертизы, Москва, Российская Федерация; РИНЦ ID: 691753; Scopus Author ID: 57194448578; ResearcherID: AAP-2971-2020; ORCID: 0000-0001-8472-7749; e-mail: reglament2004@mail.ru

**ПАРФЕНЕНКО Александр Павлович**, канд. техн. наук, доцент кафедры комплексной безопасности в строительстве, заместитель директора Института комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Российская Федерация; РИНЦ ID: 800496; Scopus Author ID: 57214086032; ResearcherID: AAP-2933-2020; ORCID: 0000-0001-7490-8773; e-mail: parf01@inbox.ru

### Information about the authors

**Valeriy V. KHOLSHCHEVNIKOV**, Dr. Sci. (Eng.), Professor of Fire Safety in Construction Department, the State Fire Academy of the Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters; Expert of Scientific Research, Scientific Research Institute – Federal Research Centre for Projects Evaluation and Consulting Services; Moscow, Russian Federation; ID RISC: 691753; Scopus Author ID: 57194448578; ResearcherID: AAP-2971-2020; ORCID: 0000-0001-8472-7749; e-mail: reglament2004@mail.ru

**Aleksander P. PARFENENKO**, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of Department of Integrated Safety in Civil Engineering, Deputy Head of Institute of Integrated Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation; ID RISC: 800496; Scopus Author ID: 57214086032; ResearcherID: AAP-2933-2020; ORCID: 0000-0001-7490-8773; e-mail: parf01@inbox.ru

## Увеличение устойчивости противопожарной пены путем восполнения жидкой фазы при орошении

© С.И. Осипенко, А.В. Кокшаров ✉

Уральский институт Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22)

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Разрушение пенных пленок происходит, когда они достигают критической толщины при потере жидкой фазы в результате синерезиса и испарения, которые довольно сложно замедлить. Предложен способ повышения устойчивости противопожарной пены за счет восполнения жидкой фазы путем орошения.

**Методы исследования.** Устойчивость пены оценивалась по времени разрушения 25 % от первоначального объема пены. Концентрация пенообразователя в орошаемом растворе варьировалась от 0,5 до 6 %. В качестве стабилизирующей добавки использовали натриевую соль карбоксиметилцеллюлозы (Na КМЦ). Натурные исследования проводили посредством подачи пены и распыленного раствора от двух автоцистерн АЦ-3,2-40(43253)001-МС.

**Результаты и их обсуждение.** Установлено, что на устойчивость пены оказывают влияние интенсивность орошения и концентрация пенообразователя. Орошение пены растворами с низкой концентрацией пенообразователя приводит к вымыванию ПАВ из пленок с потерей устойчивости пены. Уменьшение интенсивности орошения повышает устойчивость пены вследствие восполнения потери влаги при испарении. Наибольшая устойчивость пены наблюдалась при орошении 2%-ным раствором пенообразователя, интенсивность орошения влияния не оказывала. Увеличение концентрации пенообразователя в орошаемом растворе привело к снижению устойчивости пены. Определено, что на поддержание объема пены путем орошения расходуется меньше пенообразователя, чем на восполнение разрушенного количества за счет дополнительной генерации пены. Показано, что с помощью орошения можно вводить в пену различные стабилизирующие добавки. Добавление Na КМЦ в орошаемый раствор привело к увеличению времени разрушения пены в 3–5 раз даже при однократном опрыскивании. Натурные испытания подтвердили целесообразность введения стабилизирующих добавок в пену посредством орошения.

**Выводы.** Результаты исследований показали, что существует возможность комбинированной подачи пены и растворов ПАВ, содержащих различные стабилизирующие добавки для тушения пожаров и получения стабильных пен.

**Ключевые слова:** концентрация пенообразователя; синерезис; разрушение пены; кратность пены; орошаемый раствор; стабильность пены; стабилизирующая добавка, тушение пеной

**Для цитирования:** Осипенко С.И., Кокшаров А.В. Увеличение устойчивости противопожарной пены путем восполнения жидкой фазы при орошении // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2021. Т. 30. № 4. С. 65–73. DOI: 10.22227/0869-7493.2021.30.04.65-73

✉ Кокшаров Александр Викторович, e-mail: koksharovab@e1.ru

## Increasing the stability of the fire extinguishing foam by replenishing the liquid phase during sprinkling

© Sergey I. Osipenko, Aleksandr V. Koksharov ✉

The State Fire Academy of the Ministry of Russian Federation for Civil Defence, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters (Mira St., 22, Ekaterinburg, 620062, Russian Federation)

### ABSTRACT

**Introduction.** The destruction of foam films occurs when they reach critical thickness and lose the liquid phase as a result of syneresis and evaporation, which are rather difficult to slow down. We have proposed a method for increasing the stability of the fire extinguishing foam by means of replenishing the liquid phase through sprinkling.

**Methods.** Foam stability was measured by the time of destruction of 25 % of the initial foam volume. The concentration of the foaming agent in the sprinkled solution varied from 0.5 to 6 %. Carboxymethylcellulose sodium salt (Na CMC) was used as a stabilizing additive. Field studies were carried out by feeding foam and solution from two AT-3,2-40 (43253)001-MS tank cars.

**Results and discussion.** It has been established that the foam stability is influenced by the sprinkling intensity and the foaming agent concentration. Foam sprinkling with the solutions having low concentration of the

foaming agent leads to the washout of surfactants from the films that reduces the foam stability. The sprinkling intensity reduction boosts the foam stability due to the replenishment of the moisture lost through evaporation. The foam stability was maximal in case of sprinkling with a 2 % solution of the foaming agent, while the sprinkling intensity had no influence. An increase in the concentration of the foaming agent in the sprinkled solution led to a decrease in the foam stability. It is found that a smaller amount of the foaming agent is consumed to maintain the amount of foam through sprinkling than to replenish the destroyed amount through additional foam generation. It is shown that various stabilizing additives can be added to the foam in the process of sprinkling. If Na CMC is added to the solution exposed to sprinkling, the time of foam destruction goes up 3–5 times even in case of a non-recurrent sprinkling session. Field tests have confirmed the feasibility of adding stabilizing additives to the foam by means of sprinkling.

**Conclusions.** The results of the research have shown the feasibility of co-feeding the foam and surfactant solutions, containing various stabilizing additives, in order to extinguish fires and generate stable foams.

**Keywords:** foaming agent concentration; syneresis; foam destruction; foam expansion; sprinkled solution; foam stability; stabilizing additive; foaming

**For citation:** Osipenko S.I., Koksharov A.V. Increasing the stability of the fire extinguishing foam by replenishing the liquid phase during sprinkling. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2021; 30(4):65-73. DOI: 10.22227/0869-7493.2021.30.04.65-73 (rus).

✉ Aleksandr Viktorovich Koksharov, e-mail: koksharovab@e1.ru

## Введение

Высокая устойчивость объема пены необходима не только при тушении пожаров, но и в следующих случаях: покрытие взлетно-посадочной полосы пеной при аварийной посадке самолета без шасси, предотвращение испарения легковоспламеняющихся жидкостей и химически опасных веществ при их разливе, покрытие пеной площадки при подготовке пенной атаки при тушении резервуаров и изоляции жидкости после ее тушения<sup>1, 2, 3</sup>, [1, 2]. В зависимости от сложившейся обстановки, пенное покрытие должно сохраняться в течение нескольких часов. По мере его разрушения приходится подавать новое количество пены. Проблема низкой устойчивости пены требует проведения соответствующих исследований.

Пузырьки пены разрушаются при воздействии на них вибраций, пыли и потоков воздуха, в том числе нагретых при пожаре. Наиболее чувствительны к этому пузырьки с очень тонкими пленками, к утончению которых приводит обеднение жидкостью в результате синерезиса и при испарении влаги с поверхности [3, 4].

Ранее нами было показано, что при температурном воздействии разрушение пены лимитируется скоростью обеднения верхних слоев жидкостью и, чтобы повысить ее устойчивость, необходимо

удерживать или восполнять влагу в верхнем слое пены [5, 6]. Следовательно, повысить устойчивость пены можно, если контролировать потерю влаги из пузырьков.

Существует несколько способов замедления синерезиса. Одним из них является повышение вязкости жидкой фазы при введении различных загущающих веществ [7–9]. Введение твердых частиц приводит к закупорке пенных каналов [10–12], также частицы способны сорбироваться на пенных пленках, что значительно повышает гидравлические сопротивления вплоть до полного прекращения истечения жидкости. Введение твердых частиц коллоидного размера повышает вязкость самой пленки [10, 13, 14].

Испарение влаги довольно сложно замедлить. Однако в некоторых работах показано, что во вспененном слое испарение влаги происходит быстрее [15], причем процесс ускоряется при инфракрасном энергоподводе [16, 17].

Поскольку потерю жидкой фазы в пене остановить не просто, интересным представляется изучение возможности ее восполнения путем орошения пены и, следовательно, повышения ее устойчивости, что является целью настоящей исследовательской работы.

## Методы исследования

Использовали синтетический углеводородный пенообразователь (ПО) общего назначения ПО-6РЗ и натриевую соль карбоксиметилцеллюлозы (Na КМЦ 75/400 ТУ 2231-001-68373646-2010). Устойчивость пены измеряли в баке размером 50 × 32 × 32 см.

*Исследование устойчивости пены при орошении водными растворами ПАВ*

Пену получали с помощью установки для определения ее кратности и устойчивости. Пена,

<sup>1</sup> Руководство по тушению нефти и нефтепродуктов в резервуарах и резервуарных парках : утв. ГУГПС МВД России (М-во внутр. дел Рос. Федерации. Гл. упр. Гос. противопожар. службы). 1999 г. М. : ГУГПС МВД России, 2000. 78 с.

<sup>2</sup> Рекомендации по тушению пожаров на воздушных судах на аэродромах гражданской авиации : договор от 11 декабря 1990 г. № 80.123-1540.

<sup>3</sup> Рекомендации по организации и ведению боевых действий подразделениями пожарной охраны при тушении пожаров на объектах с наличием аварийно химически опасных веществ. М. : ВНИИПО. 2003.

полученная посредством лабораторного пеногенератора и ствола Пурга-5 при одинаковых давлениях раствора перед распылителем и концентрации ПО в растворе, является аналогичной по своей структуре и кратности. Пенной наполняли бак, после чего с одинаковыми интервалами проводили ее опрыскивание из распылителя раствором ПО с заданной концентрацией и измеряли время разрушения 25 % пены от ее первоначального объема. Интенсивность орошения регулировали путем увеличения или уменьшения частоты опрыскивания, которая варьировалась от 1 до 0,05 с<sup>-1</sup>.

Интенсивность орошения рассчитывали по формуле (1):

$$I = \frac{m}{\tau S} 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{мин}}, \quad (1)$$

где  $m$  — масса затраченного на орошение раствора, г;  
 $\tau$  — время орошения, мин;  
 $S$  — площадь поверхности пены, 0,10 м<sup>2</sup>.

*Исследование устойчивости пены при орошении водными растворами, содержащими Na КМЦ*

Пенной наполняли бак, после чего один раз орошали ее 100 мл раствора, содержащего 2 % ПО и заданного количества Na КМЦ. Замеряли время разрушения 25 % пены от ее первоначального объема.

*Совместная подача пены и растворов ПАВ с Na КМЦ*

В испытаниях использовались две автоцистерны АЦ-3,2-40(43253)001-МС. От одной автоцистерны подавалась пена с помощью пеногенератора Пурга-5, одновременно от другой автоцистерны через ствол РСКУ-50А распыленной струей на пену подавался раствор ПО с концентрацией 2 % и Na КМЦ 0,02 кг/л. Данный раствор был приготовлен в сторонней емкости и забирался в пожарный насос с помощью напорно-всасывающего рукава. Кратность пены определяли путем взвешивания пробы пены объемом 5 л.

## Результаты и их обсуждение

Очевидно, что орошение пены водой повлечет за собой вымывание ПАВ из пенных пленок, что приведет к потере их прочности и последующему разрушению, поэтому необходимо, чтобы раствор содержал такое количество ПАВ, которое не вызовет обеднение адсорбированных слоев.

Для генерации пены в пожаротушении используют пеногенераторы эжекторного типа, в которых ее образование происходит в высокочастотном режиме, при котором требуется высокая скорость заполнения поверхностных слоев пленки молекулами ПАВ. Поэтому для устойчивого пено-

образования необходима достаточно высокая концентрация ПАВ [18, 19]. Однако при отсутствии внешних воздействий пена будет устойчива при значительно меньших концентрациях ПАВ, следовательно, минимальная концентрация орошаемого раствора может достигать предела пенообразующей способности данного ПО.

При проведении исследований нами изучалось влияние интенсивности орошения и концентрации ПО в орошаемом растворе на устойчивость пены (табл. 1). Время разрушения 25 % объема пены без орошения составляло  $25 \pm 3$  мин.

Результаты показали, что интенсивность орошения и концентрация ПО оказывают влияние на устойчивость пены.

Высокая интенсивность орошения (0,083–0,43 кг/м<sup>2</sup>·с) низкоконтрированными растворами (0,5–1,0 %) негативно влияет на устойчивость пены. Происходит вымывание ПАВ и снижение прочности пленок. Снижение интенсивности орошения (0,021–0,041 кг/м<sup>2</sup>·с), напротив, увеличивает время устойчивости объема пены. Вероятно, происходит восполнение той влаги, которую теряет пена в результате испарения, и ПАВ не вымываются.

Наибольшая устойчивость пены наблюдалась при орошении 2%-ным раствором ПО и составляла около 150 мин. При этом интенсивность орошения не оказывала влияния на время разрушения пены.

Увеличение концентрации ПО до 4 и 6 % в орошаемом растворе, наоборот, привело к снижению устойчивости пены. Высокая концентрация ПО необходима для устойчивой пеногенерации [18, 19], но она не повышает устойчивость объема пены и стойкость к температурному воздействию. Это было показано в более ранних наших исследованиях [20].

Интересно оценить расход ПО на поддержание объема пены путем орошения с учетом ПО, необходимого для получения исходного объема пены. Данный показатель был рассчитан по формуле (2):

$$q_{\text{ПО}} = \frac{m_{\text{ПО}} + mC0,01}{\tau} \frac{\text{г}}{\text{мин}}, \quad (2)$$

где  $m_{\text{ПО}}$  — масса ПО, необходимого для получения пены, 7,5 г;

$m$  — масса раствора, затраченного на орошение, г;

$C$  — концентрация орошающего раствора, %;

$\tau$  — время орошения, мин.

В результате установлено (табл. 1), что при орошении низкоконтрированными растворами расходуется гораздо меньше ПО, чем для поддержания требуемого объема пены за счет генерации ее нового объема (0,3 г/мин). Наилучший результат

**Таблица 1.** Результаты исследования устойчивости пены в зависимости от интенсивности орошения и концентрации ПО  
**Table 1.** Results of the study on foam stability depending on the sprinkling intensity and the foaming agent concentration

Измеряемый параметр Measured parameter	Интенсивность орошения, кг/м <sup>2</sup> ·мин Sprinkling intensity, kg/m <sup>2</sup> ·min				
	0,42–0,45	0,16–0,18	0,070–0,085	0,037–0,042	0,020–0,021
$C_{op} / C_{ss}$	<b>0,25</b>				
$m$	511	284	147	166	105
$I$	0,43	0,16	0,070	0,037	0,021
$\tau$	<b>12</b>	<b>17</b>	<b>21</b>	45	50
$q_{ПО} / q_{f.a}$	0,73	0,47	0,37	<b>0,18</b>	<b>0,16</b>
$C_{op} / C_{ss}$	<b>0,5</b>				
$m$	624	300	209	212	127
$I$	0,45	0,17	0,080	0,041	0,021
$\tau$	<b>14</b>	<b>18</b>	<b>26</b>	52	60
$q_{ПО} / q_{f.a}$	0,76	0,50	0,33	<b>0,16</b>	<b>0,14</b>
$C_{op} / C_{ss}$	<b>0,75</b>				
$m$	729	400	238	228	147
$I$	0,42	0,17	0,082	0,041	0,021
$\tau$	<b>18</b>	<b>24</b>	29	55	70
$q_{ПО} / q_{f.a}$	0,85	0,48	0,34	<b>0,18</b>	<b>0,13</b>
$C_{op} / C_{ss}$	<b>1,0</b>				
$m$	907	440	287	291	253
$I$	0,42	0,17	0,084	0,042	0,021
$\tau$	<b>22</b>	<b>27</b>	34	70	120
$q_{ПО} / q_{f.a}$	0,77	0,45	<b>0,30</b>	<b>0,15</b>	<b>0,084</b>
$C_{op} / C_{ss}$	<b>2,0</b>				
$m$	6420	1805	1268	725	328
$I$	0,43	0,18	0,085	0,041	0,022
$\tau$	150	100	150	175	150
$q_{ПО} / q_{f.a}$	0,91	0,44	<b>0,22</b>	<b>0,13</b>	<b>0,09</b>
$C_{op} / C_{ss}$	<b>4,0</b>				
$m$	1403	825	323	120	57,8
$I$	0,43	0,17	0,083	0,040	0,020
$\tau$	33	50	39	30	29
$q_{ПО} / q_{f.a}$	1,93	0,81	0,52	0,41	0,34
$C_{op} / C_{ss}$	<b>6,0</b>				
$m$	1680	302	164	88,8	84,0
$I$	0,42	0,17	0,082	0,042	0,021
$\tau$	40	<b>18</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	40
$q_{ПО} / q_{f.a}$	2,7	1,4	0,87	0,61	0,31

*Примечание:*  $C_{op}$  — концентрация орошаемого раствора, %;  $m$  — масса раствора ПО, затраченного на орошение пены, г;  $I$  — интенсивность орошения, кг/м<sup>2</sup>·мин;  $\tau$  — время разрушения 25 % объема пены, мин;  $q_{ПО}$  — расход ПО, г, на поддержание объема пены с учетом ПО, необходимого для получения исходного объема пены в минуту.

*Note:*  $C_{ss}$  is the concentration of the sprinkled solution, %;  $m$  is the mass of the foaming agent solution spent to sprinkle the foam, g;  $I$  is the sprinkling intensity, kg/m<sup>2</sup>·min;  $\tau$  is the time of destruction of 25 % of the foam, min;  $q_{f.a}$  is the consumption of the foaming agent, g, needed to maintain the foam amount, taking into account the amount of the foaming agent needed to obtain the initial foam amount during one minute.

был получен при орошении 2%-ным раствором ПО с наименьшей интенсивностью.

Таким образом, гораздо эффективнее поддерживать (сохранять) объем полученной пены, чем восполнять его за счет дополнительной подачи.

Поскольку орошение пены растворами ПАВ не приводит к их разрушению, то данный способ открывает возможность введения в пену добавок, которые невозможно ввести в исходный раствор для получения пены из-за повышения вязкости или

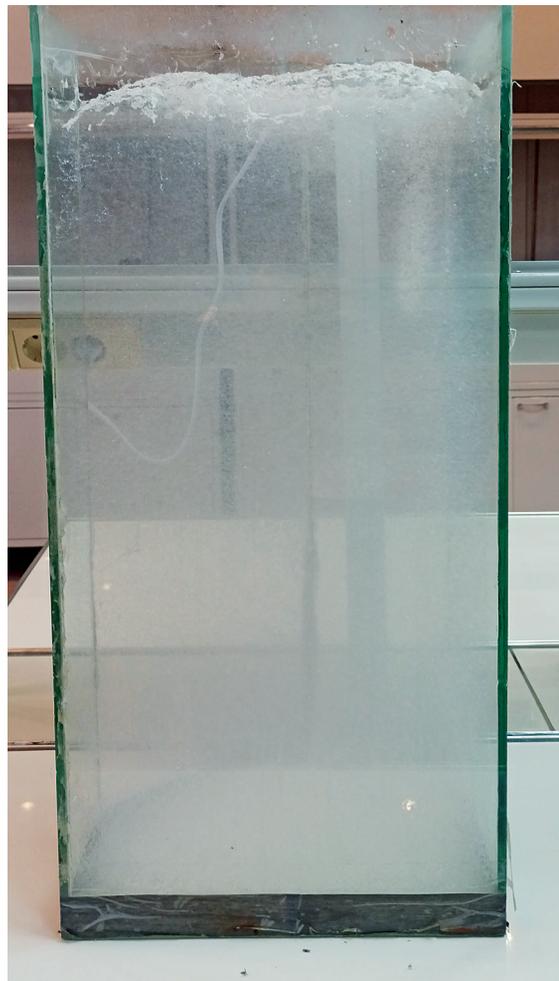
наличия твердых частиц, которые забивают сетку пеногенератора.

Нами уже было показано, что введение Na КМЦ позволяет значительно замедлить истечение жидкости, но вводить данную добавку в рабочий раствор для получения пены нельзя по ранее приведенным причинам [21]. Поэтому было интересным исследовать стабилизацию пены путем орошения растворами, содержащими Na КМЦ.

**Таблица 2.** Изменение высоты слоя пены и кратности с течением времени

**Table 2.** A change in the foam layer height and expansion ratio over time

Содержание Na КМЦ, г/л Na CMC content, g/l	0	5	10	15	20
Время разрушения 25 % объема, мин Time of destruction of 25 % of the amount, min	30	110	127	135	144



Пена после генерации (слева); пена спустя 30 мин после генерации (справа)

The foam immediately after its generation (left); the foam 30 minutes after its generation (right)

**Таблица 3.** Результаты испытаний с использованием пожарной техники  
**Table 3.** The results of testing performed using fire-fighting machinery

Время, мин Time, min	Кратность Expansion ratio	Высота слоя, см Layer height, cm	Время, мин Time, min	Кратность Time, min	Высота слоя, см Layer height, cm
Контроль (без орошения) Control (no sprinkling)			Орошение раствором Sprinkling by the solution		
0	65	35	0	50	30
10	789	33	12	316	30
20	1200	28	22	286	30
32	1000	24	34	286	30
40	1200	21	42	261	29
50	1200	18	53	353	29
61	1364	15	63	240	28

Результаты показали существенное увеличение времени разрушения пены даже при однократном опрыскивании и незначительном введении в нее добавки (табл. 2).

Использование прозрачной стеклянной емкости позволило наблюдать за процессом (см. рисунок). Добавка помогает связать влагу в верхнем слое пены, в результате ее разрушение происходит медленнее. Благодаря этому предохраняются нижние слои пены от высыхания. Таким образом, верхний слой защищает пену от высыхания и значительно продлевает время ее существования.

Следующим этапом исследований стало проведение натуральных испытаний с использованием пожарной техники. Пена подавалась на две площадки: одна выступала в качестве контрольной, на другую одновременно с подачей пены подавался распыленный раствор, содержащий 2 % ПО и Na КМЦ 0,02 кг/л. В ходе эксперимента следили за изменением кратности и высоты слоя пены (табл. 3).

Начальная кратность пены после орошения была ниже вследствие поступления в нее дополнительной влаги. Однако в результате синергизиса у пены, не обработанной раствором, наблюдается стремительное увеличение кратности по сравнению с другой. Также испытания подтвердили, что удержание влаги в верхнем слое делает его более устойчивым к внешним воздействиям. Так, верхний слой выступает в роли защитного барьера

нижних слоев пены, что в целом увеличивает время жизни пенного покрытия.

### Выводы

Исследована возможность увеличения устойчивости пены за счет восполнения жидкой фазы путем орошения верхних слоев. Установлены закономерности влияния интенсивности орошения и концентрации орошаемого раствора. Показана экономическая целесообразность, заключающаяся в том, что на поддержание (сохранение) объема полученной пены затрачивается меньше ПО, чем на ее восполнение за счет дополнительной генерации пены.

Предложен новый способ введения стабилизирующих добавок в пену и показана его целесообразность при проведении натуральных испытаний с использованием пожарной техники.

Результаты данных исследований имеют практическую значимость, поскольку могут быть использованы для увеличения времени существования пены при проведении аварийно-спасательных работ, например, при разливе нефтепродукта, который должен быть покрыт пеной для предотвращения его воспламенения, или при проведении специальной обработки, где важным является сохранение объема пены.

Результаты работы открывают перспективы дальнейших исследований для изучения комбинированной подачи пены и водных растворов ПАВ с различными добавками для тушения пожаров.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ramsden N. Storage tank firefighting // *Loss Prevention Bulletin*. 2011. No. 222.
2. Ratzler A.F. History and development of foam as a fire extinguishing medium // *Industrial & Engineering Chemistry*. 1956. Vol. 48. Issue 11. Pp. 2013–2016. DOI: 10.1021/ie50563a030
3. Gochev G., Platikanov D., Miller R. Chronicles of foam films // *Advances in colloid and interface science*. 2016. Vol. 233. Pp. 115–125. DOI: 10.1016/j.cis.2015.08.009
4. Walstra P. Principles of foam formation and stability // *Foams: Physics, chemistry and structure*. London : Springer, 1989. Pp. 1–15. DOI: 10.1007/978-1-4471-3807-5\_1
5. Yu X. et al. Comparative studies on foam stability, oil-film interaction and fire extinguishing performance for fluorine-free and fluorinated foams // *Process Safety and Environmental Protection*. 2020. Vol. 133. Pp. 201–215. DOI: 10.1016/j.psep.2019.11.016
6. Кокишаров А.В., Осипенко С.И., Гайнуллина Е.В. Исследование термической устойчивости пены различной кратности // *Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety*. 2020. Т. 29. № 3. С. 103–110. DOI: 10.22227/PVB.2020.29.03.103-110
7. Любимов В.Н., Скушеникова А.И., Ермакова Т.Г., Волкова Л.И. Повышение устойчивости противопожарных пен при помощи полимерных добавок различной природы // *Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety*. 2014. Vol. 23. № 4. С. 77–80. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21519973>
8. Platikanov D., Exerowa D. Thin liquid films // *Fundamentals of Interface and Colloid Science*. 2005. Vol. 5. Pp. 6.1–6.91. DOI: 10.1016/s1874-5679(05)80010-8
9. Nguyen A.V. Liquid drainage in single Plateau borders of foam // *Journal of Colloid and Interface Science*. 2002. Vol. 249. Issue 1. Pp. 194–199. DOI: 10.1006/jcis.2001.8176
10. Horozov T. Foams and foam films stabilised by solid particles // *Current Opinion Colloid Interface Science*. 2008. Vol. 13. Issue 3. Pp. 134–137. DOI: 10.1016/j.cocis.2007.11.009
11. Вилкова Н.Г., Еланева С.И., Волкова Н.В., Бровкина Е.Н. Пены, стабилизированные твердыми частицами: вопросы устойчивости // *Известия ПГПУ им. В.Г. Белинского*. 2011. № 25. С. 684–689. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17391696>
12. Кокишаров А.В., Гайнуллина Е.В., Кондратьева М.А. Изучение влияния размера и концентрации частиц твердой фазы на устойчивость пенопорошковых огнетушащих составов // *Техносферная безопасность*. 2021. № 1 (30). С. 60–68. URL: <https://uigps.ru/userfls/ufiles/nauka/journals/ttb/TB%2030/6.pdf>
13. Binks B.B., Horozov T.S. Aqueous foams stabilized solely by silica nanoparticles // *Angewandte Chemie International Edition*. 2005. Vol. 44. Issue 24. Pp. 3722–3725. DOI: 10.1002/anie.200462470
14. Gonzenbach U.T., Studart A.R., Tervoort E., Gauckler L.J. Stabilization of foams with inorganic colloidal particles // *Langmuir*. 2006. Vol. 22. Issue 26. Pp. 10983–10988. DOI: 10.1021/la061825a
15. Алексанян И.Ю., Буйнов А.А. Высокоинтенсивная сушка пищевых продуктов. Пеносушка. Теория. Практика. Моделирование : монография. Астрахань : Изд-во АГТУ, 2004. 380 с.
16. Алексанян И.Ю., Давидюк В.В., Саитова Л.Х.-А. Оптимизация режимов вакуумной пеносушки сухих моющих средств на основе белковых гидролизатов // *Вестник астраханского государственного технического университета*. 2005. № 2 (25). С. 292–296. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=11160216>
17. Boyd C.F., Di Marzo M. The behavior of a fire-protection foam exposed to radiant heating // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 1998. Vol. 41. Issue 12. Pp. 1719–1728. DOI: 10.1016/S0017-9310(97)00280-9
18. Кокишаров А.В., Осипенко С.И. Определение критических параметров образования пены на сетках пеногенератора средней кратности // *Техносферная безопасность*. 2017. № 1 (14). С. 35–38.
19. Kovalyshyn V., Kyryliv Y., Grushovinchuk O. Експериментальні дослідження процесу взаємодії струменів повітряно-механічної піни різної кратності під час їх польоту // *Пожежна безпека*. 2018. № 32. С. 32–38. DOI: 10.32447/20786662.32.2018.05
20. Кокишаров А.В., Осипенко С.И., Гайнуллина Е.В., Кретунов А.А. Исследование зависимости термической устойчивости пены от концентрации пенообразователя // *Техносферная безопасность*. 2020. № 2 (27). С. 11–15. URL: <https://www.uigps.ru/userfls/ufiles/nauka/journals/ttb/TB%2027/2.pdf>
21. Кокишаров А.В., Марков В.Ф., Бучельников Д.Ю., Терентьев В.В. Стабилизация пены низкой кратности натриевой солью карбоксиметилцеллюлозы // *Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety*. 2014. Т. 23. № 10. С. 79–83. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23136740>

## REFERENCES

1. Ramsden N. Storage tank firefighting. *Loss Prevention Bulletin*. 2011; 222.
2. Ratzler A.F. History and development of foam as a fire extinguishing medium. *Industrial & Engineering Chemistry*. 1956; 48(11):2013-2016. DOI: 10.1021/ie50563a030
3. Gochev G., Platikanov D., Miller R. Chronicles of foam films. *Advances in colloid and interface science*. 2016; 233:115-125. DOI: 10.1016/j.cis.2015.08.009
4. Walstra P. Principles of foam formation and stability. *Foams: Physics, chemistry and structure*. London, Springer, 1989; 1-15. DOI: 10.1007/978-1-4471-3807-5\_1
5. Yu X. et al. Comparative studies on foam stability, oil-film interaction and fire extinguishing performance for fluorine-free and fluorinated foams. *Process Safety and Environmental Protection*. 2020; 133:201-215. DOI: 10.1016/j.psep.2019.11.016
6. Koksharov A.V., Osipenko S.I., Gainullina E.V. Study of the thermal stability of foam of different expansion ratio. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2020; 29(3):103-110. DOI: 10.22227/PVB.2020.29.03.103-110 (rus).
7. Lyubimov V.N., Skushnikova A.I., Ermakova T.G., Volkova L.I. Improving the sustainability of fire foams using polymeric additives of different nature. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2014; 23(4):77-80. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21519973> (rus).
8. Platikanov D., Exerowa D. Thin liquid films. *Fundamentals of Interface and Colloid Science*. 2005; 5:6.1-6.91. DOI: 10.1016/s1874-5679(05)80010-8
9. Nguyen A.V. Liquid drainage in single Plateau borders of foam. *Journal of Colloid and Interface Science*. 2002; 249(1):194-199. DOI: 10.1006/jcis.2001.8176
10. Horozov T. Foams and foam films stabilised by solid particles. *Current Opinion Colloid Interface Science*. 2008; 13(3):134-137. DOI: 10.1016/j.cocis.2007.11.009
11. Vilkovala N.G., Eleneva S.I., Volkova N.V., Brovkinina E.N. Foams stabilized by solid particles: the problem of stability. *Izvestiya PSPU im. V.G. Belinsky*. 2011; 25:684-689. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17391696> (rus).
12. Koksharov A.V., Gainullina E.V., Kondratieva M.A. Investigation of the effect of solid phase particles size and concentration on the stability of foam-powder fire extinguishing compositions. *Technosphere safety*. 2021; 1(30):60-68. URL: <https://uigps.ru/userfiles/ufiles/nauka/journals/ttb/TB%2030/6.pdf> (rus).
13. Binks B.B., Horozov T.S. Aqueous foams stabilized solely by silica nanoparticles. *Angew. Chemistry*. 2005; 44(24):3722-3725. DOI: 10.1002/anie.200462470
14. Gonzenbach U.T., Studart A.R., Tervoort E., Gauckler L.J. Stabilization of foams with inorganic colloidal particles. *Langmuir*. 2006; 22(26):10983-10988. DOI: 10.1021/la061825a
15. Aleksanyan I.Yu., Buinov A.A. *High-intensity drying of food products. Foam gun. Theory. Practice. Modeling : monograph*. Astrakhan, AGTU Publishing House, 2004; 380. (rus).
16. Aleksanyan I.Yu., Davidiyuk V.V., Saipova L.Kh. A. Optimization of operating conditions of vacuum foam dryer for dry detergents on the basis of protein hydrolysates. *Vestnik of Astrakhan State Technical University*. 2005; 2(25):292-296. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=11160216> (rus).
17. Boyd C.F., Di Marzo M. The behavior of a fire-protection foam exposed to radiant heating. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 1998; 41(12):1719-1728. DOI: 10.1016/S0017-9310(97)00280-9
18. Koksharov A.V., Osipenko S. I. The determination of the critical parameters of the foam generation on the grid foam generator average multiplicity. *Technosphere safety*. 2017; 1(14):35-38. (rus).
19. Kovalyshyn V.V., Kyryliv Y.B., Grushovinchuk O.V. Interaction between air-filled foam jets of different expansion ratios: experimental study. *Fire Safety*. 2018; 32:32-38. DOI: 10.32447/20786662.32.2018.05 (ukr).
20. Koksharov A.V., Osipenko S.I., Gainullina E.V., Krikunov A.A. Investigation of the dependence of the thermal stability of foam on the concentration of the foaming agent. *Technosphere safety*. 2020; 2(27):11-15. (rus).
21. Koksharov A.V., Markov V.F., Buchelnikov D.Yu., Terentyev V.V. Stabilization of high density foams sodium salt of carboxymethylcellulose. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2014; 23(10):79-83. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23136740> (rus).

Поступила 04.05.2021, после доработки 14.06.2021;  
принята к публикации 05.07.2021

Received May 4, 2021; Received in revised form June 14, 2021;  
Accepted July 5, 2021

**Информация об авторах**

**ОСИПЕНКО Сергей Игоревич**, старший преподаватель кафедры пожаротушения и аварийно-спасательных работ, Уральский институт Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, г. Екатеринбург, Российская Федерация; РИНЦ ID: 1011020; e-mail: [angero07@rambler.ru](mailto:angero07@rambler.ru)

**КОКШАРОВ Александр Викторович**, канд. хим. наук, доцент, доцент кафедры пожаротушения и аварийно-спасательных работ, Уральский институт Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, г. Екатеринбург, Российская Федерация; РИНЦ ID: 182341; e-mail: [koksharovab@e1.ru](mailto:koksharovab@e1.ru)

**Information about the authors**

**Sergey I. OSIPENKO**, Senior Lecturer of the Department of Fire Fighting and Rescue Operations, the State Fire Academy of the of the Ministry of Russian Federation for Civil Defence, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, Ekaterinburg, Russian Federation; ID RISC: 1011020; e-mail: [angero07@rambler.ru](mailto:angero07@rambler.ru)

**Aleksandr V. KOKSHAROV**, Cand. Sci. (Chem.), Docent, Associate Professor of the Department of Fire Fighting and Rescue Operations, the State Fire Academy of the of the Ministry of Russian Federation for Civil Defence, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, Ekaterinburg, Russian Federation; ID RISC: 182341; e-mail: [koksharovab@e1.ru](mailto:koksharovab@e1.ru)

<https://doi.org/10.22227/0869-7493.2021.30.04.74-89>  
УДК 614.8.084;351.78

## Новые ориентиры профессиональной культуры лиц, регулирующих отношения в области пожарной безопасности<sup>1</sup>

© А.В. Ершов✉, В.Б. Коробко

Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4)

### АННОТАЦИЯ

Данная статья посвящена решению задачи преодоления разрыва между современным уровнем научно-технического прогресса, прежде всего в части нормативного правового технического регулирования в области обеспечения пожарной безопасности, и квалификацией лиц, уполномоченных на регулирование отношений в области обеспечения пожарной безопасности (далее — ЛРО) в рамках перехода государственного регулирования отношений в области обеспечения пожарной безопасности с устаревшей условно-типовой на новую расчетно-сценарную (риск-ориентированную) целевую модель принятия решений по контролю за безопасным состоянием техносферы в условиях резкого повышения динамики социокультурных процессов. На базе Учебно-научного комплекса организации надзорной деятельности Академии государственной противопожарной службы МЧС России, в рамках разработки предложений по исполнению п. 10 Протокола № 1 заседания Рабочей группы МЧС России от 20 мая 2019 г. «По организации взаимодействия с органами управления ведомственной пожарной охраны федеральных органов исполнительной власти и организаций», разработан Перечень ориентиров профессиональной культуры лиц, регулирующих отношения в области пожарной безопасности на период перехода с типовой на риск-модель организации контрольно-надзорной и разрешительной деятельности.

Данный перечень представляет собой базовый набор смысловых профессиональных ориентиров, освоение которых позволяет перевести сознание ЛРО с прежней типовой парадигмы принятия решений в области обеспечения пожарной безопасности на новую риск-ориентированную парадигму. Исходя из условий настоящей публикации в ней раскрыто содержание только некоторых, по мнению авторов, наиболее значимых ориентиров профессиональной риск-ориентированной культуры ЛРО.

**Ключевые слова:** трансформация сознания; государственное регулирование; порядок; базовые (системообразующие) ориентиры; правила поведения

**Для цитирования:** Ершов А.В., Коробко В.Б. Новые ориентиры профессиональной культуры лиц, регулирующих отношения в области пожарной безопасности // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2021. Т. 30. № 4. С. 74–89. DOI: 10.22227/0869-7493.2021.30.04.74-89

✉ Ершов Александр Владимирович, e-mail: ave72@mail.ru

## New milestones of professional culture for the persons regulating relations in the field of fire safety

© Aleksandr V. Ershov✉, Vadim B. Korobko

The State Fire Academy of the Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation)

### ABSTRACT

The article addresses the problem of bridging the divide between the present-day technological advancement, primarily in the field of normative legal and technical regulation of fire safety, and the qualification of persons, authorized to regulate relations in fire safety assurance (hereinafter — “Authorized persons”) in the context of transition of the state regulation of fire safety relations from an obsolete standard target model to a new analytical and scenario-based (risk-oriented) target model used to make decisions in the area of control over the safe condition of the technosphere in view of a sudden increase in the dynamics of sociocultural processes.

The Education and Research Supervision Unit of the State Fire Academy of the EMERCOM of Russia (the Ministry for Civil Defense, Emergencies, and Elimination of Consequences of Natural Disasters), responsible for the drafting of suggestions concerning the implementation of point 10, Minutes № 1 of the meeting of the workgroup of EMERCOM of Russia on May 20, 2019 “Regarding the arrangement of interaction with the management author-

<sup>1</sup> Окончание. Начало см. в журнале «Пожаровзрывобезопасность» № 1 за 2021 г., С. 75–85; № 2 за 2021 г., С. 98–116.

ities of the institutional firefighting service of executive federal authorities and organizations”, has developed “The list of milestones of professional culture for the persons responsible for regulating relations in the field of fire safety for the period of transition from a standard target model to the risk model of controlling, supervisory, and authorization-related activities” (hereinafter — “the List”).

This List represents a basic set of conceptual professional milestones, whose attainment enables authorized persons to re-focus their conscience from an obsolete standard paradigm, used to make decisions in the area of fire safety, to a new risk-oriented one.

Given the focus of this article, it defines some, or the most significant, milestones of professional risk-oriented culture of authorized persons.

**Keywords:** conscience transformation; state regulation; order; basic (backbone) milestones; rules of conduct

**For citation:** Ershov A.V., Korobko V.B. New milestones of professional culture for the persons regulating relations in the field of fire safety. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2021; 30(4):74-89. DOI: 10.22227/0869-7493.2021.30.04.74-89 (rus).

✉ Aleksandr Vladimirovich Ershov, e-mail: ave72@mail.ru

## Введение

Для решения задачи преодоления разрыва между современным уровнем научно-технического прогресса в областях создания методов расчетно-сценарного моделирования процессов и явлений в области обеспечения пожарной безопасности, методов нормативно-правового регулирования социальных отношений в области обеспечения пожарной безопасности на основе расчетно-сценарного моделирования, методов практического внедрения самых современных достижений в практику проектирования, строительства и эксплуатации объектов техносферы и квалификации лиц, уполномоченных на регулирование отношений в области обеспечения пожарной безопасности (далее — ЛРО), через практическую профессиональную деятельность которых, как правило, производится исполнение важнейшей общественной функции — обеспечение надежного контроля техносферы, на базе Учебно-научного комплекса организации надзорной деятельности Академии государственной противопожарной службы МЧС России был разработан Перечень ориентиров профессиональной культуры лиц, регулирующих отношения в области пожарной безопасности на период перехода с типовой на риск-модель организации контрольно-надзорной и разрешительной деятельности (далее — Перечень).

Формальным практическим поводом для разработки такого Перечня послужило поручение Рабочей группы МЧС России по организации взаимодействия с органами управления ведомственной пожарной охраны федеральных органов исполнительной власти и организаций» (п. 10 протокола № 1 заседания Рабочей группы от 20 мая 2019 г.).

Содержание разработанного Перечня было определено методологическим содержанием логики смены парадигм в организации контрольно-надзорной деятельности с типовой на расчетно-сценарную, чему, как надеются авторы, будет посвящена отдельная публикация, а в настоящей статье раскроем только самые важные моменты.

В качестве важнейшего базового ориентира в логистике смены парадигм был выбран ориентир трансформации профессионального сознания (и связанного с ним широкого общественного сознания) с привычной модели условного «бессознательного» (типового, не требующего никакой проверки соответствия ранее разработанного технического решения обстоятельствам его повторного применения) на условное «осознанное» (на основе результатов проверки любого принимаемого решения обстоятельствам его применения).

Основанием для такого выбора послужили практические результаты научных исследований [1] в области информационной деятельности, из которых следует, что человек осуществляет любую деятельность в соответствии с теми информационными ориентирами, которые определены в качестве базовых для конкретной профессиональной деятельности [1, с. 23]. Такие ориентиры следует именовать базовыми объектами профессиональной информационной культуры (БОПИК).

Очевидно, что БОПИК могут изменяться в зависимости от динамики обстоятельств жизнедеятельности, не учитывая которые не позволяет обеспечить необходимое качество (обоснованность, доказанность) принимаемого решения. Динамика процессов индустриализации и урбанизации приводит к необходимости своевременной трансформации БОПИК. Отметим, что происходящее в последние 50 лет резкое ускорение процессов индустриализации и урбанизации приводит к постоянному появлению профессиональных проблемных ситуаций (обстоятельств неопределенности), побуждающих к активному системному поиску новых решений, что требует нормативного закрепления в профессиональной культуре таких БОПИК, которые будут обеспечивать профессиональную деятельность решениями, обладающими высоким уровнем надежности в постоянно меняющихся (новых) обстоятельствах. Несколько забега вперёд, скажем, что вопрос трансформации БОПИК авто-

ры предлагают решать методом модернизации, под которым будут понимать не столько «современное течение» (цель которого — преодоление отставания в экономической среде, как это по обыкновению делается) и также не столько копирование практик зарубежных стран (которые по определению считаются более успешными, чем отечественные, некоторыми, по всей видимости, не всегда компетентными специалистами, основным методом познания которых является метод репродукции — повторения чужого, без производства необходимой оценки применимости чужого в своих реалиях), а сколько художественное течение «модерн», основная миссия которого заключается в преодолении эклектизма (от греч. *eklektikos* — способный выбирать) — метод произвольного соединения разноприродных и разнологических заимствований из смежных сред, не приводящий к единству и целому, применяется для маскировки деятельности под реконструктивный уровень разработки нового, практическая цель — создание муляжа), поиске гармонии во всех сферах человеческой жизни, прежде всего в техносфере (в основу положена идея преобразования жизни средствами искусства).

Общая информационная схема процесса модернизации БОПИК представлена на рис. 1.

Таким образом, следует говорить о необходимости формирования новой профессиональной культуры, основой которой будет новое профессиональное сознание, отражающее современные обстоятельства высокой социокультурной динамики, определяемые высокими темпами и уровнями индустриализации и урбанизации современного общества. В этой свя-

зи попробуем проанализировать основные аспекты профессионального сознания.

Во-первых, в профессиональном сознании стоит выделять объективные институциональные установления, определяющие особенности поведения ее обладателя, прежде всего, объективные — связанные с общественным статусом (значимостью) профессиональной деятельности, и субъективные — связанные с нравственными основами личности, а также с уровнем (глубиной) профессиональных знаний, умений и навыков [2].

При этом объективные и субъективные институциональные профессиональные установления должны обладать неразрывной связью. Первые реализуют статус целевых ориентиров, а вторые — исполнительский статус. Отсюда следует, что профессиональное сознание как форма общественного сознания представляет собой совокупность основных социальных требований, ценностей, идеалов, представлений, обращенных к конкретной профессии, предназначенных для регулирования профессиональных отношений, включая соотнесение узкопрофессиональных требований с общественными установлениями [2].

Следовательно, необходимость трансформации профессионального сознания, как правило, обусловлена не столько необходимостью трансформации профессиональной этики, исходя из потребности ее внутреннего совершенствования, сколько более высокими, часто экзистенциальными потребностями (потребностями в выживании всей общности, государства), которые побуждают, а часто и при-



Рис. 1. Схема модернизации БОПИК в обстоятельствах высокой социокультурной динамики

нуждают нашедшее временный покой профессиональное сознание к необходимым изменениям.

Для реализации задачи трансформации профессионального и общественного сознаний под назревшие общественные потребности необходимо введение в конкретную профессиональную среду новых смысловых ориентиров, которые, несмотря на их новизну, будут отвечать следующим критериям:

- понятны широким слоям населения;
- соответствуют базовым социальным потребностям в защите охраняемых общественных ценностей (в качестве таковых, как правило, выступают требования уголовного законодательства);
- применимы для исполнения в качестве базовой основы по обеспечению надежного контроля за техносферой;
- приемлемы для организации и исполнения высшего государственного контроля за исполнителями функции контроля за техносферой.

При этом следует учитывать, что техносфера, по фактам своего происхождения и способам реализации, противопоставляет себя Природе (в самом широком и высоком смысле этого слова), навязывая обществу все новые и новые по отношению к устоявшимся (апробированным в Природе за десятки тысяч лет) стандарты мыслей и идеалов обычно без проверки соразмерности этих «новаций» Природе [2, с. 5].

В этой связи хотелось бы вспомнить широко и в последнее время часто неуместно (по всей видимости, в связи с низкой квалификацией либо злонамеренностью) применяемую метафору «правила писаны кровью» и сопоставить ее с естественным (неопровержимым) фактом того, что для написания правил, соразмерных новым обстоятельствам, на ближайшую и тем более на дальнюю перспективу, как правило, требуется производство глубоких научных изысканий, которые необходимо обеспечить значительными финансовыми и материальными средствами, временем и высококвалифицированными кадрами, нехватка которых ощущается все острее (под высококвалифицированными кадрами авторы понимают кадры, способные мыслить нешаблонно, т.е. не на основе типовых норм). Таким образом, можно утверждать, что метафора «правила писаны кровью» имеет значительно большее отношение к бытовой, чем к профессиональной культуре, основанной на выверенной научно-методической расчетно-сценарной парадигме принятия решений. В этой связи, если должностное лицо, уполномоченное на принятие управленческих решений, требующих научное (профессиональное) обоснование, прибегает к типовым решениям без привязки их к применяемым обстоятельствам (без

применения профессиональной научной основы), то такое должностное лицо действует в рамках культуры, имеющей все признаки обыденной (бытовой) культуры, а именно:

- а) отсутствие четких границ полномочий у лиц, принимающих решения;
- б) отсутствие описания проблемных ситуаций, подлежащих профилактике, в качестве целевого ориентира принимаемого решения;
- в) отсутствие четких смысловых ориентиров для каждого принимаемого решения;
- г) нечеткость формулировок самого решения, которые позволяют трактовать его любым образом;
- д) не указание необходимых ориентиров в формировании и исполнении решения;
- е) отсутствие перечня контролируемых точек в исполнении решения (чек-листа), которые позволяют обеспечить надежный контроль за исполнением решения;
- ж) спонтанность в выборе как самого решения, так и его обоснования;
- з) отсутствие причинно-следственных (коммуникационных) связей между проблемой, решением, а также между этапами решения и этапами его исполнения.

В целом, такой «методический» подход более всего соответствует древнерусской традиции: «Поди туда — не знаю куда, принеси то — не знаю что», что не может не вызывать сознательного профессионального сожаления.

В рамках такой бессознательной «профессиональной» культуры, появляется необходимость тотального сопровождения (согласования, урегулирования) принимаемого решения со всеми должностными лицами всех контрольных организаций, каждое из которых признано обеспечить учет собственных и/или организационно-отраслевых интересов, что делает согласительную процедуру бесконечной, а принимаемое решение — ориентированным не на целевую функцию, а на интересы сторон, согласовывающих это решение, что, как правило, приводит к нецелевому расходованию денежных и иных общественных и частных ресурсов.

Такое регулирование общественно значимых социальных отношений по обеспечению надежного контроля за техносферой резко снижает результативность контроля, что, как правило, выражается в крупных деструктивных техносферных событиях, которые нередко сопровождаются массовой гибелью людей.

В этой связи авторы полагают целесообразным заметить, что, если сам человек является частью Природы, то это делает неразумным использование им таких приоритетов, которые противоречат Природе вообще и Природе самого человека, в частности.

Крупное масштабирование таких (чуждых Природе самого человека) приоритетов неизбежно приведет человечество к самоуничтожению [3, с. 6] в самом широком понимании этого слова. Единственным способом избежать трагической развязки в конфликте покорения Природы человеком (через расширение и углубление техносферы — индустриализацию и урбанизацию) — это максимально разумное и осторожное (предусмотрительное) использование открывшихся человечеству возможностей по управлению разными энергиями, в основе которого должна быть положена стратегия единства жесткой регламентации при взаимодействии с физическим миром в зависимости от общественного вреда, включая среду обитания.

Такая постановка является более широкой по отношению к профессиональному сознанию только как профессионально-трудовому или личностному-трудовому самосознанию.

Во-вторых, широта представленной авторами постановки вопроса о профессиональном сознании как о части общественного сознания базируется на том, что общественное разделение труда произошло в связи с потребностью разумных и свободных людей в большей безопасности и выгоде, проистекающих из личностного разумного эгоизма: «Всякий, предлагающий другому сделку какого-либо рода, предлагает ... Дай мне то, что мне нужно, и ты получишь то, что тебе нужно» [4, Книга 1. Глава 2. О причине, вызывающей разделение труда].

При этом разделение труда возможно только в обстоятельствах достаточно широкого рынка [4, Книга 1. Глава 3. Разделение труда ограничивается размерами рынка], что требует изобретения и употребления денег, как средства (орудия, инструмента) торговли (обмена) [4, Книга 1. Глава 4. О происхождении и употреблении денег], которые создают основу системы измерения результатов труда, товаров, услуг.

Денежные знаки, выполняя роль своеобразного эквивалента между затраченным трудом и полученным результатом этого труда, могут обеспечить высокий уровень надежности исполнения функции универсального инструмента измерения только при высоком уровне стандартизации разделенного труда и разделенных результатов труда, которые обладают качеством естественной понятности для большинства социума, представляющего регулирующее меньшинство, участвующего в рынке, и понимание качества принимается подавляющим большинством всего социума, производящего результаты труда, товары и услуги.

При этом следует учитывать, что естественный уровень понятности базируется исключительно на бытовом понимании связи между полезностью и трудом, затраченным на производство продук-

ции. При повышении производительности труда, основанной на механизации производства, это понимание сначала несколько огрубляется, становясь фрагментарным, а затем, с внедрением автоматизации и цифровизации в производственные цепочки естественное понимание полностью исчезает.

Таким образом, образуется естественный смысловой (естественно-понятийный) барьер между производителями и потребителями товаров и услуг, который резко повышается в связи с взрывным ростом индустриальных технологий, измерить полезность от применения которых для потребителя сам потребитель уже не в состоянии, тем более он не способен произвести самостоятельно оценку качества этой продукции, а также сопоставить оценку качества с затратами на производство в пересчете на приобретаемую единицу продукции.

Такое методологическое противоречие следует изучать и искать пути для его преодоления, в противном случае тот лимит общественного доверия к общественно полезному устройству нашего общества, который был завоеван миллионами тружеников нашей планеты, может быть безвозвратно потерян, что, по всей видимости, станет предвестником тотального хаоса с промежуточными локальными доминантами императивов узкогрупповых интересов.

Однако эта тема далеко выходит за пределы настоящей работы, в рамках которой нам следует сосредоточиться на обеспечении максимального высокого уровня понятности (соразмерности) качества продукции (в нашем случае инструмента регулирования отношений в сфере техносферной безопасности) как для профессионалов, так и для всего социума на основе новых смысловых ориентиров, объединяющих пространственно-временные континуумы обыденного и профессионального сознаний.

В-третьих, авторы полагают, что наступило время использования природосообразных технологий в формировании профессиональной культуры в области техносферной безопасности, что будет проявляться в отказе от непонятной цифровой либо буквенной и иной аналогичной индексации, за которыми скрываются резко искусственные (не обозначающие естественно-понятной причинно-следственной связи, «чисто» абстрактные) смысловые образования (например, степень огнестойкости или категория по взрывопожарной и пожарной опасности), в пользу естественно понятных абстрактных категорий (например, таких как расчетное либо экспериментальное время эвакуации людей и расчетное время наступления критических для людей значений опасных факторов пожара), большинство из которых уже включено в профессиональный обиход специалистов, обладающих должной квалификацией.

Таким образом, следует указать на нарастающее противостояние природосообразного регулирования отношений в техносфере (в основу которого положена максимально строгая, корректная оценка — расчетно-сценарное моделирование) и культуросообразного (от культа — религиозного служения, обрядового поведения) регулирования, в основу которого положено максимально строгое соблюдение жестких (обрядовых) шаблонных решений.

Справедливо будет отметить, что в предыдущий период жизнедеятельности культуросообразное регулирование общественных отношений в обществе и в техносфере обеспечивало общественное выживание на протяжении, как минимум, 10 тыс. лет.

При этом также справедливо будет отметить, что культуросообразное регулирование в условиях значительных объемов индустриализации и урбанизации, а также в условиях высоких темпов их роста уже не способно обеспечить общественное выживание, т.е. выживание всего социума как в настоящем, так и в будущем.

В самом общем виде это информационное противоборство будет все больше возрастать и выражаться в противопоставлении парадигм общественного развития «Я» и «МЫ».

Применительно к области обеспечения техносферной, в частности, пожарной безопасности, противопоставление парадигм «Я» и «МЫ» будет выражаться в противодействии уходящей парадигмы «обеспечения пожарной безопасности» (сформированной на основе культурносообразного регулирования — культурно-обрядовой деятельности) и приходящей парадигмы «регулирования отношений по обеспечению пожарной безопасности» (сформированной на основе научно-обоснованных расчетно-сценарных соотношений и закономерностей, выступающих в качестве смысловой научно-доказательной основы организации надежного контроля (надзора) за техносферой в современных условиях высокой динамики социокультурных процессов). Схема противостояния указанных парадигм представлена на рис. 2.

В-четвертых, в рамках настоящей работы будет уместно указать, что противостояние представленных выше парадигм общественного развития «Я» и «МЫ» на площадке техносферной безопасности уже обозначилось в самой жесткой форме противопоставления двух видов сознания: обыденного (бытового), которое долгое время использовалось в качестве профессионального (обоснованного технической нормой), и научно-профессионального (обоснованного оценкой природы происходящих процессов и явлений с выявлением закономерностей).

Покажем это на логическом примере реактивных действий в зависимости от профессиональных

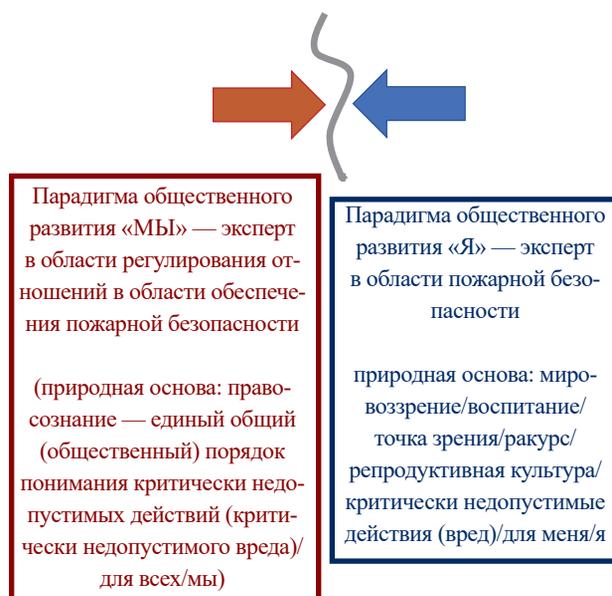


Рис. 2. Схема противостояния парадигм общественного развития «Я» и «МЫ» применительно к области обеспечения пожарной безопасности»

потребностей (авторы позаимствовали этот пример у известного просветителя компьютерной грамотности конца прошлого века Джозефа-Давида Каррабиса [5, с. 66]):

«Инженер входит в комнату и видит, что в углу горит огонь, а рядом лежит куча песка. Он засыпает огонь песком и выходит из комнаты. Физик в той же ситуации окружает огонь кольцом из песка и наблюдает явление. Математик же, поняв, что задача имеет решение, сразу выходит из комнаты».

Мораль этого примера в контексте противостояния разных видов профессионального сознания, которые определяются разными типами мышления, ориентированными на разные по уровню сложности профессиональные задачи (рис. 3).

Особую остроту данная проблемная ситуация вследствие разделения процессов мышления на типы в зависимости от уровня сложности решаемых задач приобретает в рамках одной профессиональной деятельности, например деятельности по обеспечению техносферной (пожарной) безопасности, в рамках которой одна и та же деятельность может регламентироваться, исполняться и оцениваться по разным правилам (с применением разных методов, разных контрольных точек и, следовательно, с разными результатами, которые оперируют разным качественными оценочными показателями).

В такой ситуации приходится говорить о сложившемся методологическом противоречии, реализованном в практической профессиональной деятельности, которое требует практического решения.



Рис. 3. Типы мышления (профессионального сознания), ориентированные на разные профессиональные задачи

В-пятых, как правило, любые конфликтные ситуации принято решать, ориентируясь на четыре возможных варианта [6, гл. 3]:

а) силовое продавливание своего варианта (при наличии силового превосходства);

б) «ни тебе, ни мне» (силовое равенство сторон, но результат не удовлетворяет все интересы каждой из сторон);

в) перевод решения проблемы на более высокий уровень (обращение за решением или делегирование решения проблемы более сильному игроку);

г) обоюдное снятие претензий при самостоятельном переходе к правилам более высокого уровня.

Авторы статьи оценивают продолжительность периода задержки практического разрешения описанной выше проблемной ситуации профессионального квалификационного роста в 30 лет, отсчет этого периода можно начинать с момента вступления в силу ГОСТ 12.1.004–91<sup>2</sup>, что позволя-

<sup>2</sup> ГОСТ 12.1.004–91 : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по управлению качеством продукции и стандартам от 14 июня 1991 г. № 875.

ет говорить о значительном объеме накопленного недопустимого общественного вреда в регулировании отношений в области обеспечения пожарной безопасности, по сути, о сложившейся реакционной повестке, которая в соответствии с законами развития будет требовать резких перемен для восстановления нарушенного баланса.

В такой постановке авторы полагают, что решение следует искать в переходе к правилам игры более высокого уровня, т.е. в развитии предметной области, и, следовательно, в повышении профессиональной квалификации. Аналогией здесь может служить диалектика Гегеля, в частности переход количественных изменений в качественные, который сопровождает естественный непрерывный процесс развития систем, выражает их устойчивость, качественную определенность, а также прерывность динамики, отражающей переход системы в новое качество.

Авторы считают необходимым напомнить всем заинтересованным лицам, что адекватные предложения по преодолению описанной выше проблемной ситуации с отрывом квалификации специалистов от практики бытия уже были сформулированы доктором философских наук В.И. Козлачковым в [7, с. 99], их суть заключается в разделении профессиональной деятельности по группам профессиональных задач: стандартные, нестандартные и уникальные.

В-шестых, для решения задач разных групп профессиональной сложности следует использовать разные методы, соответствующие группе сложности.

Так, для решения стандартных задач должен применяться шаблонный метод принятия решения. Такие задачи можно поручать должностным лицам, лучше не имеющим никакой профессиональной квалификации, чтобы не было соблазна вносить в типовые решения собственные интересы либо результаты собственных рассуждений, чаще всего неуместных в такой типовой предметной деятельности,

Для решения нестандартных задач всегда требуются исполнители, обладающие инженерной квалификацией, позволяющей реализовывать стандартные расчетные сценарии оценки проблемной ситуации.

Решение уникальных задач, основу которых должны составлять индивидуальные (часто новые) расчетно-сценарные методы оценки рисков, следует поручать специалистам, обладающим не только высокой инженерной, но и высокой научной подготовкой.

Важно, что для применения шаблонного метода принятия решений следует произвести привязку

ранее разработанных типовых решений под современные типовые обстоятельства их применения, т.е. произвести адаптацию типовых (шаблонных) решений под риск-ориентированную модель. Также следует отметить, что для области обеспечения пожарной безопасности такую привязку пока не смогло обеспечить ни одно из профильных сообществ (ведомств), использующих типовые требования пожарной безопасности в качестве смысловой основы организуемой ими контрольно-надзорной и разрешительной деятельности.

В-седьмых, вся современная предметная схема подготовки кадров для реализации контрольно-надзорных функций за противопожарным состоянием техносферы ориентирована, в большей степени, на решение шаблонных задач, при этом государственные образовательные стандарты и организация учебного процесса в некоторых специализированных образовательных учреждениях уже ориентированы на решение нестандартных и уникальных задач в современных обстоятельствах высокой динамики социокультурных процессов.

Завершая вводную часть работы, авторы настоящего исследования сообщают, что в рамках исполнения поручения рабочей группы «По организации взаимодействия с органами управления ведомственной пожарной охраны федеральных органов исполнительной власти и организаций», используя для исполнения требования государственных образовательных стандартов, новые основы правового технического регулирования (регулирования в техносфере)<sup>3,4,5,6</sup>, а также требования МЧС России по организации и реализации дополнительной профессиональной переподготовки и повышения квалификации экспертов в области обеспечения пожарной безопасности [8, 9], разработали новые ориентиры профессиональной культуры для лиц, регулирующих отношения в области обеспечения пожарной безопасности на переходный период, которые посвящены подготовке профессионального

сознания под реализацию риск-ориентированной модели контрольно-надзорной деятельности, представлены ниже.

**Перечень новых ориентиров профессиональной культуры лиц, регулирующих отношения в области пожарной безопасности на период перехода организации контрольно-надзорной деятельности (КНД) с типовой парадигмы на риск-ориентированную**

1. Административная реформа в Российской Федерации и реформа контрольно-надзорной деятельности в Российской Федерации: основные проблемы и пути решения.

2. Стратегия национальной безопасности Российской Федерации и ее реализация в Основах государственной политики в области обеспечения пожарной безопасности: идентификация и актуализация обязательных требований; интеграция разделенной контрольно-надзорной и разрешительной деятельности на основе формирования единой правовой базы регулирования отношений, унификация правил и процедур администрирования, в том числе унификация показателей результативности и эффективности; создание единой системы регистрации случаев причинения вреда разделенной контрольно-надзорной и разрешительной деятельностью.

3. Понятие и определение пожарной безопасности Российской Федерации в контексте Стратегии национальной безопасности Российской Федерации.

4. Проблема массовой гибели людей от пожара в контексте недостатков организации контрольно-надзорной и разрешительной деятельности: нормативная база, процедуры, квалификация, отбор и подготовка кадров, профилактика правонарушений обязательных требований, коррупция.

5. Система обеспечения пожарной безопасности в контексте Федерального закона от 21 декабря 1994 г. «О пожарной безопасности» № 69-ФЗ<sup>7</sup> и Федерального закона от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»<sup>8</sup>.

6. Системы обеспечения пожарной безопасности: федеральная (общегосударственная), территориальные (региональные и муниципальные), ведомственные, корпоративные и локальные (зданий и сооружений).

<sup>3</sup> О техническом регулировании : Федеральный закон от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ : принят Государственной Думой 15 декабря 2002 г. ; одобрен Советом Федерации 18 декабря 2002 г.

<sup>4</sup> О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при осуществлении государственного контроля (надзора) и муниципального контроля : Федеральный закон от 26 декабря 2008 г. № 294-ФЗ (ред. от 2 августа 2019 г.) : принят Государственной Думой 19 декабря 2008 г. ; одобрен Советом Федерации 22 декабря 2008 г.

<sup>5</sup> Об обязательных требованиях в Российской Федерации : Федеральный закон от 31 июля 2020 г. № 247-ФЗ принят Государственной Думой 22 июля 2020 г. ; одобрен Советом Федерации 24 июля 2020 г.

<sup>6</sup> О государственном контроле (надзоре) и муниципальном контроле в Российской Федерации : Федеральный закон от 31 июля 2020 г. № 248-ФЗ : принят Государственной Думой 22 июля 2020 г. ; одобрен Советом Федерации 24 июля 2020 г.

<sup>7</sup> О пожарной безопасности : Федеральный закон от 21 декабря 1994 г. № 69-ФЗ : принят Государственной Думой 18 ноября 1994 г.

<sup>8</sup> Уголовно-процессуальный кодекс Российской Федерации от 18 декабря 2001 г. № 174-ФЗ (ред. от 1 июля 2021 г.) : принят Государственной Думой 22 ноября 2001 г. ; одобрен Советом Федерации 5 декабря 2001 г.

7. Проблема соразмерности мер (обязательных и дополнительных требований) обеспечения пожарной безопасности угрозам, возникающим вследствие пожара.

8. Проблема количества технических норм и актов (документов) в области обеспечения пожарной безопасности, используемых для регулирования социальных отношений в качестве норм обязательного поведения, в контексте физиологических возможностей человека (лица, принимающего решения: инспектора, собственника, инвестора, доверенного управляющего, проектировщика, эксперта, дознавателя, следователя, судьи).

9. Проблема временных затрат на получение разрешения (согласования, заключения) на проектное оформление инвестиционного проекта (разрешения на строительство) в контексте проблем нормативной базы типовых технических решений, используемых в качестве обязательных норм социального поведения для регулирования отношений в области обеспечения пожарной безопасности.

10. Проблемы экономических затрат на реализацию инвестиционного проекта в контексте проблем нормативной базы типовых технических решений, используемых в качестве обязательных норм социального поведения, для регулирования отношений в области обеспечения пожарной безопасности: проблема недостаточности затрат на защиту людей (исполнение обязательных требований пожарной безопасности); проблема ликвидности инвестиционного проекта, проблема избыточности затрат на защиту имущества (которым собственник имеет право рисковать), проблема оборачиваемости инвестиционных (заемных) средств и затрат на их обслуживание.

11. Типовые и адресные (расчетно-сценарные) системы обеспечения пожарной безопасности хозяйственной деятельности с использованием зданий и сооружений.

12. Правовое регулирование отношений в области обеспечения пожарной безопасности: техническое регулирование, принципы технического регулирования, правовая норма (ее структура), правосознание.

13. Целевое предназначение технического регламента по вопросам обеспечения пожарной безопасности в контексте установления единого порядка разработки, утверждения, применения и исполнения обязательных требований пожарной безопасности.

14. Что следует понимать под объектами технического регулирования: отношения (подлежащие регулированию в области обеспечения пожарной безопасности) или физические объекты (продукцию, в том числе, здания и сооружения)? Основания.

15. Что следует понимать под объектами стандартизации в области обеспечения пожарной безопасности: типовые решения (включенные в документы по стандартизации: СНиПы, СП, НПБ и др.), продукцию (здания, сооружения, работы и услуги), методы измерения (испытания, изучения, исследования)? Виды документов по стандартизации. Документы по стандартизации в области обеспечения пожарной безопасности (правила противопожарного режима в Российской Федерации, своды правил, национальные стандарты, стандарты организаций, технические условия). Правовой статус документов по стандартизации. Обоснования.

16. Что следует понимать под объектами государственного контроля (надзора) за соблюдением требований технических регламентов в контексте ст. 33 Федерального закона от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании» на примере контрольно-надзорной и разрешительной деятельности за исполнением обязательных требований пожарной безопасности: продукцию (здания и сооружения) либо деятельность по производству (проектированию, созданию), эксплуатации, утилизации продукции? Обоснования.

17. Что следует понимать под предметом государственного контроля (надзора) за соблюдением требований технических регламентов: типовые технические решения или порядок разработки, утверждения, применения и исполнения обязательных требований пожарной безопасности? Обоснования.

18. Объект (объекты) защиты правовой нормы ст. 219 Уголовного Кодекса Российской Федерации (УК РФ)<sup>9</sup> и объекты защиты от пожаров по требованиям технических регламентов: жизнь, тяжкий вред здоровью, имущество, окружающая среда, предупреждение действий, вводящих в заблуждение, или здания и сооружения? Обоснования.

19. Объект (объекты) капитального строительства и объекты противопожарной защиты в контексте ст. 219 УК РФ. Обоснования.

20. Предмет плановой и внеплановой проверки контрольно-надзорной и разрешительной деятельности в контексте ст. 9 и 10 Федерального закона от 26 декабря 2008 г. № 294-ФЗ «О защите прав юридических лиц и предпринимателей при осуществлении государственного контроля (надзора) и муниципального контроля» и ч. 1 ст. 1 Федерального закона от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании».

21. Основное правило применения положений любых федеральных законов и иных нормативных

<sup>9</sup> О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации : Указ Президента Российской Федерации от 31 декабря 2015 г. № 683.

правовых актов Российской Федерации, касающихся сферы применения Федерального закона «О техническом регулировании», в том числе прямо или косвенно предусматривающих осуществление контроля (надзора) за соблюдением требований технических регламентов (ч. 2 ст. 4 Федерального закона «О техническом регулировании»).

22. Правовой статус актов в сфере технического регулирования, изданных федеральными органами исполнительной власти (ч. 3 ст. 4 Федерального закона «О техническом регулировании»). На примере правил противопожарного режима в Российской Федерации, сводов правил, СНиП, НПБ, ГОСТ, распоряжений, приказов и рекомендаций.

23. Суть технического регулирования в области обеспечения пожарной безопасности — урегулирование технического решения с вредом, на предотвращение которого направлено это решение. Соотношение ст. 219 УК РФ и ст. 20.4 Кодекса Российской Федерации об административных правонарушениях в контекстах равенства и иерархии правовых норм (КоАП)<sup>10</sup>.

24. Требования к содержанию технического регламента о регулировании отношений в области обеспечения пожарной безопасности в контексте положений ч. 1 ст. 1 и ч. 3 ст. 7 Федерального закона «О техническом регулировании».

25. Описание и общее сопоставление типовой и риск-ориентированной моделей организации контрольно-надзорной деятельности: правила разработки, утверждения, применения и исполнения требований (обязательных требований) пожарной безопасности; преимущества и недостатки в контексте динамики индустриализации и урбанизации.

26. Виды контрольно-надзорной и разрешительной деятельности за исполнением обязательных требований пожарной безопасности.

27. Риск-ориентированный подход как инструмент управления периодичностью плановых проверок. Критерии отнесения объектов государственного контроля (надзора) к категориям риска. Уровень зрелости риск-ориентированной контрольно-надзорной деятельности на основе условных критериев риска.

28. Допустимый пожарный риск, недопустимый пожарный риск, отнесение объектов защиты к группам пожарного риска: сопоставление и различие, связь с требованиями ст. 219 УК РФ.

29. Нарушение требований пожарной безопасности в контекстах Федерального закона от 23 июня 2016 г. № 182-ФЗ «Об основах системы профилактики

тики правонарушений в Российской Федерации», Федерального закона от 21 декабря 1994 г. «О пожарной безопасности», ст. 20.4 КоАП и ст. 219 УК РФ. Консолидированная позиция.

30. Основы профилактики правонарушений в Российской Федерации: правопорядок (справедливый правопорядок), правосознание, законность, учет прав и законных интересов, баланс интересов, правовая культура, квалификация, обучение правотворчеству и правоприменению, эффективность правового регулирования, правонарушение, профилактика правонарушения.

31. Ответственность экспертов (иных должностных лиц) за недоброкачественную экспертизу (недоброкачественное профессиональное исполнение своих обязанностей): ст. 293, 219, 159, 169 УК РФ, ст. 3.11 КоАП.

32. Оценка пожарных рисков (статистическая, вероятностная, детерминированная, экспертная, экспресс) как основа доказательств надлежащего исполнения обязательных требований пожарной безопасности или нарушения обязательных требований пожарной безопасности, в контексте ст. 14 и 75 Уголовно-процессуального кодекса Российской Федерации (УПК РФ)<sup>11</sup> и ст. 1.5 КоАП (предположения, презумпция невиновности).

33. Две формы обязательного подтверждения соответствия надлежащего исполнения обязательных требований пожарной безопасности: декларирование и сертификация.

34. Независимая оценка пожарных рисков, аудит пожарной безопасности, государственная и негосударственная экспертизы проектной документации, авторский надзор, строительный контроль как деятельность по подтверждению надлежащего исполнения порядка разработки, утверждения, применения и исполнения обязательных требований пожарной безопасности.

35. Сопоставление понятий «требования пожарной безопасности» и «обязательные требования пожарной безопасности», «первичные меры пожарной безопасности» и «обязательные требования пожарной безопасности».

36. Предмет государственного пожарного надзора: обеспечение пожарной безопасности или регулирование отношений в области обеспечения пожарной безопасности. Суть динамики.

37. Предостережение и предупреждение о нарушении обязательных требований пожарной безопасности.

<sup>10</sup> О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в связи с принятием Федерального закона «О государственном контроле (надзоре) и муниципальном контроле в Российской Федерации»: Федеральный закон от 11 июня 2021 г. № 170-ФЗ: принят Государственной Думой 26 мая 2021 г.; одобрен Советом Федерации 2 июня 2021 г.

<sup>11</sup> Уголовно-процессуальный кодекс Российской Федерации от 18 декабря 2001 г. № 174-ФЗ (ред. от 1 июля 2021 г.): принят Государственной Думой 22 ноября 2001 г.; одобрен Советом Федерации 5 декабря 2001 г.

### Раскрытие содержания некоторых ориентиров Перечня

Формат настоящей публикации не требует и не позволяет раскрыть содержание всех разработанных ориентиров профессиональной культуры, для этого больше подходит формат монографии либо учебного пособия.

При этом авторы полагают, что пытливый читатель сможет сделать это самостоятельно, с незначительной затратой собственных усилий и с максимальной для него пользой.

Вместе с этим, в целях смыслового завершения заданного настоящей публикацией тренда в вопросе формирования профессиональной культуры у лиц, принимающих решение и регулирующих отношения в области пожарной безопасности, было бы рационально представить авторскую позицию по некоторым смысловым ориентирам.

А) Понятие и определение пожарной безопасности Российской Федерации в контексте Стратегии национальной безопасности Российской Федерации.

Понятие «пожарная безопасность» в редакции ст. 1 Федерального закона «О пожарной безопасности» имеет усеченную коннотацию («**пожарная безопасность** — состояние защищенности личности, имущества, общества и государства от пожаров») относительно понятия «национальной безопасности Российской Федерации» в редакции Указа Президента «О стратегии национальной безопасности Российской Федерации» (ст. 6) («**национальная безопасность Российской Федерации (далее — национальная безопасность)** — состояние защищенности личности, общества и государства от внутренних и внешних угроз, при котором обеспечиваются реализация конституционных прав и свобод граждан Российской Федерации (далее — граждане), достойные качество и уровень их жизни, суверенитет, независимость, государственная и территориальная целостность, устойчивое социально-экономическое развитие Российской Федерации. Национальная безопасность включает в себя оборону страны и все виды безопасности, предусмотренные Конституцией Российской Федерации и законодательством Российской Федерации, прежде всего государственную, общественную, информационную, экологическую, экономическую, транспортную, энергетическую безопасность, безопасность личности»), и этот факт требует уточнения понятия «пожарная безопасность» и скорейшего нормативного его закрепления, например, такого: «**пожарная безопасность Российской Федерации** — часть комплексной национальной безопасности Российской Федерации, реализующая такое состояние защищенности личности, имущества, общества и государства от вреда, причиняемого пожаром, при котором

обеспечивается реализация конституционных прав и свобод граждан Российской Федерации, достойное качество и уровень жизни, суверенитет, независимость, государственная и территориальная целостность, устойчивое социально-экономическое развитие Российской Федерации».

Б) Система обеспечения пожарной безопасности (СОПБ) в контексте Федерального закона от 21 декабря 1994 г. № 69-ФЗ «О пожарной безопасности» и Федерального закона от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности». Системы обеспечения пожарной безопасности: федеральная (общегосударственная), территориальные (региональные и муниципальные), ведомственные, корпоративные и локальные (зданий и сооружений).

В редакции ст. 3 Федерального закона от 21 декабря 1994 г. № 69-ФЗ «О пожарной безопасности» понятие «система обеспечения пожарной безопасности» представлено в одной коннотации: «**Система обеспечения пожарной безопасности** — совокупность сил и средств, а также мер правового, организационного, экономического, социального и научно-технического характера, направленных на профилактику пожаров, их тушение и проведение аварийно-спасательных работ.

Основными элементами системы обеспечения пожарной безопасности являются органы государственной власти, органы местного самоуправления, организации, граждане, принимающие участие в обеспечении пожарной безопасности в соответствии с законодательством Российской Федерации.

Основные функции системы обеспечения пожарной безопасности:

- нормативное правовое регулирование и осуществление государственных мер в области пожарной безопасности;
- создание пожарной охраны и организация ее деятельности;
- разработка и осуществление мер пожарной безопасности;
- реализация прав, обязанностей и ответственности в области пожарной безопасности;
- проведение противопожарной пропаганды и обучение населения мерам пожарной безопасности;
- содействие деятельности добровольных пожарных, привлечение населения к обеспечению пожарной безопасности;
- научно-техническое обеспечение пожарной безопасности;
- информационное обеспечение в области пожарной безопасности;
- осуществление федерального государственного пожарного надзора и других контрольных функций по обеспечению пожарной безопасности;

- производство пожарно-технической продукции;
- выполнение работ и оказание услуг в области пожарной безопасности;
- лицензирование деятельности в области пожарной безопасности (далее — лицензирование) и подтверждение соответствия продукции и услуг в области пожарной безопасности (далее — подтверждение соответствия);
- тушение пожаров и проведение аварийно-спасательных работ;
- учет пожаров и их последствий;
- установление особого противопожарного режима;
- организация и осуществление профилактики пожаров.

В редакции ст. 5 Федерального закона от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» понятие **«система обеспечения пожарной безопасности»** представлена уже в другой коннотации:

«1. Каждый объект защиты должен иметь систему обеспечения пожарной безопасности.

2. Целью создания системы обеспечения пожарной безопасности объекта защиты является предотвращение пожара, обеспечение безопасности людей и защита имущества при пожаре.

3. Система обеспечения пожарной безопасности объекта защиты включает в себя систему предотвращения пожара, систему противопожарной защиты, комплекс организационно-технических мероприятий по обеспечению пожарной безопасности.

4. Система обеспечения пожарной безопасности объекта защиты в обязательном порядке должна содержать комплекс мероприятий, исключающих возможность превышения значений допустимого пожарного риска, установленного настоящим Федеральным законом и направленных на предотвращение опасности причинения вреда третьим лицам в результате пожара».

Изучение отличий целей систематизации показывает, что разные определения СОПБ имеют ввиду разные СОПБ: в первом случае СОПБ государства, а во втором — СОПБ хозяйствующего субъекта.

Основываясь на этой практике и руководствуясь системным подходом, можно выделить следующие виды СОПБ: федеральная (общегосударственная), территориальные (региональные и муниципальные), ведомственные, корпоративные и локальные (здания и сооружения).

Изучение содержания указанных выше определений СОПБ показывает, что они посвящены изложению разных аспектов одного общего методологического подхода к организации современного научного знания о решении проблем принятия решений, устойчиво понимаемого как системный

подход, в основе которого лежит рассмотрение исследуемого объекта как системы: совокупности взаимодействующих объектов (К.Л. фон Берталанфи) [10]; целостного комплекса взаимосвязанных элементов (И.В. Блауберг, В.Н. Садовский, Э.Г. Юдин) [11], совокупности сущностей и отношений (А.Д. Холл [12], Р.И. Фейджин, поздние работы К.Л. фон Берталанфи).

Таким образом, единство в представленных определениях (коннотациях) СОПБ заключается в общем методологическом подходе систематизации обеспечения пожарной безопасности, т.е. рассмотрения процессов обеспечения пожарной безопасности, прежде всего, как результатов этих процессов, как единого комплекса мер, направленных на достижение установленной цели в области обеспечения пожарной безопасности, а отличие — в уровне целей систематизации (в системах).

Именно этот подход был отчетливо сформулирован в сфере обеспечения пожарной безопасности еще 1988 г. в монографии «Системный анализ и проблемы пожарной безопасности народного хозяйства», подготовленной специалистами Высшей инженерной пожарно-технической школы МВД СССР (ныне Академия ГПС МЧС России) под редакцией Н.Н. Брушлинского [13].

При этом следует обратить внимание на то, что представленные выше определения СОПБ в явном виде не содержат описания и правил идентификации целей и методов их достижения, что, бесспорно, является недостатком и отклонением от методологии системного подхода.

Для исправления указанного недостатка воспользуемся методологическими положениями технического регулирования, сформулированными в ст. 6 Федерального закона «О техническом регулировании», в которых под объектом защиты в области технической безопасности понимаются жизнь и здоровье людей, имущество (государственное, муниципальное, частное), окружающая среда, энергетическая эффективность и профилактика деятельности по введению в заблуждение конечных потребителей относительно уровня технической безопасности потребляемых товаров и услуг. Такой подход к идентификации целей системы обеспечения пожарной безопасности полностью соответствует сформулированному в ориентире «А» предмету обеспечения пожарной безопасности в Российской Федерации и предмету обеспечения национальной безопасности Российской Федерации, сформулированному в Стратегии национальной безопасности Российской Федерации.

При этом подход к идентификации объекта защиты в качестве здания или сооружения, реализованный в ст. 6.1. Федерального закона «Технический

регламент о требованиях пожарной безопасности», не соответствует не только общей методологии системного подхода, но и вышеуказанным положениям Федерального закона «О техническом регулировании», Стратегии национальной безопасности Российской Федерации, а также определению пожарной безопасности, изложенному в Федеральном законе «О пожарной безопасности», в котором под объектом защиты, прежде всего, понимаются люди, а не здания и сооружения.

Аналогичную методологическую постановку имеет и п. 26 «Положения о составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию»<sup>12</sup>, первое требование которого заключается в необходимости представления описания принятой системы обеспечения пожарной безопасности.

Риск-ориентированная коннотация (контекст) кардинальным образом меняет характер понимания и применения ст. 6 Федерального закона «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», на прямом применении которой в настоящее время строится организации КНД по типовой модели. Рассмотрим этот феномен более подробно.

Так, суть прямого применения ст. 6 Федерального закона «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» сводится к единственному условию: проверке исполнения некоторого (не вполне понятного применительно) перечня технических решений. Таким образом, правовая норма ст. 6 Федерального закона «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» является бланкетной, т.е. отсылочной — отсылающей применителя к другой правовой норме. При этом, никакая другая правовая норма этого нормативного документа не дает ответа на вопрос о том, в рамках какого порядка следует произвести определение единственного (либо не единственного) перечня требований пожарной безопасности, который будет удовлетворять условиям безопасности ст. 219 УК РФ (за неисполнение которых наступает уголовная ответственность).

Новая редакция определения требований пожарной безопасности (в Федеральном законе «О пожарной безопасности» (ст. 1) в редакции Федеральных законов от 28 мая 2017 г. № 100-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон “О пожарной безопасности” и Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях»<sup>13</sup> и от 11 июня 2021 г. № 170-ФЗ «О внесении изменений в отдель-

ные законодательные акты Российской Федерации в связи с принятием Федерального закона “О государственном контроле (надзоре) и муниципальном контроле в Российской Федерации”<sup>14</sup> с 1 июля 2021 г. содержит порядок определения (идентификации) обязательных требований пожарной безопасности, под которыми также, как и в ч. 1 ст. 6 Федерального закона «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», понимается некоторый, снова неопределенный, набор каких-то правовых требований и каких-то решений из нормативных документов по пожарной безопасности. Таким образом, одна бланкетная норма делает отсылку к другой бланкетной норме, что не приводит к определенности в установлении точного, понятного всем и закрытого перечня обязательных требований пожарной безопасности.

Здесь же следует отметить, что в новой редакции определения требований пожарной безопасности (в Федеральном законе «О пожарной безопасности» (ст. 1) в редакции Федеральных законов от 28 мая 2017 г. № 100-ФЗ и от 11 июня 2021 г. № 170-ФЗ) относительно несоблюдения требований ч. 1 ст. 1 Федерального закона «О техническом регулировании» осуществлена неудачная попытка правового уравнивания понятий «обязательные требования пожарной безопасности» и «требования пожарной безопасности». Данный факт нарушает интересы конечного потребителя, а также всех участников процессов проектирования, строительства и эксплуатации зданий и сооружений, в том числе в исполнении требований ст. 219 УК РФ по обеспечению надежной защиты жизни и здоровья людей от вреда пожаров.

Таким образом, прямое применение действующей редакции определения требований пожарной безопасности в Федеральном законе от 21 декабря 1994 г. № 69-ФЗ «О пожарной безопасности» приводит к созданию условий неопределенности для любых лиц, принимающих решения.

Все представленные выше рассуждения посвящены демонстрации отличия системного подхода к СОПБ от бытующего в упрощенном типовом профессиональном сознании.

Так, в типовом профессиональном сознании под СОПБ понимается некоторый (трудно уловимый, как кот Шредингера) набор технических решений из нормативных документов по пожарной безопасности.

<sup>12</sup> Положение о составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию : утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 16 февраля 2008 г. № 87.

<sup>13</sup> О внесении изменений в Федеральный закон “О пожарной безопасности” и “Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях” : Федеральный закон от 28 мая 2017 г. № 100-ФЗ : принят Государственной Думой 19 мая 2017 г. ; одобрен Советом Федерации 24 мая 2017 г.

<sup>14</sup> О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в связи с принятием Федерального закона “О государственном контроле (надзоре) и муниципальном контроле в Российской Федерации” : Федеральный закон от 11 июня 2021 г. № 170-ФЗ : принят Государственной Думой 26 мая 2021 г. ; одобрен Советом Федерации 2 июня 2021 г.

В риск-ориентированном профессиональном сознании под СОПБ понимается именно система — совокупность частей (условий пожарной безопасности и технических решений по их реализации), образующих единство в достижении общественно-охраняемой ценности и, согласно ст. 219 УК РФ, защищающих людей от причинения смерти и тяжкого вреда здоровью по неосторожности, а также точные причинно-следственные связи, формируемые на основе расчетно-сценарного моделирования по нормативно установленным, либо иным образом апробированным методикам.

Авторы полагают, что именно такое определение локальной СОПБ (СОПБ хозяйствующего субъекта, эксплуатирующего здания и сооружения, либо СОПБ проектируемого здания или сооружения) следует использовать для формирования риск-ориентированного профессионального сознания. А в целях массовой трансформации национального профессионального сознания под риск-ориентированную модель КНД нужно нормативно закрепить эту редакцию в ст. 5 Федерального закона «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» и в ст. 8 Федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».

В связи с ограниченным масштабом настоящей публикации мы заканчиваем рассуждения по данному вопросу, надеясь на их продолжение.

### Выводы

1. Администрирование в области обеспечения пожарной безопасности теряет сакральный характер в условиях высоких темпов социокультурной динамики.

2. Высокие темпы индустриализации и урбанизации, приводящие к усложнению технических решений и обстоятельств их применения, требуют децентрализации принимаемых решений — переноса ответственности за принимаемые решения на субъекты хозяйственной деятельности при безусловном сохранении единого централизованного порядка разработки, утверждения, применения и исполнения обязательных требований пожарной безопасности, включая единые стандарты организации внутреннего контроля и внешнего государственного надзора.

3. Организация КНД в области обеспечения пожарной безопасности по типовой модели имела высокие уровни результативности и эффективности на этапах зарождения — становления индустриализации и урбанизации, которые стали резко снижаться в связи с многократным ускорением процессов индустриализации и урбанизации в последние 50 лет.

4. Сохранение типовой модели КНД в области пожарной безопасности неизбежно будет приводить

к росту массовой гибели людей, что и происходит на практике во всем мире.

5. Рост массовой гибели людей при пожарах с позиций типовой модели КНД воспринимается через призму обоснования производственной необходимости расширения сферы применения типовой КНД и ужесточения ответственности за уклонение от исполнения типовых (шаблонных) мер. Однако применение таких не может обеспечить защиту людей, поскольку такие шаблонные меры (требования), как показывает практика, не имеют прямой причинно-следственной связи с защитой людей в конкретных обстоятельствах. Отсутствие (либо ослабление) причинно-следственной связи предмета КНД с предотвращаемым вредом приводит к ослаблению КНД.

6. Ослабление КНД приводит к ее коррумпированности, прежде всего со стороны производителей товаров и услуг в области техносферной безопасности.

7. Реформа КНД в области пожарной безопасности, несмотря на значительные успехи по внедрению новых форм КНД, в том числе использования условных оценок пожарных рисков при определении периодичности плановых проверок, пока не привела к переходу КНД на риск-ориентированную модель.

8. Запаздывание реформы КНД в области пожарной безопасности уже составляет не менее 30 лет, что может самым негативным образом сказаться на сохранении самого института государственного надзора в области обеспечения пожарной безопасности, который постепенно размывается со стороны других контрольно-надзорных, экономических и общественных институтов. Это недопустимо для консолидированного успешного и устойчивого развития нашего государства.

9. Среди главных пожарных рисков следует выделить нормативный и квалификационный пожарные риски, которые имеют между собой устойчивые прямые и обратные связи.

10. Практика показала, что внесение изменений в нормативную базу для ее трансформации под риск-ориентированную модель КНД пока не дает реальных практических результатов по причине закрытого сознания специалистов, отобранных и подготовленных под типовую модель КНД.

11. Авторы полагают, что реальный переход на риск-ориентированную модель КНД возможен только с широким участием специалистов, которые будут оперировать ориентирами риск-ориентированной модели естественным образом.

12. По убеждению авторов, главным логическим действием современного этапа реформы КНД в области обеспечения пожарной безопасности является необходимость реформирования профессионального сознания (профессиональной

культуры) специалистов на основе риск-ориентированной модели КНД.

13. Одним из эффективных вариантов решения этой задачи является подготовка таких специалистов с нуля и в изолированном пространстве, по аналогии 40-летних странствований, организованных легендарным Моисеем.

14. Авторы полагают, что такая необходимость для решения задачи трансформации профессионального сознания пока отсутствует. Более разумным (рациональным) будет организация этапов дополнительной профессиональной подготовки и переподготовки специалистов, которые уже освоили типовую модель организации КНД и закрепили ее применение собственным опытом.

15. Важнейшим критерием в организации такой профессиональной подготовки и переподготовки является критерий отбора кадров, которые еще не «вросли» в практику КНД по типовой модели и по своим личностным качествам способны к гибкому критическому мышлению, включая риск-ориентированное осмысление накопленного опыта.

16. Разработанный в рамках настоящего исследования перечень новых ориентиров профессиональной культуры для лиц, регулирующих отношения в области обеспечения пожарной безопасности, позволяет заинтересованным специалистам самостоятельно реализовать повышение квалификации до уровня, соразмерного уровню недостатков в процессе применения существующей нормативной базы.

17. Перечень новых ориентиров профессиональной культуры включен в качестве методической основы в рабочие программы по подготовке, переподготовке и повышению квалификации в Академии ГПС МЧС России, реализуемые Учебно-научным комплексом организации надзорной деятельности (УНК ОНД).

18. Апробация разработанного Перечня в рамках повседневной деятельности УНК ОНД Академии ГПС МЧС России, включая оказание консультационных и научно-практических услуг хозяйствующим субъектам национальной экономики (внебюджетная деятельность), показала высокие практические результаты.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Козлачков В.И.* Освоение профессиональной культуры в современных условиях : дис. ... д-ра филос. наук. М., 1991. 352 с.
2. *Цвык В.А.* Профессиональное сознание личности: понятие и структура // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Философия. 2004–2005. № 1 (10–11). С. 104–115. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9914993>
3. *Моисеев Н.Н.* Человек и ноосфера. М. : Мол. гвардия, 1990. 351 с.
4. *Смит А.* Исследование о природе и причинах богатств народов / пер. с англ. П. Ключкина. М. : Эксмо, 2016. 1056 с.
5. *Каррабис Дж.-Д.* Программирование в dBASE III PLUS / пер. с англ. Дж.-Д. Каррабис. М. : Финансы и статистика, 1991. 240 с.
6. *Лебедев М.М.* Политическое урегулирование конфликтов : учеб. пособие. М. : Аспект Пресс, 1999. 271 с.
7. *Козлачков В.И.* Типовая и риск-ориентированная модели надзорной деятельности в области обеспечения пожарной безопасности. Сравнительный анализ : монография. М. : Академия ГПС МЧС России, 2016. 328 с.
8. Дополнительная профессиональная программа повышения квалификации «Экспертиза проектной документации в части соблюдения обязательных требований пожарной безопасности». М. : Академия ГПС МЧС России, 2020. 36 с.
9. Дополнительная профессиональная программа профессиональной переподготовки «Эксперт пожарной безопасности». М. : Академия ГПС МЧС России, 2020. 55 с.
10. *Берталанфи К.Л. фон.* Общая теория систем — обзор проблем и результатов // Системные исследования: ежегодник. М. : Наука, 1969. С. 30–54.
11. *Блауберг И.В., Садовский В.Н., Юдин Э.Г.* Системный подход в системной науке // Проблемы методологии системного исследования. М. : Мысль, 1970. С. 7–48.
12. *Холл А.Д.* Опыт методологии для системотехники. М. : Советское радио, 1975. 447 с.
13. *Брушлинский Н.Н., Кафидов В.В., Козлачков В.И. и др.* Системный анализ и проблемы пожарной безопасности народного хозяйства / под ред. Брушлинского Н.Н. М. : Стройиздат, 1988. 413 с.

*Поступила 01.06.2021, после доработки 30.06.2021;*

*принята к публикации 09.07.2021*

*Received June 1, 2020; Received in revised form June 30, 2021;*

*Accepted July 9, 2021*

**Информация об авторах**

**ЕРШОВ Александр Владимирович**, канд. юр. наук, доцент, начальник Учебно-научного комплекса организации надзорной деятельности, Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, г. Москва, Российская Федерация; РИНЦ ID: 536324; ORCID: 0000-0003-2710-5219; e-mail: ave72@mail.ru

**КОРОБКО Вадим Борисович**, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры надзорной деятельности в составе Учебно-научного комплекса организации надзорной деятельности, Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, г. Москва, Российская Федерация; РИНЦ ID: 351580; ORCID: 0000-0001-5558-5876; e-mail: vkorobko@mail.ru

**Information about the authors**

**Aleksandr V. ERSHOV**, Cand. Sci. (Juridical), Docent, Head of Educational and Scientific Complex for Organizing Supervisory Activities, the State Fire Academy of the Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters, Moscow, Russian Federation; ID RISC: 536324; ORCID: 0000-0003-2710-5219; e-mail: ave72@mail.ru

**Vadim B. KOROBKO**, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Professor of Department of Supervision as part of Educational and Scientific Complex for Organizing Supervisory Activities, the State Fire Academy of the Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters, Moscow, Russian Federation; ID RISC: 351580; ORCID: 0000-0001-5558-5876; e-mail: vkorobko@mail.ru

## Целесообразность применения огнезащитных кабельных покрытий

© А.С. Харламенков ✉

Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4)

### АННОТАЦИЯ

Рассмотрены требования нормативных и технических документов по огнезащитной обработке кабельных изделий. Представлены методы оценки огнезащитной эффективности различных составов. Даны примеры с описанием порядка выполнения и приемки работ по выполнению огнезащиты. Показаны подходы к определению срока службы (эксплуатации) защитных покрытий. Выполнено обобщение информации о различных методиках по контролю состояния огнезащиты. Сделаны соответствующие выводы о вариантах ее применения с целью обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений.

**Ключевые слова:** пожарная безопасность; химические вещества; распространение горения; охрана труда; мониторинг; лицензирование деятельности

**Для цитирования:** Харламенков А.С. Целесообразность применения огнезащитных кабельных покрытий // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2021. Т. 30. № 4. С. 90–94.

✉ Харламенков Александр Сергеевич, e-mail: h\_a\_s@live.ru

## The expediency of using fire retardant cable coatings

© Aleksandr S. Kharlamenkov ✉

The State Fire Academy of the Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation)

### ABSTRACT

The article addresses the requirements of regulatory and technical documents on the flame retardant treatment of cable products. It also presents methods for evaluating the fire-proof efficiency of various compositions. The cases, described by the co-authors, have overviews of the fireproofing sequence and acceptance procedures. The co-authors demonstrate approaches to determining the service life (the lifespan) of protective coatings. Information on various methods, used to check the condition of previously applied fireproofing, is summarized. Relevant conclusions are drawn about the options of the fireproofing application to ensure the fire safety of buildings and structures.

**Keywords:** fire safety; chemical substances; fire propagation; occupational safety; monitoring; licensing of activities

**For citation:** Kharlamenkov A.S. The expediency of using fire retardant cable coatings. *Pozharovzryvobezопасnost/ Fire and Explosion Safety*. 2021; 30(4):90-94 (rus).

✉ Aleksandr Sergeevich Kharlamenkov, e-mail: h\_a\_s@live.ru



### ВОПРОС:

При строительстве любого здания или сооружения особое внимание уделяется обеспечению требуемой огнестойкости строительных конструкций, материалов и инженерного оборудования. Различные проектно-технические решения с использованием средств огнезащиты позволяют защитить людей и имущество от воздействия опасных факторов пожара. Применение огнезащитных составов (в том числе антипиренов и огнезащитных красок) дает возможность повысить пределы огнестойкости строительных конструкций.

Требования нормативных документов по пожарной безопасности<sup>1,2</sup> обязуют использовать на объектах защиты нераспространяющие горение электрокабели. Горизонтальные и вертикальные каналы, в которых прокладываются кабельные линии, также должны быть огнестойкими.

<sup>1</sup> «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (в редакции от 27 декабря 2018) : Федеральный закон Российской Федерации от 22 июня 2008 г. № 123-ФЗ принят Государственной Думой 4 июня 2008 г.

<sup>2</sup> СП 6.13130.2013. Системы противопожарной защиты. Электрооборудование. Требования пожарной безопасности : введен в действие 25 февраля 2013 г.

Большая часть электропроводок зданий и сооружений, введенных в эксплуатацию до 2009 года, не удовлетворяет современным требованиям пожарной безопасности. При проведении реконструкции линейных объектов и объектов капитального строительства у многих специалистов возникает вопрос о путях реализации дальнейшей безопасной эксплуатации кабельных линий и электропроводки зданий с учетом действующих норм. При этом рассматривается вариант сохранения имеющихся электрических сетей в исходном виде с дополнительными «улучшениями» за счет применения огнезащитных покрытий (ОЗП).

На рынке можно обнаружить достаточно большой выбор ОЗП для кабельной продукции, имеющих сертификат соответствия требованиям пожарной безопасности. Но порядок применения таких покрытий на практике остается до сих пор не определенным.

Насколько обосновано и целесообразно применение ОЗП кабелей для достижения необходимого уровня пожарной безопасности электрических сетей зданий и сооружений?

## ОТВЕТ

Применение ОЗП для кабелей регламентируется рядом нормативных документов, имеющих отношение к тонкослойным покрытиям на основе вспучивающихся красок. Принцип действия таких покрытий базируется на образовании при воздействии высоких температур вспененного пенококсового слоя толщиной 40–70 мм, обладающего низкой теплопроводностью [1]. Толстослойные не вспучивающиеся покрытия в виде штукатурных составов и плитных облицовок на основе стекловолокна или базальта менее подходят для огнезащиты кабелей и используются в основном для повышения предела огнестойкости строительных конструкций и отдельных инженерных систем (трубы, воздуховоды).

Огнезащитная эффективность покрытий вспучивающегося типа обусловлена различными факторами [2]:

- эндотермическим отводом тепла, при котором выделяются газообразные продукты (аммиак, углекислый газ, азот, пары воды), проходящие через нагретые слои формирующегося пенококсов и значительно охлаждающие его;
- термическим сопротивлением образующегося пенококсов, зависящим от его теплопроводности, термостабильности, толщины, строения, жесткости, кинетики и условий его получения;
- способностью отражения (поглощения) падающего теплового потока поверхностью образующегося пенококсов.

Кроме того, пенококсовый слой должен обладать высокой адгезией к защищаемой поверхности.

Под огнезащитным кабельным покрытием (ОКП) понимается слой вещества (смеси) или материала, полученный в результате его нанесения на поверхность кабелей, обладающий огнезащитной эффективностью (ОЭ). Методы определения ОЭ кабеля представлены

в ГОСТ Р 53311-2009<sup>3</sup>. Нанесение на поверхность кабеля ОЗП ведет к ухудшению теплообмена и снижению величины допустимого длительного тока. Поэтому одним из пунктов оценки ОЭ покрытия является определение коэффициента снижения допустимого длительного тока нагрузки  $k$  подготовленного образца кабельного изделия путем измерения токов  $I_1$  (без ОКП) и  $I_2$  (с ОКП), которые нагревают поверхность образца до температуры  $65 \pm 3$  °С в течение  $3600 \pm 10$  с. Если отношение токов  $I_2$  и  $I_1$  не превышает 0,98, то ОКП соответствует условию снижения допустимого длительного тока нагрузки.

Вторая составляющая ОЭ покрытия — определение длины поврежденной пламенем или обугленной части кабельной прокладки с ОКП по ГОСТ ИЕС 60332-3-22-2011<sup>4</sup>. Если в результате испытаний длина поврежденной пламенем или обугленной части кабельной прокладки с ОКП не превышает 1,5 м, то ОКП соответствует требованию по нераспространению горения.

Следует помнить, что качество нанесения на поверхности кабельных изделий ОКП будет напрямую влиять на их ОЭ. Производители обычно дают краткую инструкцию по применению ОКП с порядком его нанесения на защищаемую поверхность и с последующим контролем качества выполненных работ. При этом отсутствуют какие-либо требования к рабочему персоналу и его компетенциям. В инструкциях также нет информации о последующем контроле состояния ОКП и их дальнейшем обслуживании.

Пример с подробным описанием порядка выполнения и приемки работ по нанесению ОКП и их облуживанию представлен в Правилах применения огнезащитных покрытий кабелей на энергетических предприятиях (далее — Правила)<sup>5</sup>. По требованиям Правил все работы по нанесению ОКП должны производиться по нарядам, согласно требованиям Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок<sup>6</sup> с обязательной разработкой проектов производства работ. Проект должен разрабатываться и утверждаться организацией, привлекаемой к проведению работ по огнезащите кабелей, и согласовываться с техническим руководителем предприятия. К работам по огнезащитной обработке кабельных линий необходимо допускать лица подрядных организаций, обученные в специализированных организациях и прошедшие медицинский осмотр.

Проект производства работ должен содержать следующие сведения:

<sup>4</sup> ГОСТ ИЕС 60332-3-22-2011. Испытания электрических и оптических кабелей в условиях воздействия пламени. Часть 3-22. Распространение пламени по вертикально расположенным пучкам проводов или кабелей. Категория А : введен в действие 1 января 2013 г. М. : Стандартинформ, 2014.

<sup>5</sup> РД 153-34.0-20.262-2002. Правила применения огнезащитных покрытий кабелей на энергетических предприятиях : введены в действие 1 апреля 2002 г. М. : РАО «ЕЭС России», 2002.

<sup>6</sup> Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок : введен в действие 1 января 2021 г. Приказом Минтруда РФ № 903н от 15 декабря 2020 г.

- разработчик проекта (название организации, юридический адрес, номер лицензии, номер лицензии МЧС);
- основание для разработки проекта (техническое задание, проект огнезащиты, договор);
- объем работ по огнезащите кабелей;
- тип огнезащитного состава (марка, основные характеристики, номера сертификатов и технических условий, производитель состава);
- мероприятия по электробезопасности, требования к оформлению наряда на производство работ, порядок проведения инструктажей по технике безопасности и пожарной безопасности;
- порядок подготовки рабочего места;
- порядок подготовки кабельных линий перед нанесением на них огнезащитного состава (способы и методы очистки, обезжиривания, удаления старого огнезащитного покрытия и т.п.);
- порядок подготовки огнезащитного состава и его хранение;
- порядок нанесения огнезащитного состава на кабели (способы нанесения слоев, их количество и интервалы времени, необходимые для полного высыхания слоев);
- порядок выполнения (восстановления) огнестойких уплотнений кабельных линий и проходов кабелей через ограждающие конструкции;
- мероприятия по технике безопасности при хранении, транспортировке и нанесении огнезащитных составов;
- противопожарные мероприятия при выполнении работ, обеспеченность рабочих мест первичными средствами пожаротушения.

В Правилах также отмечается, что в течение указанного в договоре гарантийного срока ОКП ответственность за обнаруженные дефекты возлагается на организацию, выполнявшую работы по нанесению огнезащитного покрытия. Выполненные работы по огнезащитной обработке кабелей подлежат обязательной приемке комиссией, в состав которой должны входить представители предприятия, подрядной организации, проектной организации (при необходимости) и пожарной охраны предприятий (при ее наличии).

Положения рассмотренных выше Правил можно использовать при выполнении работ по нанесению ОКП для иных объектов защиты.

Помимо определения ОЭ защитного покрытия кабеля, возникает более важный практический вопрос, касающийся срока службы (эксплуатации) такого ОКП. В нормативных документах отсутствуют методики для установления срока эксплуатации огнезащитного покрытия [1]. Он незначительно отличается у разных производителей ОКП и варьируется в пределах 10–30 лет. Указанные значения соответствуют сроку службы типовых кабельных изделий с алюминиевыми и медными жилами. Сле-

довательно, нанесение ОКП может быть выполнено единожды, что, несомненно, очень удобное и экономически выгодное решение.

В то же время представленный выше срок эксплуатации ОКП является условным, так как на состояние покрытия будет влиять множество факторов, снижающих огнезащитные свойства ОКП и ведущих к его «старению». К ним можно отнести: повышенную влажность или температуру окружающей среды; воздействие ультрафиолетовых лучей; наличие агрессивных сред в виде газов и паров различных химических веществ. Например, для учета представленных выше факторов предложен подход к определению срока службы ОКП на основе полимеров, который позволяет установить зависимость длительности эксплуатации покрытия  $\tau$  от нескольких факторов (температуры  $T$ , относительной влажности воздуха  $\omega$  и дозы коротковолнового излучения  $H$  с длиной волны  $\lambda < 400$  нм) по следующей формуле [3]:

$$\tau = \frac{\tau_0 \omega^{-\alpha}}{H} e^{U/T},$$

где  $\tau_0$  — «индуктивный период» эксплуатации покрытия, в течение которого происходят незначительные изменения огнезащитных и других свойств покрытия;

$\alpha$  и  $U$  — константы для данного покрытия, зависящие от химической природы полимера и антипиренов, условий эксплуатации, природы подложки и т.д.

Очевидно, что с помощью одной формулы не представляется возможным определение срока службы любого вида ОКП, поэтому следует применять комплексный подход с использованием математического моделирования и выполнением периодических проверок состояния огнезащиты кабелей. Требуются и комплексные исследования по оценке пожарной опасности различных ОЗП и их ОЭ еще на лабораторном этапе их создания [4].

Многие образцы вспучивающихся ОКП подвергаются ускоренным климатическим испытаниям<sup>7</sup>, которые устанавливают только факт снижения ОЭ покрытия, но не позволяют определить срок его эксплуатации и изменения ОЭ со временем [1–3].

Контроль свойств ОКП после нанесения в основном сводится к визуальным наблюдениям за состоянием материала (наличие отслоений, трещин, локальных изменений цвета ОКП) и оценке уровня адгезии к подложке [5]. Этого явно недостаточно для получения объективных данных о состоянии ОКП.

Методика оценки огнезащитных свойств покрытий в зависимости от сроков их эксплуатации (далее — Методика) [6] предлагает следующий порядок методов исследований:

<sup>7</sup> ГОСТ 9.401-2018. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Общие требования и методы ускоренных испытаний на стойкость к воздействию климатических факторов : введен в действие 1 июля 2009 г. в ред. 1 февраля 2019 г. М. : Стандартинформ, 2019.

- визуальный метод исследования образцов (оценка внешнего вида ОКП);
- определение толщины слоя ОКП на объекте на отобранных образцах;
- определение коэффициента вспучивания отобранных образцов покрытия;
- экспресс-методы оценки;
- термический анализ отобранных образцов покрытия;
- стандартные испытания (при необходимости).

Визуальный метод сводится к поиску на поверхности ОКП участков с дефектами, указывающими на снижение ОЭ в этих местах.

Контроль толщины нанесенного на изоляцию электрокабелей покрытия осуществляется с помощью штангенциркуля или микрометра, а в случае необходимости при помощи микроскопа на фрагментах оболочки кабеля с огнезащитным покрытием. В ГОСТ Р 53311-2009 (прил. А) контроль толщины ОКП должен выполняться средствами измерений, позволяющими производить замеры с погрешностью не более  $\pm 0,1$  мм. Количество таких измерений должно быть не менее десяти на один образец. Также допускается проводить измерения толщины методом срезов с последующим восстановлением поврежденных участков покрытия. По ГОСТ 31993-2013<sup>8</sup> такой способ носит название «метод разрушающего контроля» при измерении толщины слоя покрытия приборами, использующими механический контакт с образцом.

Определение коэффициента вспучивания отобранных образцов выполняется по руководству [7]. Вспучивание покрытия производят в термошкафу с выдержкой образца при температуре 600 °С в течение 5 мин. После чего определяют коэффициент вспучивания  $k_{всп}$  по формуле:

$$k_{всп} = h/h_0,$$

где  $h$  — толщина вспученного слоя;

$h_0$  — изначальная толщина ОЗП.

Коэффициент вспучивания  $k_{всп}$  покрытия устанавливают как среднее арифметическое трех измерений для всех испытанных образцов. Покрытие считается полностью утратившим огнезащитные свойства, если среднее арифметическое значение коэффициента вспучивания для его образцов составляет менее 10 [6, 7].

Применение комплексного подхода подразумевает использование метода термического анализа (ТА)<sup>9</sup>. Эта методика является наиболее точной и информативной из всех приведенных, поскольку позволяет не только

<sup>8</sup> ГОСТ 31993-2013 (ISO 2808:2007). Материалы лакокрасочные. Определение толщины покрытия : введен в действие 1 августа 2014 г. М. : Стандартинформ, 2014.

<sup>9</sup> ГОСТ Р 53293-2009. Пожарная опасность веществ и материалов. Материалы, вещества и средства огнезащиты. Идентификация методами термического анализа (переиздание) : введен в действие 1 мая 2009 в ред. 1 октября 2019 г. М. : Стандартинформ, 2019.

определить качество огнезащитной обработки с высокой степенью точности, но и установить вид материала, примененного для огнезащиты [7].

В руководстве [7] до выполнения визуального обследования ОЗП рекомендуется проводить проверку документации, которая может быть единственным пунктом контроля для организаций, долго (не менее трех лет) и успешно действующих на рынке услуг по огнезащитной обработке, имеющих положительные отзывы от других организаций, которым оказывали услуги по огнезащитной обработке, успешно выдержавших проверки органами ФПС и т.п. Представленный вариант контроля допускается выполнять для объектов, где огнезащитная обработка проводилась на небольшой площади (до 100 м<sup>2</sup>). Для зданий с массовым пребыванием людей (ночные клубы, театры, кинотеатры, учебные учреждения и т.д.) должна проводиться комплексная проверка с применением всех вышеописанных методов оценки огнезащитных свойств покрытий.

С целью поддержания и контроля ОЭ покрытий на объектах защиты следует проводить мониторинг технического состояния ОЗП согласно СП 432.1325800.2019<sup>10</sup> с разработкой типовой программы (прил. Ж). Основанием для проведения такого мониторинга могут служить:

- обнаружение значительных дефектов, повреждений ОЗП в процессе их технического обслуживания, осуществляемого собственником объекта защиты;
- предписание органов государственного контроля (надзора);
- необходимость оценки состояния огнезащитных покрытий, подвергшихся воздействию пожара, стихийных бедствий природного характера, в соответствии с требованиями СП 329.1325800<sup>11</sup>.

Мониторинг проходит в четыре этапа, по результатам которых определяется категория технического состояния ОЗП (хорошее, удовлетворительное или неудовлетворительное техническое состояние). По результатам мониторинга исполнитель составляет заключение (отчет) о результатах мониторинга с рекомендациями по дальнейшей эксплуатации, ремонту или замене огнезащитных покрытий.

Таким образом, сочетание методов нанесения ОЗП, их приемки и дальнейшего мониторинга технического состояния образует системный подход по обеспечению пожарной безопасности зданий и сооружений, позволяющий поддерживать ОЭ применяемых покрытий в течение всего срока службы строительных конструкций, инженерного оборудования и электрических сетей объекта защиты.

В заключение важно отметить, что современные вспучивающиеся ОЗП представляют собой безгалогенные материалы на основе меламин [8] (например, меламин циан

<sup>10</sup> СП 432.1325800.2019. Покрытия огнезащитные. Мониторинг технического состояния : введен в действие 25 июля 2019 г. Минстроем РФ. 2019.

<sup>11</sup> СП 329.1325800.2017. Здания и сооружения. Правила обследования после пожара : введен в действие 1 мая 2018 г. Минстроем РФ. 2017.

нурат) с минимизацией добавки оксидов сурьмы, которые обладают низким газодымовыделением и токсичностью в условиях пожара. Подобные ОЗП могут успешно применяться и для обработки кабельных изделий, не соответствующих требованиям ГОСТ 31565-2012<sup>12</sup> по условиям нераспространения горения, выделения дыма и токсичных продуктов, в том числе галогенов. Требования данного стандарта пока не предусматривают вариант замены не распространяющего горения (индекс — «нг») кабеля на горючий и обработанный ОКП, но все указывает на такую возможность. Пассивная огнезащита в действующей редакции ГОСТ 31565-2012 должна обязательно выполняться при групповой прокладке кабелей в наружных

электроустановках и производственных помещениях, где возможно лишь периодическое присутствие обслуживающего персонала. В проекте новой редакции стандарта огнезащита должна применяться при групповой прокладке кабелей с индексом «нг» в открытых кабельных сооружениях и наружных электроустановках производственных зданий в «случае превышения объема горючей массы кабелей соответствующей категории».

Таким образом, применение ОКП на уже введенных в эксплуатацию зданиях представляется вполне целесообразным. Такое техническое решение позволит обеспечить требуемый уровень пожарной безопасности при качественном контроле выполнения работ по огнезащитной обработке кабельных изделий и последующем мониторинге состояния ОЗП в течение всего срока эксплуатации электрических сетей.

<sup>12</sup> ГОСТ 31565-2012. Кабельные изделия. Требования пожарной безопасности (перездание) : введен в действие 1 января 2014 г. в ред. 1 сентября 2019 г. М. : Стандартинформ, 2019.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Габдулин Р.Ш. Эффективные способы огнезащиты строительных конструкций // Безопасность. 2011. № 1. С. 48–49.
2. Павлович А.В., Владенков В.В., Изюмский В.Н., Кильчицкая С.Л. Огнезащитные вспучивающиеся покрытия // ЛакоКрасочная Промышленность. 2012. № 5. С. 22–27.
3. Андронов В.А., Данченко Ю.М., Бухман О.М. Подходы к определению сроков службы огнезащитных полимерных покрытий // Проблемы пожарной безопасности : сб. науч. тр. 2012. № 31. С. 10–18.
4. 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. 14–26. DOI: 10.18322/pvb.2018.27.7-8.32-42
5. Теплоухов А.В., Зверев В.Г., Гарашенко 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
6. Смирнов Н.В., Дудеров Н.Г., Булага С.Н., Булгаков В.В., Михайлова Е.Д., Толпекина Н.А., Лезова М.В. Оценка огнезащитных свойств покрытий в зависимости от сроков их эксплуатации : методика. 2-е изд., перераб. и доп. М. : ВНИИПО, 2016. 31 с.
7. Смирнов Н.В., Булага С.Н., Дудеров Н.Г., Михайлова Е.Д., Булгаков В.В., Толпекина Н.А. Оценка качества и установление вида огнезащитных покрытий на объектах: руководство. М. : ВНИИПО, 2011. 39 с.
8. Ненахов С.А., Пименова В.П. Влияние концентрации газообразующего агента на закономерности развития пенококса огнезащитных составов // Пожаровзрывобезопасность. 2010. Т. 19. № 3. С. 14–26. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=13083431>

Материал поступил в редакцию 01.07.2021

Received July 01, 2021

### Информация об авторе

**ХАРЛАМЕНКОВ Александр Сергеевич**, заместитель начальника кафедры специальной электротехники, автоматизированных систем и связи, Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, г. Москва, Российская Федерация; РИНЦ ID: 763967; e-mail: h\_a\_s@live.ru

### Information about the author

**Aleksandr S. KHARLAMENKOV**, Deputy Head of the Department of Special Electrical Engineering, Automation Systems and Communication, the State Fire Academy of the Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters, Moscow, Russian Federation; ID RISC: 763967; e-mail: h\_a\_s@live.ru

## ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ!

Направляемые в журнал «ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ/FIRE AND EXPLOSION SAFETY» статьи должны содержать результаты научных исследований и испытаний, описания новых технических устройств и программно-информационных продуктов; обзоры, комментарии к нормативно-техническим документам, справочные материалы и т.п. Авторы должны указать, к какому типу относится их статья:

- научно-теоретическая;
- научно-эмпирическая;
- аналитическая (обзорная);
- дискуссионная;
- рекламная.

Не допускается направлять в редакцию работы, которые были опубликованы и/или приняты к печати в других изданиях.

Редакция просит авторов при подготовке рукописи руководствоваться изложенными ниже правилами.

**1.** Статья и сопутствующие ей материалы должны быть направлены через электронную редакцию по адресу [info@fire-smi.ru](mailto: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](http://www.fire-smi.ru).

Материал статьи должен излагаться в следующем порядке.

**2.1.** Номер УДК (универсальная десятичная классификация).

**2.2.** Заглавие статьи (на русском и английском языках). Заглавия научных статей должны быть точными и лаконичными и в то же время достаточно информативными; в них можно использовать только общепринятые сокращения. В переводе заглавий статей на английский язык недопустима транслитерация с русского языка, кроме непереводаемых названий собственных имен, приборов и других объектов, имеющих собственные названия, а также непереводаемый сленг, известный только русскоговорящим специалистам. Это касается также аннотаций, авторских резюме и ключевых слов.

**2.3.** Информация об авторах.

**2.3.1.** Имена, отчества и фамилии всех авторов. Они должны приводиться полностью на русском языке и в транслитерации в соответствии с системой, которая в настоящее время является наиболее распространенной (<http://fotosav.ru/services/transliteration.aspx>).

Авторами являются лица, принимавшие участие во всей работе или в ее главных разделах. Лица, участвовавшие в работе частично, указываются в сносках.

**2.3.2.** Ученые степени, звания, должность, место работы всех авторов с полным юридическим адресом (на русском и английском языках). Здесь необходимо указать: полное официальное название организации, страну, индекс, город, название улицы, номер дома,

а также контактные телефоны и электронные адреса всех авторов; дать информацию о контактном лице. Обращаем Ваше внимание, что при переводе необходимо указывать официально принятое название организации на английском языке. Все почтовые сведения (кроме наименования улицы, которое должно быть в транслитерированном виде) должны быть также переведены на английский язык, в том числе название города и страны.

Пример: *Institute for Problem in Mechanics, Russian Academy of Sciences (Vernadskogo Avenue, 101, Moscow, 119526, Russian Federation).*

**2.3.3.** ORCID, Researcher ID, Scopus Author ID.

**2.4.** Расширенное резюме на русском и английском языках. Необходимо иметь в виду, что авторское резюме на английском языке в русскоязычном издании является для иностранных ученых и специалистов основным и, как правило, единственным источником информации о содержании статьи и об изложенных в ней результатах исследований. Поэтому авторское резюме должно быть:

- информативным (не содержать общих слов);
- содержательным (должно отражать существенные результаты работы; не должно включать материал, который отсутствует в основной части публикации);
- структурированным (т.е. следовать логике описания результатов в публикации);
- грамотным (написанным качественным английским языком, без использования программ автоматизированного перевода);
- объемом не менее 200–250 слов.

Структура резюме должна повторять структуру статьи и включать четко обозначенные подразделы Введение (Introduction), Цели и задачи (Aims and Purposes), Методы (Methods), Результаты (Results), Обсуждение (Discussion), Заключение (выводы) (Conclusions).

Результаты работы следует описывать предельно точно и информативно. При этом должны приводиться основные теоретические и экспериментальные результаты, фактические данные, установленные взаимосвязи и закономерности.

Выводы могут сопровождаться рекомендациями, оценками, 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.

**2.5.** Ключевые слова на русском и английском языках (не менее 5 слов или коротких словосочетаний). Они указываются через точку с запятой. Недопустимо в качестве ключевых слов использовать термины общего характера (например, проблема, решение и т.п.), не являющиеся специфической характеристикой публикации. Используемые в заголовке слова и термины не нужно повторять в качестве ключевых слов: ключевые слова должны дополнять информацию в заголовке. При переводе ключевых слов на английский язык избегайте по возможности употребления слов «and» (и), «of» (предлог, указывающий на принадлежность), артиклей «a», «the» и т.п.

**2.6.** Основной текст статьи должен быть набран через 1,5 интервала в формате Word. Формулы должны быть набраны в Microsoft Equation или MathType.

Цитируемый текст из других публикаций следует брать в кавычки. Таблицы, рисунки, методы, численные данные (за исключением общеизвестных величин), опубликованные ранее, должны сопровождаться ссылками.

Если представленные в статье исследования выполнены авторами при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Российского научного фонда, Министерства образования и науки Российской Федерации и т.п., то в конце статьи обязательно следует дать информацию об этом с указанием номера и названия гранта (научного проекта, госконтракта и т.д.).

Сокращения и условные обозначения физических величин в тексте статьи должны соответствовать действующим международным стандартам. Формулы и буквенные обозначения должны быть четкими и ясными. Все буквенные обозначения, входящие в формулы, должны быть расшифрованы с указанием единиц измерения. Размерность всех характеристик должна соответствовать системе СИ. Иллюстрации в электронной версии прилагаются отдельно. Фотографии должны быть сделаны с хорошего негатива контрастной печатью (файлы растровых изображений предоставляются с разрешением не менее 300 dpi, черно-белая штриховая графика — 600 dpi). Файлы векторной графики следует предоставлять в формате той программы, в которой они созданы, либо печатать PDF-файл из этой программы. Все иллюстрации должны иметь сквозную нумерацию. Чертежи и карты в качестве иллюстраций неприемлемы. Ссылки на все рисунки в тексте обязательны.

Таблицы должны быть составлены лаконично и содержать только необходимые сведения; однотипные таблицы следует строить одинаково. Цифровые данные необходимо округлять в соответствии с точностью эксперимента. Сведения в таблицах и на рисунках не должны повторяться. Ссылки на все таблицы в тексте обязательны.

В журнале предусматривается двуязычное представление табличного и графического материала, поэтому необходимо прислать перевод на английский язык:

- для таблицы: ее названия, шапки, боковика, текста во всех строках, сноска и примечаний;
- для рисунка: подписочной подписи и всех текстовых надписей на самом рисунке;
- для схемы: подписи к ней и всего содержания самой схемы.

### 2.7. Пристайные списки литературы на русском языке и языке оригинала (если книга переводная).

Список литературы должен включать библиографические сведения обо всех публикациях, упоминаемых в статье, и не должен содержать указаний на работы, на которые в тексте нет ссылок. Литература должна быть оформлена в виде общего списка в порядке упоминания. В тексте ссылка на литературу отмечается порядковой цифрой в квадратных скобках, например [1]. Библиографические данные приводятся по титульному листу издания. Порядок изложения элементов библиографического описания определяется требованиями ГОСТ 7.1-2003 и ГОСТ Р 7.0.5-2008.

В описании источников необходимо указывать всех авторов.

Наряду с этим для научных статей список литературы должен отвечать следующим требованиям.

Список литературы должен содержать не менее 20 источников (в это число не входят нормативные документы, патенты, ссылки на сайты компаний и т.п.). При этом количество ссылок на статьи из иностранных научных журналов и другие иностранные источники должно быть не менее 40 % от общего количества ссылок. Не более половины от оставшихся 60 % должны составлять статьи из русскоязычных научных журналов, остальное — другие первоисточники на русском языке.

Не менее половины источников должно быть включено в один из ведущих индексов цитирования: Российский индекс научного цитирования eLibrary, Web of Science, Scopus, Chemical Abstracts, MathSciNet, Springer и др. В случае присвоения публикациям цифрового идентификатора объекта (DOI) его необходимо указать, что позволит однозначно идентифицировать объект в базах данных.

Состав источников должен быть актуальным и содержать не менее половины современных (не старше 10 лет) статей из научных журналов или других публикаций.

В списке литературы должно быть не более 30 % источников, автором либо соавтором которых является автор статьи.

Следует обратить внимание на публикации диссертаций (особенно докторских), защищенных в последние годы по ближайшей научной специальности или группе специальностей. Для поиска рекомендуется использовать ресурс <http://www.dissercat.com>.

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

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

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

**2.8. References** (пристайные списки литературы на английском языке). Представление в References только транслитерированного (без перевода) описания недопустимо. Обращаем Ваше внимание, что перевод названия статей следует давать так, как он проходил при их публикации, а перевод названий журналов должен быть официально принятым. Произвольное сокращение названий источников цитирования приведет к невозможности идентифицировать ссылку в электронных базах данных.

При составлении References необходимо следовать схеме:

- ИОФ авторов (транслитерация; для ее написания используйте сайт <http://fotosav.ru/services/transliteration.aspx>, обязательно включив в настройках справа 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](http://www.fire-smi.ru)).

**3.** Статьи, присланные не в полном объеме, на рассмотрение не принимаются.

**4.** В случае получения замечаний в ходе внутреннего рецензирования статьи авторы должны предоставить доработанный вариант текста в срок не более одного месяца с обязательным выделением цветом внесенных изменений, а также отдельно подготовить конкретные ответы-комментарии на все вопросы и замечания рецензента.

Несвоевременный, а также неадекватный ответ на замечания рецензентов и научных редакторов приводит к задержке публикации до исправления указанных недостатков. При игнорировании замечаний рецензентов и научных редакторов рукопись снимается с дальнейшего рассмотрения.

**5.** Непринятые к публикации статьи автору не возвращаются. Просьба редакции о переработке материала не означает, что он принят к печати. Предпечатная подготовка статей оплачивается за счет средств подписчиков и третьих лиц, заинтересованных в публикации.

Редакция оставляет за собой право считать, что авторы, представившие рукопись для публикации в журнале «Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety», согласны с условиями публикации или отклонения рукописи, а также с правилами ее оформления!