

2-2021

FIRE and EXPLOSION
SAFETY

ПОЖАРОВЗРЫВО-

БЕЗОПАСН  **СТЬ**

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

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

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ
ПО РАЦИОНАЛЬНОМУ
РАСПРЕДЕЛЕНИЮ РЕСУРСА,
ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО
ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
КОМПЛЕКСНОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ
ПРЕДПРИЯТИЯ



КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

пожарная • промышленная • производственная • экологическая

№ 2 ТОМ 30
2021

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.**
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

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 26.04.2021.
Выход в свет 30.04.2021.

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 взяты с сайтов:
pixabay.com;
lenpromexpertiza.ru; интернет-портал

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, Ньютаунсби, 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)

Рестас 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, Ньютаунсби, 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

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

И.К. БАКИРОВ, Р.А. ВАЛИУЛЛИНА
Нормативно-техническое регулирование
производственных объектов, связанное с предстоящими
изменениями в «Техническом регламенте о требованиях
пожарной безопасности»

5

ПРОЦЕССЫ ГОРЕНИЯ, ДЕТОНАЦИИ И ВЗРЫВА

Н.Л. ПОЛЕТАЕВ
Нагрев потока частиц
встречным тепловым излучением

15

БЕЗОПАСНОСТЬ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

О.Н. КОРОЛЬЧЕНКО, С.Г. ЦАРИЧЕНКО,
Н.И. КОНСТАНТИНОВА
К вопросу о свойствах пожарной опасности
огнезащищенной древесины

23

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

Е.В. ГВОЗДЕВ
Постановка проблемы по рациональному
распределению ресурса, предназначенного для
обеспечения комплексной безопасности предприятия

35

БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ, ОБЪЕКТОВ

И.И. ПОЛЕВОДА, Д.С. НЕХАНЬ
Решение теплотехнической задачи огнестойкости
центрифугированных железобетонных колонн

49

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ И СРЕДСТВА

М. РУКИН
Тепловизионный индикатор критического состояния
«Снегирь» как средство сверхраннего обнаружения места
пожара или перегрева оборудования

71

СРЕДСТВА И СПОСОБЫ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

Д.А. КОРОЛЬЧЕНКО, С.В. ПУЗАЧ
Учет механизма тушения пламени в интегральных и
зонных моделях расчета динамики опасных факторов
пожара в помещении

78

Д.С. КУПРИН, А.С. ПОЛЯКОВ
О точности и достоверности сравнительной оценки
эффективности переносных огнетушителей при
пожаротушении конструкционных и отделочных
материалов автомобилей

88

ДИСКУССИИ

А.В. ЕРШОВ, В.Б. КОРОБКО
О проблеме перехода государственного управления
в техносфере на новую риск-ориентированную модель
на примере обеспечения пожарной безопасности

98

ВОПРОС – ОТВЕТ

А.С. ХАРЛАМЕНКОВ
Целесообразность применения
устройств защиты от дугового пробоя

117

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

CONTENTS

GENERAL QUESTIONS OF COMPLEX SAFETY

I.K. BAKIROV, R.A. VALIULLINA
Normative and technical regulation of production facilities
in the context of the upcoming revision of Technical
regulation "General requirements to fire safety"

COMBUSTION, DETONATION AND EXPLOSION PROCESSES

N.L. POLETAEV
The heating of a stream of particles by thermal
counter radiation

SAFETY OF SUBSTANCES AND MATERIALS

O.N. KOROLCHENKO, S.G. TSARICHENKO,
N.I. KONSTANTINOVA
Flammability properties
of fire-retardant timber

MATHEMATICAL MODELING, NUMERICAL METHODS AND PROGRAM COMPLEXES

E.V. GVOZDEV
Rational allocation of the resource designated for
comprehensive safety assurance at an enterprise:
the problem statement

SAFETY OF BUILDINGS, STRUCTURES, OBJECTS

I.I. PALEVODA, D.S. NEKHAN
A solution to the thermal problem of fire resistance of spun
reinforced concrete columns

AUTOMATED SYSTEMS AND MEANS

M. RUKIN
"Snegir" thermal imager of critical conditions as an
instrument for early detection of firegrounds or overheated
items of equipment

MEANS AND WAYS OF FIRE EXTINGUISHING

D.A. KOROLCHENKO, S.V. PUZACH
Introduction of a flame suppression pattern into integrated
and zone models used to analyze the dynamics of
hazardous factors of indoor fires

D.S. KUPRIN, A.S. POLYAKOV
The accuracy and reliability of comparative efficiency
assessment of portable fire extinguishers used
in the process of fire extinguishing of structural components
of motor

DISCUSSION

A.V. ERSHOV, V.B. KOROBKO
The problem of state governance in the technosphere and
its transition to a new risk-oriented model: the case of fire
safety assurance

QUESTION – ANSWER

A.S. KHARLAMENKOV
The expediency of using arc-fault
detection devices

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.



Нормативно-техническое регулирование объектов

Стр. 5



Стр. 23

О свойствах пожароопасности огнезащитенной древесины



Обеспечение комплексной безопасности предприятия

Стр. 35



Стр. 49

Решение теплотехнической задачи огнестойкости колонн



Стр. 88

О точности оценки эффективности огнетушителей



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.**

Corractor **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

"Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion
Safety" is included in the List of periodical scientific
and technical publication, recommended by Higher
Attestation Commission of the Russian Federation
for publishing aspirants' works for candidate
and doctoral degree, in Abstracting Journal and
Database of VINITI RAS, 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 26.04.2021.

Date of publication 30.04.2021.

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 (Se-
menov 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 Engi-
neering, 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 Sci-
ences, 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 Sci-
ence (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)

Нормативно-техническое регулирование производственных объектов, связанное с предстоящими изменениями в «Техническом регламенте о требованиях пожарной безопасности»

© И.К. Бакиров ✉, Р.А. Валиуллина

Уфимский государственный нефтяной технический университет (Россия, Республика Башкортостан, 450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1)

АННОТАЦИЯ

Введение. 16 января 2020 г. опубликован текст проекта о внесении изменений в Технический регламент о требованиях пожарной безопасности. Проект изменений разработан в рамках реализации механизма «регуляторной гильотины». В основном изменения предлагаются в целях устранения избыточных и дублирующих требований пожарной безопасности, включая требования к средствам обеспечения пожарной безопасности и пожаротушения, установленным Техническим регламентом Евразийского экономического союза «О требованиях к средствам обеспечения пожарной безопасности и пожаротушения» (ТР ЕАЭС 043/2017). Цель настоящей статьи: обосновать нецелесообразность либо, напротив, необходимость предложенных изменений в Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22 июня 2008 г. № 123-ФЗ.

Основная (аналитическая) часть. Проведена оценка предложенных изменений в нормативный правовой акт «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», разработанных в рамках механизма «регуляторной гильотины». В ходе сравнительного анализа существующих требований пожарной безопасности и предлагаемых изменений были предложены рекомендации по их совершенствованию. В статье обоснованы как нецелесообразность некоторых изменений, так и необходимость введения поправок в Федеральный закон № 123-ФЗ. К предложенному проекту, состоящему из 28 изменений, приведены комментарии авторов. **Выводы.** Технический регламент в области пожарной безопасности должен быть один, а не представлять собой фрагменты, разорванные между Техническим регламентом Евразийского союза, Техническим регламентом российского значения и Техническим регламентом о безопасности зданий и сооружений.

Ключевые слова: федеральный закон; нормативное положение; правовой акт; риск; проект изменений

Для цитирования: Бакиров И.К., Валиуллина Р.А. Нормативно-техническое регулирование производственных объектов, связанное с предстоящими изменениями в «Техническом регламенте о требованиях пожарной безопасности» // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2021. Т. 30. № 2. С. 5–14. DOI: 10.22227/PVB.2021.30.02.5-14

✉ Бакиров Ирек Климович, e-mail: bakirovirek@bk.ru

Normative and technical regulation of production facilities in the context of the upcoming revision of Technical regulation “General requirements to fire safety”

© Irek K. Bakirov ✉, Regina A. Valiullina

Ufa State Petroleum Technological University (Kosmonavtov St., 1, Ufa, 450062, Republic of Bashkortostan, Russian Federation)

ABSTRACT

Introduction. The text of draft amendments to Technical Regulation “General requirements to fire safety” was published on January 16, 2020. Draft amendments were developed within the framework of the “regulatory guillotine” approach. The mission of the proposed amendments was to eliminate excessive and duplicative fire safety requirements, inter alia, requirements applicable to fire safety and fire extinguishing devices that had been established by Technical Regulation of the Eurasian Economic Union (EAEU) “On Requirements for fire safety and extinguishing devices” (TR EEU 043/2017).

The purpose of this article is to substantiate the expediency of, or, on the contrary, the need to make the proposed amendments to Federal Law No. 123-FZ of July 22, 2008 “Technical Regulation of Fire Safety Requirements”.

The body (analytical part) of the work. The proposed amendments to the regulatory legal act titled “Technical Regulations on Fire Safety Requirements” were drafted within the framework of the “regulatory guillotine” approach. In the course of the comparative analysis of effective fire safety requirements and proposed amendments the co-authors came up with recommendations for their improvement. The co-authors of the article present arguments to substantiate the inexpediency of some particular amendments, but at the same time, they support the need to make other amendments to Federal Law No 123-FZ. The co-authors comment on the proposed draft document that has twenty-eight amendments.

Conclusions. Fire safety regulations must represent a single consolidated document, rather than several “fragments” available in the Technical Regulations of the Eurasian Union, Technical Regulations of All-Russian Significance and Technical Regulations of Safety of Buildings and Structures.

Keywords: federal law; regulatory provision; legal act; risk; draft amendments

For citation: Bakirov I.K., Valiullina R.A. Normative and technical regulation of production facilities in the context of the upcoming revision of Technical regulation “General requirements to fire safety”. *Pozharovzryvobezопасnost/Fire and Explosion Safety*. 2021; 30(2):5-14. DOI: 10.22227/PVB.2021.30.02.5-14 (rus).

✉ Irek Klimovich Bakirov, e-mail: bakirovirek@bk.ru

Введение

В 2009 г. в нашей стране вступил в силу важный нормативный правовой акт РФ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (далее — Технический регламент) [1]. С его вступлением было введено много новых понятий, изменился общий подход к нормативным положениям в области пожарной безопасности, появилась возможность гибкого нормирования или выбора условий соответствия обеспечения пожарной безопасности. Изменился и подход контрольно-надзорной деятельности на объектах промышленности, активно внедряются риск-ориентированные проверки в области безопасности.

После принятия Технического регламента [1] вводились поправки и изменения в редакции федеральных законов от 10 июля 2012 г. № 117-ФЗ, от 2 июля 2013 г. № 185-ФЗ, от 23 июня 2014 г. № 160-ФЗ, от 13 июля 2015 г. № 234-ФЗ, от 3 июля 2016 г. № 301-ФЗ, от 29 июля 2017 г. № 244-ФЗ, от 27 декабря 2018 г. № 1 538-ФЗ.

16 января 2020 г. опубликован текст проекта о внесении изменений в Технический регламент [2]. Проект изменений разработан в рамках реализации механизма «регуляторной гильотины». В основном изменения предлагаются в целях устранения избыточных и дублирующих требований пожарной безопасности, включая требования к средствам обеспечения пожарной безопасности и пожаротушения, установленные Техническим регламентом Евразийского экономического союза «О требованиях к средствам обеспечения пожарной безопасности и пожаротушения» (ТР ЕАЭС 043/2017) [3].

Проект изменений Технического регламента разработан в рамках технического регулирования в области пожарной безопасности. В проекте предлагается 28 изменений. По мнению авторов, многие из них серьезные, но не совсем оправданные. Цель настоящей работы: обосновать нецелесообразность некоторых изменений, либо, напротив, необходимость введения поправок в Технический регламент.

Основная (аналитическая) часть

В проекте изменений в Технический регламент предполагается пункт 1 статьи 2 [1] изложить в следующей редакции: «Аварийный выход — выход, не отвечающий требованиям, предъявляемым к эвакуационным выходам, и предусматривающийся для повышения безопасности людей при пожаре. Аварийные выходы не учитываются при эвакуации в случае пожара, за исключением специально оговоренных случаев». Здесь речь идет о возможности в специально оговоренных случаях, например, при расчете путей эвакуации в административном здании на территории нефтеперерабатывающего завода, учитывать аварийный выход как эвакуационный.

Предлагаем не вводить такое изменение, основанное на добавлении в статью фразы «...за исключением специально оговоренных случаев», так как это выражение, вероятно, повлечет за собой ряд вопросов, на которые в различных ситуациях может последовать ответ в виде замены эвакуационного выхода аварийным выходом, а к нему не предъявляются нормативные требования по высоте, ширине, количеству и направлению открывания дверей, которые представляют собой важные факторы обеспечения безопасности при эвакуации людей.

Также в статье 2 Технического регламента [1] проектом изменений в пункте 2, определяющим безопасную зону как зону, в которой люди защищены от воздействия опасных факторов пожара или в которой опасные факторы пожара отсутствуют либо не превышают предельно допустимых значений, предложено исключить слова «... либо не превышают предельно допустимых значений».

Однако по разным причинам часть опасных факторов пожара может возникнуть в безопасной зоне, такой, например, как улица, тамбур-шлюз, другой пожарный отсек производственного здания, но такая ситуация не несет существенный вред для здоровья людей [4]. В результате этого изменения такую зону уже нельзя будет определять, как без-

опасную. Например, появление небольшого теплового излучения или дыма в безопасной зоне не причинит вреда, поскольку опасные факторы не превышают допустимых значений. Целесообразно это выражение оставить в старой редакции.

Предлагается поддержать признание недействительными пунктов 23, 25 и 26 статьи 2 [1], где даются определения пожарной сигнализации, пожарного извещателя, пожарного оповещателя, а также представлены многие другие нормативные положения других статей Технического регламента [1], так как все обязательные требования и определения систем активной противопожарной защиты зданий и другие нормативные положения уже установлены ТР ЕАЭС 043/2017 [3] и являются избыточной дублирующей информацией.

Но в данном случае возникает противоречие: если определения пожарной сигнализации, пожарного извещателя, пожарного оповещателя, предела огнестойкости зданий, в том числе зданий производственного и складского назначения, входят в понятие «средства обеспечения пожарной безопасности», то почему определение «противопожарной преграды», установленной в пункте 35 статьи 2 [1], и ряд других определений остались неизменными, и их не предложили также исключить в проекте изменений [2], хотя они относятся к средствам обеспечения пожарной безопасности? Известно, что к средствам обеспечения пожарной безопасности относятся средства для предотвращения, снижения риска возникновения и развития пожара, ограничения распространения его опасных факторов, а также для снижения риска причинения вреда и (или) нанесения ущерба вследствие пожара [3]. Как мы видим, противопожарная преграда в производственном или складском здании, как и многие другие понятия, подходит под это определение и относится к средствам обеспечения пожарной безопасности.

Предлагается поддержать изложение пункта 27 той же статьи в другой редакции: «Пожарный отсек — часть здания (сооружения), выделенная противопожарными стенами и (или) противопожарными перекрытиями 1-го типа». Раньше типы противопожарных преград не были установлены, и приходилось выполнять расчеты, чтобы в случае пожара соблюдалось условие по его нераспространению за границы пожарного отсека. Хотя из этого следует ужесточение нормативных положений, но эта часть статьи трактуется более точно, и проведение расчета по времени становится необязательным. Однако для ослабления нормативного положения рекомендуется дополнить изменение пункта 27 следующим образом: «Пожарный отсек — часть здания (сооружения), выделенная противопожарными стенами и (или) противопожарными перекрытиями 1-го или 2-го типа». Так, возможно

применение отделения административной части здания от производственной части стенами с пределом огнестойкости REI 45, например, стенами из кирпича толщиной 65 мм со штукатуркой [5] и перекрытиями с пределом огнестойкости REI 60, выдерживающими 1 ч до наступления предельного состояния после начала действия опасного фактора пожара.

В настоящий момент пункт 48 статьи 2 Технического регламента [1] так определяет понятие эвакуационного выхода: «Эвакуационный выход — выход, ведущий на путь эвакуации, непосредственно наружу или в безопасную зону».

Проект изменений [2] предлагает изложить пункт 48 статьи 2 Технического регламента [1] в следующей редакции: «Эвакуационный выход — выход, ведущий на путь эвакуации, непосредственно наружу или в безопасную зону в соответствии с требованиями настоящего Федерального закона и нормативных документов по пожарной безопасности».

Известно, что к нормативным правовым актам относятся технические регламенты, федеральные законы и иные акты, а к нормативным документам — национальные стандарты, своды правил и иные документы, применение которых на добровольной основе обеспечивает соблюдение требований [1].

Мы считаем, что данное изменение вступает в противоречие со статьей 6 Федерального закона [1], так как требования или рекомендации нормативных документов необходимо выполнять не всегда, а лишь в случае, если в качестве условия соответствия требованиям пожарной безопасности выбрано условие, когда требования или рекомендации нормативных документов необходимо выполнять обязательно. Но если выбрано в качестве части условия соответствия необязательное соблюдение требований или рекомендаций нормативных документов, а величина пожарного риска не выше допустимого, в соответствии с этим новым определением их необходимо будет выполнить в части эвакуационного выхода. В данном случае оценка пожарного риска не будет оказывать влияния на соответствие эвакуационного выхода, а точнее — на безопасную зону, связанную с эвакуационным выходом, и значение части расчетного метода оценки соответствия объекта защиты будет понижено [6].

Предлагаем следующее содержание изменения: «Эвакуационный выход — выход, ведущий на путь эвакуации, непосредственно наружу или в безопасную зону в соответствии с требованиями настоящего Федерального закона». В этом случае не будет противоречий со статьей 6 Федерального закона [1].

В соответствии с Федеральным законом [1] в настоящий момент пункт 49 статьи 2 дает такое определение: «Эвакуационный путь (путь эвакуа-

ции) — путь движения и (или) перемещения людей, ведущий непосредственно наружу или в безопасную зону, удовлетворяющий требованиям безопасной эвакуации людей при пожаре».

По тем же причинам хотелось бы отметить несогласие с изменением пункта 49, которое проектом изменений [2] предлагается изложить в следующей редакции: «Эвакуационный путь (путь эвакуации) — путь, предназначенный для движения людей непосредственно наружу или в безопасную зону, удовлетворяющий требованиям настоящего Федерального закона и нормативных документов по пожарной безопасности». Считаем, что данное изменение также вступает в противоречие со статьей 6 Федерального закона [1].

В определении следует отметить, что на эвакуационном пути допускается воздействие на людей опасных факторов пожара, иначе могут быть ситуации, когда представители надзорных органов будут требовать отделения эвакуационного пути производственного здания противопожарными преградами для отсутствия на эвакуационном пути опасных факторов пожара. Предлагаем следующее содержание изменения: «Эвакуационный путь (путь эвакуации) — путь, на котором допускается не превышающее предельно допустимых значений воздействие на людей опасных факторов пожара, предназначенный для движения людей непосредственно наружу или в безопасную зону, удовлетворяющий требованиям настоящего Федерального закона». Такое определение было бы ближе к реальным ситуациям во время пожара, и нормативное требование не оторвано от реалий [7].

Напомним, что в настоящее время в статье 6 Федерального закона [1] установлены два условия соответствия требованиям пожарной безопасности, и достаточно выполнить одно из них, чтобы обеспечить пожарную безопасность. Одно из условий соответствия требованиям пожарной безопасности обеспечивает пожарную безопасность, если в полном объеме выполнены требования пожарной безопасности, установленные техническими регламентами, принятыми в соответствии с Федеральным законом «О техническом регулировании» № 184-ФЗ [8], и нормативными документами по пожарной безопасности.

Проект изменений [2] предлагает это условие изменить и обеспечить пожарную безопасность, если в полном объеме выполнены требования пожарной безопасности, установленные Федеральным законом [1] и нормативными документами по пожарной безопасности или стандартом организации, согласованным федеральным органом исполнительной власти.

В старой редакции условие соответствия звучало таким образом, что необходимо было проверять все технические регламенты, принятые в соответствии с Федеральным законом «О техническом регулировании» [8]. Новая редакция конкретизирует обязательность выполнения только Технического регламента о требованиях пожарной безопасности [1], и это логично, так как речь идет об условии соответствия именно требований пожарной безопасности. Логичен и учет стандартов предприятий как особых видов нормативных документов, поскольку многие крупные, в том числе нефтегазовые, предприятия применяют в основном только стандарты предприятий. Поддерживаем это изменение.

В проекте изменений [2] предлагается добавить еще два условия соответствия. Одно из них обеспечивало бы пожарную безопасность, если в полном объеме выполнены требования пожарной безопасности, установленные Федеральным законом [1], и результаты исследований, расчетов и (или) испытаний подтверждают обеспечение пожарной безопасности в соответствии с частью 7 статьи 6 этого закона. Но часть 7 определяет только классификацию строительных материалов по воспламеняемости. Классификация — это ненормативное требование на объекте защиты. Классификация не может обеспечивать пожарную безопасность, как определено здесь. Предлагаем это условие исключить, поскольку не определены критерии видов испытаний, исследований и видов расчетов. Таким расчетом может быть и оценка пожарного риска, которая и так учтена в другом условии соответствия. Формулировка — поверхностная, и неясен порядок ее применения.

Другим дополнительным условием в статью 6 Федерального закона [1] предлагается ввести условие обеспечения пожарной безопасности, если в полном объеме выполнены требования специальных технических условий. Это предложение поддерживаем, так как специальные технические условия — это разновидность нормативного документа, включающего в себя, как правило, и оценку пожарного риска, и требования Федерального закона [1], и дополнительные компенсирующие мероприятия [9].

Предлагаем добавить еще ряд условий соответствия требованиям пожарной безопасности.

В качестве одного из дополнительных возможных условий предлагаем оценку соответствия в форме независимой оценки пожарного риска (пожарного аудита) с положительным заключением, подтверждающим обеспечение пожарной безопасности. Заключение может содержать инженерно-технические и организационные мероприятия по обеспечению пожарной безопасности, а также оценку пожарного риска. Оно всегда имеет в своем содержании

вывод о соответствии объекта требованиям пожарной безопасности. Такое условие также повысит значимость деятельности экспертов независимой оценки пожарного риска и будет стимулировать развитие негосударственного контроля в области пожарной безопасности как формы оценки соответствия [10].

Рекомендуем добавить еще одно условие в виде оценки соответствия в форме федерального государственного пожарного надзора с положительным заключением, подтверждающим обеспечение пожарной безопасности. Это повысит ответственность должностных лиц пожарного надзора и значимость их заключения.

Проектом изменений предлагается добавить в пункт 7 статьи 6 Технического регламента [1] дополнение о том, что порядок расчетов по оценке пожарного риска определяется не только нормативными правовыми актами, но и нормативными документами. Поддерживаем это предложение, так как при определении расчетных величин пожарного риска, как правило, используется целый ряд именно нормативных документов, а не только актов, в которых также определен порядок расчетов, например, по определению показателя степени, учитывающего изменение массы выгорающего материала во времени (n) в зависимости от характера распространения пламени [11]. К числу таких нормативных документов относятся пособия по определению расчетных величин пожарного риска для производственных и непроизводственных объектов, ГОСТы и др.

В том же пункте проектом изменений предложено использовать результаты расчетов пожарного риска только для обоснования параметров и характеристик объектов, которые учитываются в методиках [12–13], а в иных случаях обеспечение пожарной безопасности объекта защиты может быть обосновано результатами проведения исследований, расчетов и (или) испытаний, выполненных в соответствии с нормативными документами по пожарной безопасности.

Считаем это изменение неправильным и предлагаем его не добавлять в вышеназванный пункт. Не все параметры и характеристики учитываются в методиках [12–13], многие из них применяются в нормативных и справочных положениях, например, категории по пожарной и взрывопожарной опасности производственных или складских помещений, зданий и сооружений, удельная массовая скорость выгорания (m'), плотность окружающего воздуха для разных регионов Российской Федерации (ρ_a), среднеповерхностная интенсивность теплового излучения (E_f), линейная скорость распространения пламени по поверхности материалов (v) [11]. Таким образом, получается, что расчет пожарного риска можно использовать для обоснования характеристики объекта, а не для обеспечения по-

жарной безопасности. Этот пункт входит в противоречие с пунктом 1 той же статьи, где определено, что одним из условий или части условия обеспечения пожарной безопасности может быть именно оценка пожарного риска. И непонятным образом в этом дополнении понятие «обоснование параметров и характеристик объекта» и понятие «обеспечение пожарной безопасности» преподносятся как одно и то же понятие. Это же дополнение ограничивает способы обеспечения пожарной безопасности только исследованиями, расчетами и (или) испытаниями и не учитывает как способ, установленный в той же статье, определение соответствия требованиям Технического регламента [1] и другие предлагаемые способы. Кроме того, выводы при проведении расчетов пожарного риска могут быть использованы при оценке соответствия и выполнении условий соответствия, при разработке специальных технических условий, пожарного аудита, но они тоже не учтены.

Предлагается изложить указанное дополнение в следующей редакции: «Порядок проведения расчетов по оценке пожарного риска определяется нормативными правовыми актами Российской Федерации и нормативными документами по пожарной безопасности. Результаты и выводы, полученные при проведении расчетов по оценке пожарного риска, используются при разработке специальных технических условий в области пожарной безопасности, при оценке соответствия в области пожарной безопасности, в том числе при выполнении независимой оценки пожарного риска». Такие формулировки для пользователей были бы более понятными, и определение использования результатов оценки пожарного риска стало бы конкретнее.

Проектом возможных изменений [2] предложено изменение формулировки пункта 4 статьи 63 [1], характеризующей первичные меры пожарной безопасности.

План тушения пожаров играет большую роль как документ предварительного планирования тушения пожара [14], особенно на крупных производственных объектах, таких как нефтеперерабатывающие заводы, где имеется большая концентрация пожароопасных веществ и материалов. Предложено первичную меру пожарной безопасности по разработке плана привлечения сил и средств для тушения пожаров расписать более подробно, добавить в нее функцию не только разработки, как было раньше, но и утверждения, и контроля плана. Поддерживаем такое предложение, но считаем, что для совершенствования в области нормативно-технического регулирования недостаточно внесения только этого изменения в статью 63.

Предлагаем в пункте 4 статьи 63 объединить понятия «первичные меры пожарной безопасности» и «организационно-технические мероприятия». Понятие «первичные меры пожарной безопасности» определено в Техническом регламенте [1], а «организационно-технические мероприятия» — в ГОСТ 12.1.004–91 [15]. Очевидно, что многие аспекты этих понятий пересекаются, если более подробно рассмотреть их содержание. Тем не менее в понятии «система обеспечения пожарной безопасности» одной из составляющих являются именно организационно-технические мероприятия [1]. Вопросы, касающиеся организационно-технических мероприятий, устарели, так как были нормированы в 1991 г., и в них входят даже мероприятия, которые ссылаются на законодательство СССР. Однако без организационно-технических мероприятий мы сегодня не можем однозначно делать выводы по наличию на объекте защиты системы обеспечения пожарной безопасности. Хотя известно, что даже в приказе МЧС России № 261 при работе надзорных органов первым вопросом для обеспечения пожарной безопасности на производственных и складских объектах является наличие системы обеспечения пожарной безопасности на объекте [16]. Предлагаем статью 63 Технического регламента объединить с описанием организационно-технических мероприятий и для ясности применения назвать указанные действия не первичными мерами пожарной безопасности, а организационно-техническими мероприятиями.

Проект изменений [2] в статью 89 Технического регламента предлагает предусматривать на путях эвакуации зданий на территории предприятий размещение тамбур-шлюзов, а при выходе непосредственно наружу из здания — тамбуров (в том числе двойных), не считая их отдельными помещениями.

Рекомендуем не включать это изменение, так как, во-первых, это обяжет застройщиков и проектировщиков предусматривать тамбур-шлюзы на любых путях эвакуации и тамбуры перед выходом из любого производственного или административного здания на производственной территории, следовательно, появятся лишние финансовые затраты, необходимости в которых для обеспечения пожарной безопасности при эвакуации мы не видим. Во-вторых, это увеличит расчетное время эвакуации, поскольку создаст возможность скопления людей перед дверными проемами в тамбур и из тамбура в безопасную зону.

Проект изменений [2] предлагает изменение в той же статье Федерального закона [1] по обязательному разделению коридора противопожарными перегородками с дверями.

Как уже отмечалось выше, предлагаем не включать это изменение, так как это обяжет застройщиков, проектировщиков и собственников объектов

защиты предусматривать перегородки с дверями с нормируемым пределом огнестойкости во всех коридорах. В связи с этим возникнут ненужные финансовые затраты, в которых, по нашему мнению, отсутствует необходимость для обеспечения пожарной безопасности при эвакуации, поскольку мы не считаем, что люди погибают от того, что дым проникает в коридоры. Дым — это только один из опасных факторов пожара и, как правило, именно от него в основном погибают люди на пожарах. Но он проникает в коридор только при наступлении одного из предельных состояний пределов огнестойкости противопожарных перегородок, перекрытий и дверей — изолирующей способности, которая, как правило, наступает раньше других предельных состояний [17]. Однако при таком обязательном требовании придется обязательно предусматривать в противопожарных преградах пределы огнестойкости не только по изолирующей способности, но по несущей способности и целостности, которые, как правило, наступают позже достижения предела изолирующей способности во время пожара и на начальной стадии пожара, когда люди уже эвакуируются, и на проникновение дыма в коридоры влияния не оказывают [18]. Поэтому можно было бы ограничиться установкой в дверях, отделяющих коридоры, устройств для самозакрывания и уплотнителей в притворах, которые влияют именно на изолирующую способность и проникновение дыма в коридоры. Это было бы недорого и относительно эффективно для обеспечения безопасности во время пожара.

Проектом изменений [2] в статье 89 Технического регламента [1] предлагается отменить отнесение к эвакуационным выходам выходов из подвалов через общие лестничные клетки в тамбур с обособленным выходом наружу, отделенным от остальной части лестничной клетки противопожарной перегородкой 1-го типа. Но неужели такое объемно-планировочное решение не обеспечивает безопасность эвакуации из подвальных помещений? Неужели есть случаи гибели людей из-за такого объемно-планировочного решения? Смысл отмены признания таких выходов эвакуационными непонятен, это предложение предлагаем не принимать.

Проектом изменений планируется удалить часть 2 статьи 100 Технического регламента [1] и тем самым исключить требование, которое имеет важное значение при проектировании и эксплуатации объектов нефтегазовой отрасли. Предлагается исключить требования к расположению резервуарных парков производственного объекта с нефтепродуктами, сжиженными горючими газами, ядовитыми веществами на более низких отметках по отношению к зданиям и сооружениям производственного объекта

и обнесения их (с учетом рельефа местности) продуваемой оградой из негорючих материалов. Считаем, что нет необходимости введения такого изменения, так как в случае пожара с разливом нефти и нефтепродуктов в резервуарных парках площади обвалования может не хватить для сдерживания растекания пожароопасных жидкостей [19]. Объемы внутри обвалований рассчитываются на растекание только одного резервуара в резервуарном парке, в то время как в парке их может быть много. По нашему мнению, необходимо это требование сделать обязательным, а для этого оно должно быть закреплено в нормативном правовом акте. Предлагаем оставить старую редакцию данного нормативного положения в отношении отметок. Удаление из Технического регламента обязательного требования по непродуваемой ограде резервуарного парка поддерживаем, так как, как правило, резервуарные парки всегда находятся на территории закрытых огражденных охраняемых производственных объектов, и проникновение посторонних лиц туда ограничено.

Однако проект изменений [2] предлагает признать утратившей силу статью 138 Технического регламента о требованиях пожарной безопасности к конструкциям и оборудованию вентиляционных систем кондиционирования и противодымной защиты.

Рекомендуем не убирать полностью требования статьи 138, а исключить только требования пожарной безопасности к конструкциям и оборудованию противодымной защиты как к средству обеспечения пожарной безопасности и учесть их в Техническом регламенте Евразийского экономического союза [3] так же, как и другие исключенные выше статьи, касающиеся средств обеспечения пожарной безопасности. Остальные требования к конструкциям и оборудованию вентиляционных систем, систем кондиционирования предлагается оставить в данной статье, так как они не относятся к средствам обеспечения пожарной безопасности.

Статья 97 [1] о размещении подразделений пожарной охраны и пожарных депо на производственных объектах проектом изменений [2] подвергается изменениям. Если подходить более глобально, образно и, как иногда выражаются политики, «геополитически», считаем нелогичным тот факт, что статья 97 остается в Федеральном законе [2]. Подразделения пожарной охраны и пожарных депо предлагается отнести к средствам обеспечения пожарной безопасности, и эту статью исключить из закона, но учесть в Техническом регламенте Евразийского экономического союза [3].

В проекте изменений [2] предлагается внесение изменений в статью 83 [1] о требованиях к автоматическому пожаротушению и пожарной

сигнализации. Автоматическое пожаротушение особенно актуально для объектов нефтеперерабатывающей промышленности, имеющих опасные производства и большие закрытые территории. Считаем нелогичным тот факт, что статья 83, содержащая требования к автоматической пожарной сигнализации и пожаротушению, остается в настоящем Федеральном законе [1]. Системы пожарной сигнализации и пожаротушения предлагается отнести к средствам обеспечения пожарной безопасности, и эту статью исключить из закона, но учесть в Техническом регламенте Евразийского экономического союза [3], так же как и другие исключенные выше статьи, касающиеся средств обеспечения пожарной безопасности. Вообще глава 19 «Требования к составу и функциональным характеристикам систем обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений» Технического регламента [1] и глава 5 «Требования к объектам технического регулирования» Технического регламента Евразийского экономического союза [3], по сути, дублируют друг друга. Предлагается исключение таких дублирующих друг друга глав и статей и присвоение им одинакового названия. В проекте изменений [2] частично планируется подобная переработка, однако ее далеко не достаточно для избавления от избыточных нормативных положений Технического регламента [1].

По тем же соображениям системы оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре, автоматические установки пожарной сигнализации и (или) пожаротушения предлагается отнести к средствам обеспечения пожарной безопасности, и статью 91 [1] по оснащению системами оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре, автоматическими установками пожарной сигнализации и (или) пожаротушения исключить из Технического регламента [1], но учесть в Техническом регламенте Евразийского экономического союза [3] так же, как и другие исключенные выше статьи, касающиеся средств обеспечения пожарной безопасности.

Как было отмечено выше, в Техническом регламенте Евразийского экономического союза [3] установлено, что к средствам обеспечения пожарной безопасности относятся средства для предотвращения, снижения риска возникновения и развития пожара, ограничения распространения его опасных факторов, тушения пожара, спасения людей и ликвидации последствий пожара, защиты жизни и (или) здоровья человека, имущества и окружающей среды от пожара, а также для снижения риска причинения вреда и (или) нанесения ущерба вследствие пожара. Как мы видим, к такому определению должны относиться почти все главы Технического регламента [1]. Однако часть

понятий так и не вошла в Технический регламент Евразийского союза [3], например, огнестойкость зданий, противопожарные расстояния как вид противопожарных преград и др. Считаем это одним из важных настоящих и будущих противоречий нормативных положений введенного в 2017 г. нормативного правового документа. В связи с вышеизложенным умозаключением многие предлагаемые изменения в главе 19 и других главах являются некорректными и были при проведении анализа проигнорированы. Это касается и части 8 статьи 87 относительно наружного утепления, и части 13 статьи 88 о требованиях к ограничению распространения пожара, и части 1 статьи 89 по расчету эвакуационных путей, эвакуационных и аварийных выходов, и части 3 статьи 89 о видах эвакуационных выходов.

Выводы

Для удобства пользователей, поскольку именно для них разрабатываются нормативные положения, в том числе технические регламенты, а не только для надзорных органов и научных деятелей в этой области, как возможно предполагают некоторые нормразработчики, Технический регламент в области пожарной безопасности должен быть единым, а не разорванным между Техническим регламентом Евразийского союза [3], Техническим регламентом российского значения [1] и Техническим регламентом о безопасности зданий и сооружений [20].

Один из величайших французских философов-просветителей Вольтер давно сказал: «Многочисленность законов в государстве есть то же, что большое число врачей: признак болезни и бессилия».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федеральный закон РФ от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ (в ред. от 29.07.2017). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения: 25.11.2020).
2. Проект изменений в ФЗ-123. О внесении изменений в Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» : Проект федерального закона от 16.01.2020 г. URL: <https://takir.ru/2020/01/17/proekt-izmenenij-v-fz-123/> (дата обращения: 25.11.2020).
3. Технический регламент Евразийского экономического союза «О требованиях к средствам обеспечения пожарной безопасности и пожаротушения» (ТР ЕАЭС 043/2017) : принят Решением Совета Евразийской экономической комиссии от 23.06.2017 г. № 40. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456080708> (дата обращения: 25.11.2020).
4. Христинич И.В. Пожарная безопасность: понятие и основные критерии // Право и безопасность. 2012. № 2. С. 80–84. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17904216&>
5. Пособие по определению пределов огнестойкости конструкций, пределов распространения огня по конструкциям и групп возгораемости материалов (к СНиП II-2-80) : утверждено приказом ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко Госстроя СССР от 19.12.1984 г. № 351/л.
6. Лашков И.А. Недостатки и перспективы оценки пожарных рисков // Проблемы науки. 2019. № 12. С. 30–32. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41568531>
7. СП 1.13130.2020. Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы. URL: <http://docs.cntd.ru/document/565248961> (дата обращения: 25.11.2020).
8. О техническом регулировании : Федеральный закон от 27.12.2002 г. № 184-ФЗ ; с изменениями на 22.12.2020 г. URL: <http://docs.cntd.ru/document/901836556> (дата обращения: 25.11.2020).
9. О порядке разработки и согласования специальных технических условий для разработки проектной документации на объект капитального строительства : Приказ Министерства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 15.04.2016 г. № 248/пр. URL: <http://docs.cntd.ru/document/420353763> (дата обращения: 25.11.2020).
10. Панков С.М. Независимая оценка пожарного риска как одна из новых форм оценки соответствия объектов защиты требованиям пожарной безопасности // Актуальные проблемы пожарной безопасности : мат. XXVII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 25-летию МЧС России : в 3 ч. Ч. 2. М. : ВНИИПО, 2015. С. 96–102. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23683970>
11. Бакиров И.К. Уфа: монография. Уфа : Изд-во Редакционно-издательский центр УГНТУ, 2014. С. 102–107.
12. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности: Приказ МЧС России от 30.06.2009 г. № 382 (ред. от 02.12.2015). URL: <http://base.garant.ru/12169057> (дата обращения: 25.11.2020).

13. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах: приказ МЧС России от 10.07.2009 г. № 404. URL: <https://base.garant.ru/196118/> (дата обращения: 25.11.2020).
14. Об утверждении Положения о пожарно-спасательных гарнизонах : Приказ МЧС России от 25.10.2017 г. № 467 : с изменениями на 28.02.2020 г. URL: <http://docs.cntd.ru/document/542610976> (дата обращения: 25.11.2020).
15. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования. URL: <http://docs.cntd.ru/document/9051953> (дата обращения: 25.11.2020).
16. Об утверждении форм проверочных листов, используемых должностными лицами федерального государственного пожарного надзора МЧС России при проведении плановых проверок по контролю за соблюдением требований пожарной безопасности : Приказ МЧС России от 28.06.2018 г. № 261 (Зарегистрировано в Минюсте России 01.11.2018 № 52600). URL: <https://base.garant.ru/72095498/> (дата обращения: 25.11.2020).
17. Бакиров И.К. Что надо изменить, чтобы эффективно проверять объекты в области пожарной безопасности // Пожарная безопасность в строительстве. 2011. № 4. С. 42–46.
18. СП 4.13130.2013 СППЗ. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200101593> (дата обращения: 25.11.2020).
19. СП 155.13130.2014. Склады нефти и нефтепродуктов. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200108948> (дата обращения: 25.11.2020).
20. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений : Федеральный закон от 30.12.2009 г. № 384-ФЗ. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902192610> (дата обращения: 25.11.2020).

REFERENCES

1. *Technical regulations for fire safety requirements: Federal Law of the Russian Federation on July 22, 2008 No. 123-FZ (ed. on July 29, 2017)*. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (Accessed: November 25, 2020). (rus).
2. *Draft amendments to FZ-123. Draft federal law on January 16, 2020 on amendments to the Technical regulations for fire safety requirements : Federal Law of the Russian Federation*. URL: <https://takir.ru/2020/01/17/proekt-izmenenij-v-fz-123/> (Accessed: November 25, 2020). (rus).
3. *Technical regulations of the Eurasian Economic Union (EAEU) 'On Requirements for fire safety and extinguishing devices' (TR EEU 043/2017) : adopted by the Decision of the Council of the Eurasian Economic Commission dated June 23, 2017. No. 40*. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456080708> (Accessed: November 25, 2020). (rus).
4. Khristinich I.V. *Fire safety: The concept and the main criteria. Law and security*. 2012; 2:80-84. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17904216&> (rus).
5. *A guide for determining the limits of fire resistance of structures, the limits of the spread of fire on structures and groups of flammability of materials (to SNiP II-2-80) Approved by order of TsNIISK named after Kucherenko Gosstroy of the USSR dated December 19, 1984. No. 351*. (rus).
6. Lashkov I.A. Disadvantages and prospects for assessing fire risks. *Science problems*. 2019;12:30-32. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=4156853> (rus).
7. *Set of rules 1.13130.2020. The systems of fire protection. Evacuation ways and exits*. URL: <http://docs.cntd.ru/document/565248961> (Accessed: November 25, 2020).
8. *About technical regulation : Federal Law of the Russian Federation on December 27, 2020. No. 184-FZ; as amended on December 22, 2020*. URL: <http://docs.cntd.ru/document/901836556> (rus).
9. *On the procedure for the development and approval of special technical conditions for the development of design documentation for a capital construction object: Order of the Ministry of Housing and Communal Services of the Russian Federation on April 15, 2016. No. 248*. URL: <http://docs.cntd.ru/document/420353763> (Accessed: November 25, 2020) (rus).
10. Pankov S.M. Independent assessment of fire risk as one of the new forms of assessing the compliance of objects of protection with fire safety requirements. *Actual problems of fire safety : materials of the XXVII International Scientific and Practical Conference dedicated to the 25th anniversary of the EMERCOM of Russia in 3 parts*. Moscow, VNIPO, 2015; 3:96-102. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23683970> (rus).
11. Bakirov I.K. *Ufa : Monograph*. Ufa, USPTU Publ., 2014; 107. (rus).

12. *Methodology for fire risk determining in buildings and structures of different fire danger*: Order of Emercom of Russian Federation on June 30, 2009. No. 382 (ed. on December 2, 2015). URL: <http://base.garant.ru/12169057> (Accessed: November 25, 2020).
13. *Methodology for fire risk determining in production facilities: Order of Emercom of Russian Federation on July 10, 2009. No. 404*. URL: <https://base.garant.ru/196118/> (Accessed: November 25, 2020). (rus).
14. *On approval of the Regulations on fire and rescue garrisons*. Order of Emercom of Russian Federation on October 25, 2017. No. 467 : as amended on February 28, 2020. URL: <http://docs.cntd.ru/document/542610976> (Accessed November 25, 2020). (rus).
15. EASC 12.1.004-91 *Fire safety. General requirements*. URL: <http://docs.cntd.ru/document/9051953> (Accessed November 25, 2020). (rus).
16. *On approval of the forms of checklists used by officials of the federal state fire supervision of the Emercom of Russia during scheduled inspections to monitor compliance with fire safety requirements : Order of Emercom of Russian Federation on June 28, 2018. No. 261*. URL: <https://base.garant.ru/72095498/> (Accessed: November 25, 2020). (rus).
17. Bakirov I.K. What needs to be changed to effectively inspect facilities in the field of fire safety. *Fire safety in construction*. 2011; 4:42-46. (rus).
18. *Set of rules 4.13130.2013. Systems of fire protection. Limiting the spread of fire at protected objects. Requirements for space-planning and structural solutions*. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200101593> (Accessed: November 25, 2020). (rus).
19. *Set of rules 155.13130.2014. Warehouses for oil and oil products*. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200108948> (Accessed: November 25, 2020). (rus).
20. *Technical regulations on the safety of buildings and structures : Federal Law of the Russian Federation on December 30, 2009. No. 384-FZ*. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902192610> (Accessed: November 25, 2020). (rus).

Поступила 30.11.2020, после доработки 22.12.2020;

принята к публикации 12.01.2021

Received November 30, 2020;

Received in revised form December 22, 2020;

Accepted January 12, 2021

Информация об авторах

БАКИРОВ Ирек Климович, канд. техн. наук, доцент кафедры пожарной и промышленной безопасности, Уфимский государственный нефтяной технический университет, Российская Федерация, Республика Башкортостан, г. Уфа; РИНЦ ID: 716498; ORCID: 0000-0002-8149-7201; e-mail: bakirovirek@bk.ru

ВАЛИУЛЛИНА Регина Азаматовна, студентка кафедры пожарной и промышленной безопасности, Уфимский государственный нефтяной технический университет, Российская Федерация, Республика Башкортостан, г. Уфа; ORCID: 0000-0002-1694-8176; e-mail: valiregaz03@gmail.com

Information about the authors

Irek K. BAKIROV, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Department of "Fire and Industrial Safety", Ufa State Petroleum Technological University, Russian Federation, Republic of Bashkortostan, Ufa; ID RISC: 716498; ORCID: 0000-0002-8149-7201; e-mail: bakirovirek@bk.ru

Regina A. VALIULLINA, Student, Department of "Fire and Industrial Safety", Ufa State Petroleum Technological University, Russian Federation, Republic of Bashkortostan, Ufa; ORCID: 0000-0002-1694-8176; e-mail: valiregaz03@gmail.com

Нагрев потока частиц встречным тепловым излучением

© Н.Л. Полетаев ✉

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Глубину прогрева S_R газовзвеси излучением продуктов горения принято приравнивать к длине L_R свободного пробега излучения в газовзвеси. Численное моделирование горения газовой смеси с добавлением инертных частиц, учитывающее переизлучение тепла нагретыми частицами свежей взвеси, привело к соотношению $S_R \gg L_R$. В настоящей работе выполнена аналитическая оценка отношения $\chi_S = S_R/L_R$.

Одномерная модель задачи. Определяли стационарное распределение температуры в потоке первоначально холодных монодисперсных частиц, взвешенных в вакууме. Скорость частиц V направлена на излучающую тепло нагретую абсолютно черную поверхность, проницаемую для частиц. Используются упрощающие допущения: излучение состоит из двух противоположно направленных потоков электромагнитной энергии; взаимодействие частиц и излучение описываются в приближении геометрической оптики; температура внутри частицы одинакова.

Решение задачи. Показано, что χ_S определяется безразмерным комплексом $v = Vc_p / (\epsilon_T^{0.5} \sigma T_b^3)$, где c_p , ϵ_T , σ , T_b — соответственно теплоемкость единицы объема взвеси, интегральная степень черноты материала частиц, постоянная Стефана – Больцмана, температура излучающей поверхности. При $v \geq 2,8$ переизлучением можно пренебречь: $\chi_S \approx 1$. При $v \leq 1,2$ распределение температуры регулирует переизлучение: $\chi_S \approx 5v^{-1} / (2 - \epsilon_T) \gg 1$.

Обсуждение решения. Аналитическое решение задачи удовлетворительно описывает имеющиеся численные решения и экспериментальные данные для случая горения газовзвеси после уточнения параметров упрощенной модели: под излучающей поверхностью следует понимать фронт пламени, T_b — температура горения, c_p — суммарная теплоемкость фаз. Оценка $v \leq 1,2$ указывает на высокую конечную температуру газовзвеси, возможность ее самовоспламенения вдали от пламени и необходимость изменения исходных предположений при моделировании переизлучения.

Выводы. Аналитические оценки дают возможность для реализации во взвеси, набегающей на источник теплового излучения в вакууме, как соотношения $S_R \gg L_R$, так и соотношения $S_R \approx L_R$. Сформулированы условия распространения результатов упрощенного моделирования переизлучения на горение газовзвеси.

Ключевые слова: взвесь пыли; радиация пламени; теплообмен излучением; глубина прогрева излучением; моделирование

Для цитирования: Полетаев Н.Л. Нагрев потока частиц встречным тепловым излучением // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2021. Т. 30. № 2. С. 15–22. DOI: 10.22227/PVB.2021.30.02.15-22

✉ Полетаев Николай Львович, e-mail: nlpvniipo@mail.ru

The heating of a stream of particles by thermal counter radiation

© Nikolay L. Poletaev ✉

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. It is accepted that the depth of heating of the dust/gas/air mixture by the radiation of combustion products S_R is equal to the length L_R of the free path of radiation in the mixture. Numerical simulation of combustion of a gas-air mixture that has inert particles, taking into account the re-radiation of heat by heated particles of the fresh mixture, led to ratio $S_R \gg L_R$. In this work, the analytical assessment of ratio $\chi_S = S_R/L_R$ is performed.

One-dimensional problem model. The co-authors determined stationary temperature distribution over the flow of initially cold monodisperse particles suspended in vacuum. Particle velocity V is directed toward a heat-radiating, absolutely black surface that is permeable by particles. Simplifying assumptions are used: radiation consists of two oppositely-directed flows of electromagnetic energy; interaction between particles and radiation is described in the approximation of geometric optics; the temperature inside the particle is the same.

Problem solving. It is shown that χ_s is determined by $v = Vc_p / (\varepsilon_T^{0.5} \sigma T_b)^3$, where c_p , ε_T , σ , T_b are, respectively, heat capacity per unit volume of the suspended matter, integral emissivity of the particle material, the Stefan-Boltzmann constant, and the surface temperature. For $v \leq 2.8$, re-emission can be neglected: $\chi_s \approx 1$. At $v \leq 1.2$, temperature distribution regulates re-emission: $\chi_s \approx 5v^{-1}/(2 - \varepsilon_T) \gg 1$.

Solution discussion. The analytical solution satisfactorily describes the available numerical solutions and experimental data for the case of combustion of a dust/gas/air mixture after specifying the parameters of a simplified model: the radiating surface should be understood as the flame front, T_b is the combustion temperature, and c_p is the overall heat capacity of the mixture. The estimate $v \leq 1.2$ indicates the final high temperature of the gas suspension, the possibility of its autoignition far from the flame, and the need to change initial assumptions when simulating re-emission.

Conclusions. Analytical evaluations make it possible to employ ratios $S_R \gg L_R$ and $S_R \approx L_R$ for the suspension over a thermal radiation source in vacuum. Conditions for the application of the results of simplified simulation of re-emission to the combustion of a dust/gas/air mixture are formulated.

Keywords: dust suspension; flame radiation; reemit radiation; radiation heating depth; modeling

For citation: Poletaev N.L. The heating of a stream of particles by thermal counter radiation. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2021; 30(2):15-22. DOI: 10.22227/PVB.2021.30.02.15-22 (rus).

✉ Poletaev Nikolay Lvovich, e-mail: nlpvniipo@mail.ru

Введение

Распространение пламени по газозвеси представляет сложный процесс, для некоторых особенностей которого отсутствует даже качественное объяснение [1, 2]. В частности, не получило убедительного объяснения линейное снижение минимального взрывоопасного содержания кислорода с ростом (в логарифмическом масштабе) энергии источника зажигания [3, 4]. Представляется удивительной неопределенность классификации некоторых аэрозвесей по взрывоопасности, в частности, аэрозвеси меламина, которая в некоторых странах Европы считается взрывоопасной, а в других европейских странах и в США — взрывобезопасной¹ [5, 6]. Отсутствует объяснение разделению пылей на два вида соответственно по наличию и по отсутствию зависимости индекса взрывоопасности K_{st} от энергии источника зажигания в испытательной бомбе [7]. Поскольку перечисленные особенности не характерны для газозвездных смесей [8], методы исследования горения которых в значительной степени заимствованы специалистами по горению аэрозвесей [9], причину появления особенностей следует искать в отличиях горения газо- и пылевоздушных смесей [10].

Существует предположение о необходимости уточнения роли теплопередачи излучением для понимания некоторых из упомянутых особенностей горения газозвесей [11], поскольку влияние радиации продуктов горения на воспроизведение пламени [12] давно относится к фундаментальному отличию горючих пыле- и газозвездных смесей [13]. Ввиду сложности проблемы всеобъемлющего описания влияния излучения на горение газозвесей [14], в настоящей работе рассмотрим лишь один из ее аспектов, а именно — оценку глубины S_R ,

на которую прогревается свежая газозвесь тепловым излучением нагретых продуктов ее горения.

В научных работах обычно полагают, что S_R сопоставима с длиной L_R свободного пробега излучения в газозвеси (см., например, [15–17]):

$$S_R \approx L_R. \quad (1)$$

В [18] на основе численного моделирования распространения ламинарного пламени по горючей газозвездной смеси, в которой взвешены мелкие негорючие частицы тугоплавкого материала, экранирующие тепловое излучение продуктов гомогенного горения, получено иное соотношение:

$$S_R \gg L_R, \quad (2)$$

которое авторы [18] объясняют учетом переизлучения тепловой энергии в газозвеси (далее, для краткости, — переизлучения).

Ввиду известных преимуществ аналитических оценок, позволяющих ускорить понимание физической природы исследуемого явления [19], представляется целесообразным определить условия правомерности использования правил (1) и (2) на основе соответствующей этой цели простой модели радиационного теплопереноса в газозвеси. Такая задача поставлена перед настоящей работой.

Постановка задачи

Взвесь неподвижных друг относительно друга и равномерно распределенных в вакууме монодисперсных частиц из тугоплавкого материала с интегральной степенью черноты ε_T , имеющая первоначальную температуру T_0 , занимает все полупространство $x \leq 0$. Взвесь движется с постоянной скоростью V вдоль оси x в полупространство $x > 0$. Плоскость $x = 0$ представляет собой излучающую

¹ Свойства вещества: 1,3,5-триазин-2,4,6-триамин. URL: <http://chemister.ru/Database/properties.php?dbid=1&id=1475>

тепло однородно нагретую абсолютно черную поверхность, проникаемую для частиц и имеющую постоянную температуру $T_b \gg T_0$. Поскольку частицы идентичны, температуры частиц, расположенных на одинаковом расстоянии от излучающей плоскости, равны. Требуется определить стационарное распределение температуры взвеси в области $x \leq 0$.

Прототипом формулируемой задачи является упомянутый выше пример из работы [18]: плоскость $x = 0$ отвечает положению гомогенного фронта пламени, T_0 и T_b — начальной температуре газ-взвеси и эффективной температуре продуктов горения соответственно, V — скорости распространения пламени. Для концентрации усилий на исследовании особенностей радиационного теплообмена постановка задачи исключает газовую фазу и все связанные с ее присутствием в прототипе эффекты переноса тепла и импульса.

Предполагается также, что электромагнитное поле в области $x < 0$ состоит из двух противоположно направленных одномерных потоков электромагнитной энергии, параллельных оси x . Описание взаимодействия излучения и частиц, имеющих форму куба с ребрами, ориентированными параллельно координатным осям, использует приближение геометрической оптики. Оптически тонкий слой взвеси с температурой T эквивалентен поверхности с площадью, равной суммарной площади проекций частиц слоя на плоскость $x = 0$ в части следующих процессов. Поверхность излучает тепловую энергию с интенсивностью $\varepsilon_T \sigma T^4$ (в каждом из двух направлений, параллельных оси x) и трансформирует направленный на нее поток электромагнитной энергии, поглощая и отражая в пропорции ε_T : $(1 - \varepsilon_T)$ соответственно. Описание распределения частиц использует непрерывное гидродинамическое приближение. Температура внутри частицы одинакова.

Здесь и в дальнейшем используются следующие обозначения величин: x — декартова координата, м; V — скорость потока частиц, м·с⁻¹; T , T_0 — температура частиц и ее начальное значение, К; T_b — температура греющего взвесь тела, К; n — количество частиц в единице объема взвеси, м⁻³; c_p — теплоемкость единицы объема взвеси, Дж·К⁻¹·м⁻³; s — площадь проекции частицы на плоскость $x = 0$, м²; $L_R = (ns)^{-1}$ — длина свободного пробега излучения во взвеси, м; q_1 , q_2 — плотность потока электромагнитной энергии в направлении, соответственно противоположном оси x , и в направлении оси x , Вт·м⁻²; $s = 5,6 \cdot 10^{-8}$ Вт·м⁻²·К⁻⁴ — постоянная Стефана — Больцмана; S_R — характерный масштаб изменения температуры в слое взвеси, прилегающем к плоскости $x = 0$, м; штрих (') при величине означает производную величины по координате. Обозна-

чения безразмерных параметров: $v = c_p V / (s T_b^3)$; $\Theta = v^{-1/3} (T/T_b)$, $\Theta_0 = v^{-1/3} (T_0/T_b)$; $\Theta_b = v^{-1/3}$; $\chi = x/L_R$; $\chi_S = S_R/L_R$; χ^* — размер области выполнения условия (19).

Описание математической модели

Запись уравнений задачи использует закон сохранения энергии:

$$q'_1 = \varepsilon_T n s q_1 + (1 - \varepsilon_T) n s q_1 - \varepsilon_T n s \sigma T^4 - (1 - \varepsilon_T) n s q_2; \quad (3)$$

$$q'_2 = -\varepsilon_T n s q_2 - (1 - \varepsilon_T) n s q_2 + \varepsilon_T n s \sigma T^4 + (1 - \varepsilon_T) n s q_1; \quad (4)$$

$$V c_p T' = q'_1 - q'_2. \quad (5)$$

Первые два уравнения описывают баланс энергии в потоках электромагнитной энергии, третье уравнение — баланс энергии частиц, взаимодействующих с упомянутыми потоками. Первое, второе, третье и четвертое слагаемые правой части (3) и (4) отвечают соответственно за поглощение и отражение частицами падающего на них потока электромагнитной энергии выбранного направления, добавление к этому потоку теплового излучения частиц и отражение падающего на частицы потока энергии противоположного направления.

Граничные условия системы уравнений (3)–(5) имеют вид:

$$T(-\infty) = T_0; \quad (6)$$

$$q_1(0) = s T_b^4. \quad (7)$$

Интегрирование (5) с учетом (6) дает

$$V c_p (T - T_0) = q_1 - q_2. \quad (8)$$

Из (3), (4) и (8) несложно получить уравнение для температуры взвеси в виде

$$L_R^2 T'' + \left[8 \varepsilon_T \sigma T^3 / (V c_p) \right] L_R T' - \varepsilon_T (2 - \varepsilon_T) (T - T_0) = 0. \quad (9)$$

Используя (3)–(5) и (8) для определения соотношений между значениями переменных задачи при $x = 0$, приведем (7) к виду

$$\sigma T^4(0) + 0,5 c_p V [L_R T'(0) / \varepsilon_T + T(0) - T_0] = \sigma T_b^4. \quad (10)$$

Поставленная в работе задача сводится к решению уравнения (9) с граничными условиями (6) и (10).

Решение задачи

Общее решение нелинейного дифференциального уравнения (9) представляется автору недо-

ступным. В связи с этим ниже будут рассмотрены два частных случая задачи, позволяющие определить условие правомерности использования (1) и (2) в аналитической форме. Для пояснения выбора этих случаев отметим следующие обстоятельства, связанные со слагаемыми левой части (9).

Влияние переизлучения на распределение температуры взвеси определяется вторым слагаемым, поскольку данное слагаемое исчезает при $s = 0$. На результат сравнения первого и второго слагаемых (с целью пренебрежения в уравнении наименьшей величиной) влияет скорость взвеси V в знаменателе второго слагаемого. В случае высокой скорости вторым слагаемым (переизлучением) можно пренебречь. В случае низкой скорости, когда распределение температуры во взвеси регулируется переизлучением, можно пренебречь первым слагаемым.

Переводя в (9), (6) и (10) к безразмерным параметрам, получим соответственно

$$\Theta'' + 8\varepsilon_T \Theta^3 \Theta' - (2\varepsilon_T - \varepsilon_T^2)(\Theta - \Theta_0) = 0; \quad (11)$$

$$\Theta(-\infty) = \Theta_0; \quad (12)$$

$$\Theta^4(0) + 0,5[\Theta'(0)/\varepsilon_T + \Theta(0) - \Theta_0] = \Theta_b^4. \quad (13)$$

Рассмотрим случай большой скорости взвеси, при котором

$$|\Theta''| \gg |8\varepsilon_T \Theta^3 \Theta'|. \quad (14)$$

Уравнение (11) примет вид

$$\Theta'' - (2\varepsilon_T - \varepsilon_T^2)(\Theta - \Theta_0) \approx 0.$$

С учетом (12) решение полученного уравнения в полупространстве $\chi < 0$ имеет вид

$$(\Theta - \Theta_0) \approx [\Theta(0) - \Theta_0] \exp \left[(2\varepsilon_T - \varepsilon_T^2)^{0,5} \chi \right], \quad (15)$$

из которого следует

$$\chi_S \approx (2\varepsilon_T - \varepsilon_T^2)^{-0,5}. \quad (16)$$

Согласно (16) при значении ε_T порядка 0,4 и более реализуется правило (1): $\chi_S \approx 1$. Из (13) с учетом оценки $\Theta^4(0) \ll \Theta(0)$ и $\Theta_0 \ll \Theta_b^4$ получим

$$\Theta(0) \approx \Theta_0 + 2(\Theta_b/v) / \left[1 + (2/\varepsilon_T - 1)^{0,5} \right]. \quad (17)$$

Подстановка (15) в (14) с учетом (17) приводит к условию

$$v \geq 2,8\varepsilon_T^{0,5}, \quad (18)$$

которое обеспечивает выполнение неравенства (14) с не менее чем 5-кратным запасом.

Таким образом, правило (1) реализуется при достаточно высоких значениях скорости взвеси (18) и интегральной степени черноты материала частиц $\varepsilon_T \geq 0,4$.

Рассмотрим случай малой скорости взвеси, когда

$$|\Theta''| \ll |8\varepsilon_T \Theta^3 \Theta'|. \quad (19)$$

Будем полагать скорость взвеси достаточно малой, чтобы частицы, пересекающие плоскость $\chi = 0$, успевали нагреться до температуры, близкой к Θ_b . Верхнюю границу такого диапазона скоростей взвеси оценим, используя (17), где примем $\Theta(0) \approx \Theta_b$. Получим

$$v \leq 2 / \left[1 + (2/\varepsilon_T - 1)^{0,5} \right]. \quad (20)$$

С учетом (19) и (20), уравнение (11) примет вид

$$8\Theta^3 \Theta - (2 - \varepsilon_T) \cdot (\Theta - \Theta_0) \approx 0 \quad (21)$$

с граничным условием $\Theta(0) \approx \Theta_b$. Как покажут дальнейшие расчеты, выполнить условие (19) возможно только в ограниченном слое взвеси, прилегающем к плоскости $\chi = 0$. Толщину этого слоя взвеси обозначим символом χ^* и построим решение (21) для него.

Температуру в рассматриваемом слое взвеси оценим первыми членами разложения в ряд Тейлора:

$$\Theta \approx \Theta_b + \Theta'(0)\chi + 0,5\Theta''(0)\chi^2, \quad \chi^* \leq \chi < 0. \quad (22)$$

Коэффициенты разложения несложно получить из интеграла уравнения (21):

$$\begin{aligned} & \Theta^3 - \Theta_b^3 \Big/ 3 + \Theta_0 \left(\Theta^2 - \Theta_b^2 \right) \Big/ 2 + \Theta_0^2 (\Theta - \Theta_b) \cdot \\ & + \Theta_0^3 \ln [(\Theta - \Theta_0) / (\Theta_b - \Theta_0)] \approx \chi (2 - \varepsilon_T) / 8. \end{aligned}$$

После несложных преобразований имеем

$$\Theta'(0) \approx (2 - \varepsilon_T)(\Theta_b - \Theta_0) / (2\Theta_b)^3;$$

$$\Theta''(0) \approx -(2 - \varepsilon_T)^2 (2 - 3\Theta_0/\Theta_b)(\Theta_b - \Theta_0) / (2\Theta_b)^6.$$

Характерный масштаб зоны прогрева взвеси χ_S определяется условием $\Theta(-\chi_S) \approx \Theta_0$, из которого с учетом $\Theta_0 \ll \Theta_b$ следует

$$\chi_S \approx \frac{\left[\frac{8}{(2-\varepsilon_T)} \right] \Theta_b^3 \left[(5-6 \Theta_0/\Theta_b)^{0.5} - 1 \right]}{(2-3\Theta_0/\Theta_b) \approx 5v^{-1}/(2-\varepsilon_T)}. \quad (23)$$

Подстановка (22) в (19) позволяет определить толщину χ^* рассматриваемого слоя взвеси, для которого неравенство (19) выполняется с 5-кратным запасом

$$\chi^* \approx \frac{8}{(2-\varepsilon_T)} \left(1 - \frac{5(2-\varepsilon_T)^2}{32\varepsilon_T} \right).$$

Сопоставимость χ_S и χ^* подтверждает правомерность оценки (23).

Согласно (20) и (23) $\chi_S \gg 1$, т.е. для рассмотренного случая малой скорости взвеси справедливо правило (2).

На рисунке приводится качественное представление о характерных особенностях зависимости температуры взвеси, движущейся (слева направо) к излучающей поверхности ($x = 0$), от координаты x для рассмотренных выше режимов движения взвеси.

Обсуждение решения

В рамках задачи (11)–(13) глубина прогрева взвеси χ_S может быть функцией только трех параметров Θ_0 , Θ_b (или $v = \Theta_b^3$) и ε_T . Поскольку $\Theta_b \gg \Theta_0$, влиянием Θ_0 на χ_S согласно результатам предыдущего раздела работы оказалось возможным пренебречь.

Зависимость χ_S от v и ε_T имеет вид:

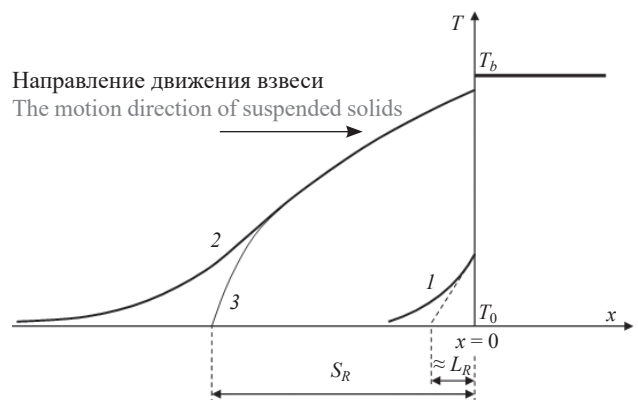
$$\chi_S \approx \begin{cases} 1, & \text{если } v \geq 2,8\varepsilon_T^{0.5}; \\ \frac{5v^{-1}}{2-\varepsilon_T}, & \text{если } v \leq \frac{2}{\left[1 + \left(\frac{2-\varepsilon_T}{\varepsilon_T} \right)^{0.5} \right]} \approx 1,2\varepsilon_T^{0.5}, \end{cases} \quad (24)$$

где верхняя и нижняя строчки относятся соответственно к быстрому и медленному режиму движения взвеси.

В промежуточном режиме движения взвеси c_S монотонно растет по мере снижения n от нижней границы быстрого режима движения взвеси к верхней границе медленного режима движения взвеси. Относительная точность степенной аппроксимации в нижней строчке (24) не хуже 20 % в диапазоне $0,01 \leq \varepsilon_T \leq 1$.

Оценим χ_S для случая распространения ламинарного плоского пламени по горючей газозвздушной смеси, в которой распылены тугоплавкие инертные частицы, с исходными данными [18]: $T_0 = 300$ К; $T_b \approx 3000$ К $\gg T_0$; $V \approx 0,5$ м·с⁻¹; $\varepsilon_T = 1$; $\rho_s = 0,09$ кг/м³; $c_p \approx 1500$ Дж·м⁻³·К⁻¹; $d_s = 1,5$ мкм; $L_R = 22$ мм. При отсутствии газовой фазы (которой не было в рамках упрощенного моделирования переизлучения) здесь и далее будем учитывать путем изменения теплоемкости единицы объема взвеси, а именно, будем полагать значение c_p равным сумме теплоемкостей дисперсной и газовой фаз, поскольку, как показывают оценки, характерный масштаб отставания температуры газовой фазы от температуры частиц намного меньше L_R . Для приведенных выше данных получим $v = 0,5$ (низкоскоростной режим движения пламени) и согласно (24) $\chi_S \approx 10 \gg 1$, что соответствует правилу (2). Выполненная аналитическая оценка подтверждает вывод [18], полученный методом численного моделирования.

Дополнительно отметим, что расчетная оценка, отвечающая низкоскоростному режиму движения пламени, свидетельствует о высокой конечной температуре свежей смеси (см. рисунок). Это обстоятельство делает возможным самовоспламенение реальной горючей газозвеси на некотором расстоянии от источника теплового излучения, что не предусмотрено в упомянутой модели. Таким образом, упомянутая оценка указывает на необходимость расширения перечня физико-химических процессов, которые с необходимостью следует учесть при моделировании горения газодисперсной системы.



Зависимость температуры взвеси T от координаты x : 1 — случай высокой скорости взвеси ($S_R \approx L_R$); 2 — случай малой скорости взвеси ($S_R \gg L_R$); 3 — аппроксимация кривой 2 функцией (22)

Dependence of particle temperature T on coordinate x : 1 — the case of high velocity of suspended solids ($S_R \approx L_R$); 2 — the case of low velocity of suspended solids ($S_R \gg L_R$); 3 — approximation of curve 2 using function (22)

Оценим χ_S для случая экспериментального исследования распространения слаботурбулизированного пламени по смеси метана (5,1 % об.) с воздухом, в которой распылены частицы диоксида кремния, с исходными данными [20]: $T_0 = 300$ К; $T_b \approx 1500$ К $\gg T_0$; $V \approx 0,5$ м·с⁻¹; $\varepsilon_T = 1$; $\rho_s \approx 0,1$ кг/м³; $c_p \approx 1500$ Дж·м⁻³·К⁻¹; $d_s = 30$ мкм; $L_R = 300$ мм. Полагая масштаб турбулентности намного меньшим L_R (чтобы сохранить предположения упрощенной модели переизлучения) для приведенных выше данных, получим $\nu \approx 4$, т.е. высокоскоростной режим движения пламени. Согласно (24) в этом случае $\chi_S \approx 1$, что соответствует правилу (1). При этом наблюдается умеренный прирост температуры газовзвеси (см. рисунок). Однако модельная оценка наибольшего прироста температуры частиц (около 300 К) на порядок превышает результаты измерения (около 30 К и менее). Последнее можно объяснить выходом излучения за пределы взвеси из-за намного меньшего по сравнению с L_R поперечного размера вертикального канала (1200 × 50 × 50 мм), в котором наблюдали распространение пламени в [20] и завышенной оценкой ε_T для кварца.

Таким образом, при горении запыленных инертными частицами горючих газозвоздушных смесей может выполняться как правило (1), так и правило (2) в зависимости от скорости пламени и температуры горения.

Выводы

В рамках одномерного моделирования рассмотрена задача о стационарном распределении тем-

пературы в потоке взвешенных в вакууме первоначально холодных монодисперсных инертных частиц, движущихся к равномерно нагретой абсолютно черной поверхности, проникаемой для частиц. В модели использовали ряд упрощающих решение задачи допущений: геометрический подход к описанию взаимодействия частиц и теплового излучения; непрерывное описание распределения частиц в пространстве, отсутствие градиента температуры внутри частицы. Получены аналитические решения задачи для случая больших и малых скоростей движения взвеси.

Для малых скоростей движения взвеси $V < 1,2V^*$ глубина S_R проникновения тепла от излучения продуктов горения в свежую газозвесь намного превышает длину свободного пробега излучения L_R в газозвеси: $S_R \gg L_R$. Для больших скоростей движения взвеси $V > 2,8V^*$ справедливо соотношение $S_R \approx L_R$. Здесь $V^* = \varepsilon_T^{0,5} \sigma T_b^3 / c_p$; ε_T — интегральная степень черноты материала частиц; σ — постоянная Стефана — Больцмана; T_b — температура греющей взвесь поверхности; c_p — теплоемкость единицы объема взвеси.

При распространении результатов моделирования на горящие газозвеси следует под величиной c_p понимать теплоемкость единицы объема газозвеси. При расчетном выявлении низкоскоростного режима движения пламени следует корректировать метод моделирования с учетом возможности самовоспламенения газозвеси.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bartsch W. Explosionen, Ablauf und Schutzmaßnahmen. Berlin, Springer-Verlag, 1980. 266 p.
2. Skjold T., Eckhoff R. Dust explosions in the process industries: Research in the twenty-first century // Chemical Engineering Transactions. 2016. Vol. 48. Pp. 337–342. DOI: 10.3303/CET1648057
3. Полетаев Н.Л. О критерии взрывоопасности аэрозвеси // Пожарная безопасность. 2018. № 3. С. 49–60.
4. Schwenzfeuer K., Glor M., Gitzi A. Relation between ignition energy and limiting oxygen concentration for powders // Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries. Amsterdam : Elsevier, 2001. Pp. 909–916. DOI: 10.1016/B978-044450699-3/50011-2
5. Полетаев Н.Л. О взрывоопасности аэрозвеси меламина // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. 2017. Т. 26. № 9. С. 15–28. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.09.15-28 URL: <https://www.fire-smi.ru/jour/article/view/82>
6. Haynes W.M. CRC Handbook of chemistry and physics. 95ed. CRC Press, 2014. Pp. 3–516.
7. Cesana C., Siwek R. Handbuch der 20-l-Apparatur 7.1. TÜV SÜD Schweiz AG, Bettingen, 2016. 56 p.
8. Williams F. Combustion theory. Second Edition. Westview Press, 1985. 704 p.
9. Eckhoff R.K. Dust explosions in the process industries. 3rd ed. Boston : Gulf Professional Publishing/Elsevier, 2003. 720 p.
10. Eckhoff R.K. Differences and similarities of gas and dust explosions: A critical evaluation of the European 'ATEX' directives in relation to dusts // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2006. Vol. 19. Issue 6. Pp. 553–560. DOI: 10.1016/j.jlp.2006.01.001

11. Proust C., Ben Moussa R., Guessasma M., Saleh K., Fortin J. Thermal radiation in dust flame propagation // *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2017. Vol. 49. Pp. 896–904. DOI: 10.1016/j.jlp.2017.01.002
12. Leuschke G. Beiträge zur Erforschung des Mechanismus der Flammenausbreitung in Staubwolken // *Staub*. 1965. Vol. 25. Pp. 180–186.
13. Cassel H.M. Some Fundamental Aspects of Dust Flames. Reports of Investigations 6551. Washington, DC : U.S. Bureau of Mines. 1964.
14. Proust C., Moussa R. Understanding the role of thermal radiation in dust flame propagation // 13th International Symposium on Hazards, Prevention and Mitigation of Industrial Explosions, Proceedings. Braunschweig, Germany, 2020. Pp. 270–283. DOI: 10.7795/810.20200724
15. Руманов Э.Н., Хайкин Б.И. Режимы распространения пламени по взвеси частиц в газе // *Горение и взрыв*. М. : Наука, 1972. С. 161–165.
16. Sidorov A.E., Shevchuk V.G. Laminar flame in fine-particle dusts // *Combustion, Explosion, and Shock Waves*. 2011. No. 5. Pp. 518–522. DOI: 10.1134/S0010508211050042
17. Julien P., Vickery J., Whiteley S., Wright A., Goroshin S., Bergthorson J.M., Frost D.L. Effect of scale on freely propagating flames in aluminum dust clouds // *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2015. Vol. 36. Pp. 230–236. DOI: 10.1016/j.jlp.2014.12.022
18. Ivanov M.F., Kiverin A.D., Liberman M.A. Ignition of deflagration and detonation ahead of the flame due to radiative preheating of suspended micro particles // *Combustion and Flame*. 2015. Vol. 162. No. 10. Pp. 3612–3621. DOI: 10.1016/j.combustflame.2015.06.018
19. Zeldovich Ia.B., Barenblatt G.I., Librovich V.B., Makhviladze G.M. Mathematical theory of combustion and explosions. New York, NY : Consultants Bureau, 1985.
20. Coral P., Klemens R., Wolanski P. Mechanism of gas flame acceleration in the presence of neutral particles // *Dynamics of Reactive Systems Part I: Flames; Part II: Heterogeneous Combustion and Applications*. 1988. Vol. 113. Pp. 325–335. DOI: 10.2514/5.9781600865879.0325.0335

REFERENCES

1. Bartknecht W. *Explosionen: Ablauf und Schutzmaßnahmen*. Berlin, Springer-Verlag, 1980; 259. (ger).
2. Skjold T., Eckhoff R. Dust explosions in the process industries: Research in the twenty-first century. *Chemical Engineering Transactions*. 2016; 48:337–342. DOI: 10.3303/CET1648057
3. Poletaev N.L. About criterion of dust explosibility. *Pozharnaya bezopasnost' / Fire Safety*. 2018; 3:49–60. (rus).
4. Schwenzfeuer K., Glor M., Gitzi A. Relation between ignition energy and limiting oxygen concentration for powders. *Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries*. Amsterdam, Elsevier, 2001; 909–916. DOI: 10.1016/B978-044450699-3/50011-2
5. Poletaev N. L. On explosibility of melamine dust/air mixture. *Pozharovzryvbezopasnost' / Fire and Explosion Safety*. 2017; 26(9):15–28. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.09.15–28 URL: <https://www.fire-smi.ru/jour/article/view/82> (rus).
6. Haynes W.M. *CRC Handbook of chemistry and physics*. 95ed. CRC Press, 2014; 3–516.
7. Cesana C., Siwek R. *Handbuch der 20-l-Apparatur 7.1*. TÜV SÜD Schweiz AG, Bettingen, 2016; 56. (ger).
8. Williams F. *Combustion theory*. Second Edition. Westview Press, 1985; 704.
9. Eckhoff R.K. *Dust explosions in the process industries*. 3rd ed. Boston, Gulf Professional Publishing/Elsevier, 2003; 720.
10. Eckhoff R.K. Differences and similarities of gas and dust explosions: A critical evaluation of the European 'ATEX' directives in relation to dusts. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2006; 19(6):553–560. DOI: 10.1016/j.jlp.2006.01.001
11. Proust C., Ben Moussa R., Guessasma M., Saleh K., Fortin J. Thermal radiation in dust flame propagation. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2017. Vol. 49. Pp. 896–904. DOI: 10.1016/j.jlp.2017.01.002
12. Leuschke G. Beiträge zur Erforschung des Mechanismus der Flammenausbreitung in Staubwolken. *Staub*. 1965; 25:180–186. (ger).
13. Cassel H.M. *Some fundamental aspects of dust flames*. Reports of Investigations 6551. Washington, DC : U.S. Bureau of Mines. 1964.

14. Proust C., Moussa R. Understanding the role of thermal radiation in dust flame propagation. *13th International Symposium on Hazards, Prevention and Mitigation of Industrial Explosions, Proceedings*. Braunschweig, Germany, 2020; 270-283. DOI: 10.7795/810.20200724
15. Rumanov E.N., Khaikin B.I. *Regimes of flame propagation along a suspension of particles in a gas. Combustion and Explosion*. Moscow, Nauka Publ., 1972; 161-165. (rus).
16. Sidorov A.E., Shevchuk V.G. Laminar flame in fine-particle dusts. *Combustion, Explosion, and Shock Waves*. 2011; 5:518-522. DOI: 10.1134/S0010508211050042
17. Julien P., Vickery J., Whiteley S., Wright A., Goroshin S., Bergthorson J.M., Frost D.L. Effect of scale on freely propagating flames in aluminum dust clouds. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2015; 36: 230-236. DOI: 10.1016/j.jlp.2014.12.022
18. Ivanov M.F., Kiverin A.D., Liberman M.A. Ignition of deflagration and detonation ahead of the flame due to radiative preheating of suspended micro particles. *Combustion and Flame*. 2015; 162(10):3612-3621. DOI: 10.1016/j.combustflame.2015.06.018
19. Zeldovich Ia.B., Barenblatt G.I., Librovich V.B., Makhviladze G.M. *Mathematical theory of combustion and explosions*. New York, NY, Consultants Bureau, 1985.
20. Coral P., Klemens R., Wolanski P. Mechanism of gas flame acceleration in the presence of neutral particles. *Dynamics of Reactive Systems. Part I: Flames; Part II: Heterogeneous Combustion and Applications*. 1988; 113:325-335. DOI: 10.2514/5.9781600865879.0325.0335

Поступила 07.12.2020, после доработки 29.01.2021;

принята к публикации 05.02.2021

Received December 7, 2020; Received in revised form January 29, 2021;

Accepted February 5, 2021

Информация об авторе

ПОЛЕТАЕВ Николай Львович, д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник, 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: 1093620; ORCID: 0000-0003-2586-8597; e-mail: nlpvniipo@mail.ru

Information about the author

Nikolay L. POLETAEV, Dr. Sci. (Eng.), Leading Researcher, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, Balashikha, Moscow Region, Russian Federation; ID RISC:1093620; ORCID: 0000-0003-2586-8597; e-mail: nlpvniipo@mail.ru

К вопросу о свойствах пожарной опасности огнезащищенной древесины

© О.Н. Корольченко¹ ✉, С.Г. Цариченко¹, Н.И. Константинова²

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

² 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. В настоящее время во всем мире достаточно интенсивно развивается промышленное домостроение с применением конструкций из древесины, однако одним из факторов, сдерживающих широкое использование древесины в строительстве, остается ее высокая пожарная опасность. Целью настоящей работы является оптимизация условий применения огнезащищенной древесины в строительстве. Для этого, по мнению авторов, необходимо решить следующие задачи:

- провести сравнительный анализ огнезащитной эффективности ряда огнезащитных средств при нанесении их на различные породы древесины;
- определить влияние средств огнезащиты древесины на комплекс ее пожарно-технических характеристик.

Методы исследования. Огнезащитная эффективность образцов составов для древесины определялась согласно контрольному методу испытаний по ГОСТ Р 53292–2009 (п. 6.2). Для изучения степени снижения горючести древесины сосны, обработанной различными огнезащитными средствами, были проведены эксперименты с применением методики и средств измерения по ГОСТ 30244–94 (метод 2). Критические значения тепловых нагрузок для реализации воспламенения и распространения пламени по деревянным конструкциям, которые могут быть описаны величинами критической поверхностной плотности теплового потока, определялись по ГОСТ 30402–96 и ГОСТ Р 51032–97. Токсичность продуктов горения и дымообразующая способность образцов огнезащищенной древесины сосны оценивались стандартными методами и средствами измерений согласно ГОСТ 12.1.044–89 (п. 4.18 и 4.20).

Результаты исследований и их обсуждение. Исследовались водные огнебиозащитные составы, комплексное огнебиозащитное средство, терморасширяющееся покрытие, краска и лак, готовые к применению и имеющие согласно ГОСТ Р 53292–2009 I или II группу огнезащитной эффективности. Было определено, что все исследованные огнезащитные составы обеспечивают потерю массы менее 9 % при нанесении их на образцы древесины лиственницы и дуба с расходами, при которых они имели II группу огнезащитной эффективности на стандартных образцах древесины сосны.

Результаты экспериментов по оценке горючести, воспламеняемости и распространения пламени по поверхности, дымообразующей способности и токсичности продуктов горения указывают на наибольшую эффективность состава для глубокой пропитки в снижении пожароопасных характеристик древесины и возможность получения материала с показателями Г1, В1, РП1, Т2, Д2.

Выводы. Результаты проведенных исследований позволили оценить степень различий в значениях средней потери массы образцов различных пород древесины (ольхи, липы, сосны, лиственницы, дуба).

Комплексное изучение свойств пожарной опасности древесины, обработанной различными по химическому составу и механизму действия средствами огнезащиты, позволило выявить влияние различных огнезащитных средств для древесины сосны на комплекс параметров пожарной опасности, регламентирующих пожаробезопасное использование строительных материалов и конструкций в зданиях и сооружениях.

Ключевые слова: огнезащитные средства; огнезащитная эффективность; горючесть; воспламеняемость; распространение пламени

Для цитирования: Корольченко О.Н., Цариченко С.Г., Константинова Н.И. К вопросу о свойствах пожарной опасности огнезащищенной древесины // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2021. Т. 30. № 2. С. 23–34. DOI: 10.22227/PVB.2021.30.02.23-34

✉ Корольченко Ольга Николаевна, e-mail: O.Korolchenko@ikbsmgsu.ru

Flammability properties of fire-retardant timber

© Olga N. Korolchenko¹ ✉, Sergey G. Tsarichenko¹, Nataliya I. Konstantinova²

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

² 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. At present, the house-building industry, that produces timber structures, is in the process of sufficiently intensive development; however, high flammability of wood is the factor that restrains widespread use of timber in construction. The purpose of this work is to optimize the conditions of application of fire-retardant timber in the construction industry. The co-authors believe that the following problems are to be solved to attain this objective:

- a comparative analysis of the fireproofing efficiency of several fire-proofing agents applied to different species of wood;
- determination of the character of influence produced by fire proofing agents on fire retardant properties of wood.

Methods of research. The fire proofing efficiency of sample compositions designated for wood was measured in compliance with the benchmark testing method specified in GOST R 53292 (p. 6.2). Experiments were launched pursuant to the methodology and with the help of measurement instruments specified in GOST 30244–94 (Method 2) to study the extent of the pine-tree timber flammability suppression. Critical values of thermal loads that may trigger inflammation and flame propagation in timber structures, that can be described using values of the critical surface density of the heat flow, were determined pursuant to GOST 30402–96 and GOST R 51032–97. The toxicity of combustion products and the smoke generation ability of fire-retardant pine-tree samples was assessed using standard methods and measurement instruments pursuant to GOST 12.1.044–89 (paragraphs 4.18 and 4.20).

Research results and discussion. Biological flame retardants, integrated biological flame retardants that also ensure moisture protection, intumescent coatings, lacquers and varnishes that are ready for use and labelled as having group I and II fire-retardant efficiency pursuant to GOST R 53292, were studied in the course of this research project. The co-authors have identified that the mass loss by all fire-retardant compositions is below 9 %, if applied to samples of larch and oak-tree timber, same as if it were applied to standard samples of pine-tree timber.

The findings of the experiment conducted to assess the flammability, ignitability, flame propagation, smoke generation ability and toxicity of combustion products have proven the maximal efficiency of the composition designated for full-cell pressure impregnation of timber that ensures the properties of the material labelled as G1, V1, RP1, T2, D2.

Conclusions. Hence, the research results have enabled the co-authors to assess the discrepancy between average mass loss values demonstrated by the samples of different species of timber (alder, linden, pine-tree, larch, and oak-tree).

The comprehensive study of flammability properties of timber, treated by compositions that vary in their chemical composition and mode of action of the fire proofing agent, enabled the co-authors to identify the impact produced by versatile fire-proofing agents on different flammability properties of pine-tree timber with regard taken of the fire-safe use of construction materials and constructions of buildings and structures.

Keywords: fire-proofing agents; fire-proofing efficiency; ignitability; flammability; flame propagation

For citation: Korolchenko O.N., Tsarichenko S.G., Konstantinova N.I. Flammability properties of fire-retardant timber. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2021; 30(2):23-34. DOI: 10.22227/PVB.2021.30.02.23-34 (rus).

✉ Olga Nikolaevna Korolchenko, e-mail: O.Korolchenko@ikbsmgsu.ru

Введение

Деревянные строительные конструкции и материалы находят все большее применение из-за ряда присущих им преимуществ: высокой удельной прочности, малой теплопроводности, долговечности, достаточно развитой сырьевой базы, простоты в обработке. Строительные конструкции и облицовочные материалы изготавливают обычно из древесины хвойных пород: сосны, ели, лиственницы, пихты, кедра, которые характеризуются прямолинейностью структуры и лучшими, чем у лиственных пород, механическими свойствами, а также стойкостью против гниения благодаря смолистости.

В настоящее время во всем мире достаточно интенсивно развивается промышленное домостроение с применением конструкций из древесины; совершенствуются технологические разработки поточной сборки элементов малоквартирных домов; широко используются деревянные конструкции и материа-

лы в зданиях и сооружениях в качестве различного вида настилов, покрытий кровли, стоек, ферм, арок и рам, а также отделки и облицовки внутренних и внешних поверхностей стен, потолков, полов.

В то же время одним из факторов, сдерживающих широкое использование древесины в строительстве, остается ее высокая пожарная опасность. В связи с этим исследования, связанные с огнезащитой древесины и поведением материалов и конструкций из огнезащитной древесины на начальной стадии пожара, остаются весьма актуальными. Научный интерес представляют также вопросы изучения огнезащитной эффективности огнезащитных составов применительно к различным породам древесины.

Нормативно-техническая база, регламентирующая применение огнезащитной древесины в строительстве, включает в себя ряд документов, содержащих требования по эффективности ее огнезащиты для конструкций и свойствам пожарной

опасности облицовочных материалов для помещений зданий и сооружений. Основными из них являются Федеральный закон № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22 июля 2008 г.¹ (далее — ФЗ № 123), СП 2.13130.2020 «Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты»², СП 17.13330.2017 «Кровли» (актуализированная редакция СНиП II-26-76)³, СП 64.13330.2017 «Деревянные конструкции» (актуализированная редакция СНиП II-25-80)⁴, СП 352.1325800.2017 «Здания жилые многоквартирные с деревянным каркасом. Правила проектирования и строительства»⁵ и др.

Однако информация об огнезащитной эффективности огнезащитных составов для древесины согласно сертификатам подтверждения соответствия указывается только применительно к древесине сосны. Это обусловлено тем, что экспериментальная оценка огнезащитной эффективности составов для древесины и материалов на ее основе согласно действующим нормативным требованиям проводится на образцах древесины сосны, в то время как объектом огнезащиты могут являться строительные конструктивные элементы, выполненные из любых других пород древесины, как хвойных, так и лиственных.

В связи с этим правомерным представляется вопрос, в какой степени результаты испытаний по оценке эффективности различного рода огнезащитных средств для древесины сосны согласно ГОСТ Р 53292–2009⁶ будут справедливы и для

других пород древесины (например, лиственницы, дуба, ольхи, липы и пр.), которые достаточно широко применяются в строительстве и в силу своей пожароопасности требуют огнезащиты.

Для решения конкретных практических задач по огнезащите деревянных конструкций, облицовочных и отделочных материалов из древесины необходима полная информация по комплексу показателей пожарной опасности огнезащищенных древесных материалов. Исследования эффективности огнезащиты древесины и огнестойкости деревянных конструкций, обработанных различными огнезащитными составами, остаются весьма актуальными [1–7]. Одним из направлений является поиск новых путей решения задач, связанных с повышением уровня пожарной безопасности древесины и материалов на ее основе [8, 9].

Для этого ведется разработка высокоэффективных огнезащитных составов, включающих также функции био- и влагозащиты, технологий их нанесения, а также изучение особенностей процессов термоокислительной деструкции древесины в присутствии замедлителей горения различного типа [10–15]. Частично рассматриваются вопросы огнезащитной эффективности составов при поверхностной обработке различных пород древесины [16, 17].

Целью настоящей работы является оптимизация условий применения огнезащитной древесины в строительстве. Для этого, по мнению авторов, необходимо решить следующие задачи:

- провести сравнительный анализ огнезащитной эффективности ряда огнезащитных средств при нанесении их на различные породы древесины;
- определить влияние средств огнезащиты древесины на комплекс ее пожарно-технических характеристик.

Методы исследования

Научный и практический интерес в настоящей работе представлял сравнительный анализ огнезащитной эффективности различных по механизму действия средств при нанесении их на различные породы древесины, применяемые в настоящее время на объектах строительства, для обеспечения их пожарной безопасности, а также определение характеристик пожарной опасности древесины, обработанной этими огнезащитными средствами.

Огнезащитная эффективность образцов составов для древесины определялась с использованием контрольного метода испытаний по ГОСТ Р 53292–2009 (п. 6.2).

Для изучения степени снижения горючести древесины сосны, обработанной различными огнезащитными средствами, были проведены экспе-

¹ Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федеральный закон № 123-ФЗ от 22 июля 2008 г. : принят Государственной Думой 4 июля 2008 г.; одобрен Советом Федерации 11 июля 2008 г.

² Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты : (СП 2.13130.2020) : утвержден и введен в действие приказом Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС России) от 12 марта 2020 г. № 151.

³ Кровли (актуализированная редакция СНиП II-26-76) : (СП 17.13330.2017) : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 31 мая 2017 г. № 827/пр и введен в действие с 1 декабря 2017 г.

⁴ Деревянные конструкции (актуализированная редакция СНиП II-25-80) : (СП 64.13330.2017) : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 27 февраля 2017 г. № 129/пр и введен в действие с 28 августа 2017 г.

⁵ Здания жилые многоквартирные с деревянным каркасом. Правила проектирования и строительства : (СП 352.1325800.2017) : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России) от 13 декабря 2017 г. № 1660/пр и введен в действие с 14 июня 2018 г.

⁶ ГОСТ Р 53292–2009. Огнезащитные составы и вещества для древесины и материалов на ее основе. Общие требования. Методы испытаний : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 18 февраля 2009 г. № 68-ст.

рименты с применением методики и средств измерения по ГОСТ 30244–94⁷ (метод 2).

Экспериментальные исследования по определению критической поверхностной плотности теплового потока (КППТП), при которой происходит воспламенение, для рассматриваемых в рамках настоящей работы различных видов огнезащитной древесины сосны проводились с использованием метода испытаний и средств измерений в соответствии с ГОСТ 30402–96⁸. Образец огнезащитной древесины размером 165×165×15 мм подвергался воздействию лучистого теплового потока с поверхностной плотностью от 5 до 50 кВт/м². За КППТП принималось ее минимальное значение, при котором отмечалось наличие пламенного горения.

Изучение устойчивости образцов огнезащитной древесины сосны к распространению пламени по горизонтальной поверхности проводилось с использованием метода и средств измерений согласно ГОСТ Р 51032–97⁹. Устойчивость к распространению пламени оценивалась по величине КППТП, которую устанавливают по длине распространения пламени по образцу в результате воздействия теплового потока на его поверхность. Для исследований использовались образцы размером 1100×250×15 мм без подложки, предусмотренной стандартом.

Токсичность продуктов горения и дымообразующая способность образцов огнезащитной древесины сосны оценивались стандартными методами и средствами измерений согласно ГОСТ 12.1.044–89¹⁰ (п. 4.18 и 4.20).

Результаты исследований и их обсуждение

Для проведения указанных исследований был использован ряд достаточно широко известных, различных по химической природе и механизму действия огнезащитных средств (пропитки, лаки, покрытия и краски), обработка которыми осуществляется методами нанесения на поверхность древе-

сины и ее глубокой пропитки. В качестве объектов исследований огнезащитной эффективности средств были выбраны образцы древесины разных пород — сосны, лиственницы, дуба, липы и ольхи.

Представительный выбор огнезащитных средств для древесины проводился с учетом химического состава, содержания компонентов, механизма действия антипиренов и способа их нанесения [18].

Исследовались водные огнебиозащитные составы, комплексное огнебиозащитное средство, терморасширяющееся покрытие, краска и лак, готовые к применению и имеющие согласно ГОСТ Р 53292–2009 I или II группу огнезащитной эффективности.

На производство и применение огнезащитных средств разработана техническая документация, имеется подтверждение соответствия требованиям пожарной безопасности в виде обязательной сертификации согласно ФЗ № 123 или ТР ЕАЭС 043/2017 (О требованиях к средствам обеспечения пожарной безопасности)¹¹, а также соответствие государственным санитарно-эпидемиологическим правилам и нормативам СанПиН 2.1.2.729–99 (Полимерные и полимерсодержащие строительные материалы, изделия и конструкции. Гигиенические требования безопасности)¹².

Характеристики огнезащитных средств для древесины и группы их огнезащитной эффективности представлены в табл. 1.

Для огнезащитных средств 1–6 использовался способ нанесения на образцы древесины кистью, а для образца 7 — автоклавный способ глубокой пропитки, с соблюдением расхода и технологии согласно имеющейся технической документации.

Материалы статьи не носят рекламный характер, поэтому наименования составов не указываются, а их основные компоненты представлены в соответствии с информацией, имеющейся в разработанной на них технической документации и доступной для просмотра.

Как следует из данных табл. 1, отличающиеся по составу и способу нанесения на древесину сосны огнезащитные средства имеют I или II группу огнезащитной эффективности при различных расходах.

Для получения сравнительных данных по огнезащитной эффективности составов применительно к различным породам древесины были проведены

⁷ГОСТ 30244–94. Материалы строительные. Методы испытаний на горючесть : принят Межгосударственной научно-технической комиссией по стандартизации и техническому нормированию в строительстве (МНТКС) 10 ноября 1993 г.

⁸ГОСТ 30402–96. Материалы строительные. Метод испытания на воспламеняемость : принят Межгосударственной научно-технической комиссией по стандартизации, техническому нормированию и сертификации в строительстве (МНТКС) 15 мая 1996 г.

⁹ГОСТ Р 51032–97. Материалы строительные. Метод испытания на распространение пламени : принят и введен в действие постановлением Минстроя России от 27 декабря 1996 г. № 18-93.

¹⁰ГОСТ 12.1.044–89. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы определения : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по управлению качеством продукции и стандартам от 12 декабря 1989 г. № 3683.

¹¹Технический регламент Евразийского экономического союза «О требованиях к средствам обеспечения пожарной безопасности и пожаротушения» (ТР ЕАЭС 043/2017) : принят решением Совета Евразийской экономической комиссии от 23 июня 2017 г. № 40.

¹²Полимерные и полимерсодержащие строительные материалы, изделия и конструкции. Гигиенические требования безопасности: (СанПиН 2.1.2.729–99) : утверждены Постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 27 января 1999 г. № 3.

Таблица 1. Характеристики огнезащитных средств для древесины и группы их огнезащитной эффективности по ГОСТ Р 53292**Table 1.** Characteristics of fire-proofing agents designated for timber and groups of their fire-proofing efficiency according to GOST R 53292

Номер состава Composition No.	Вид и основные компоненты состава Types and principal ingredients of compositions	Расход, г/м ² Flow rate, g/m ²	Группа огнезащитной эффективности состава Fire-proofing efficiency group
1	Огнезащитный антисептический состав на основе фосфорных кислот и карбамида с различными модифицирующими добавками Fire-retarding composition that contains phosphoric acid, carbamide and various modifying additives	300	II
2	Огнезащитный антисептический состав на основе фосфорных кислот и карбамида с различными модифицирующими добавками Fire-retarding composition that contains phosphoric acid, carbamide and various modifying additives	350	I
3	Огнезащитный состав на основе неорганических соединений-антипиренов и биологически активных веществ-антисептиков Fire-retarding composition that contains inorganic compounds, or fire-retarding chemicals and biologically active substances, or preservatives	450	II
4	Лак огнезащитный на основе полимерного материала и раствора акрилового сополимера Fire-retarding lacquer that contains a polymer and a solution of acrylic copolymer	350	I
5	Огнезащитная краска на основе водной дисперсии поливинилацетата и водной дисперсии карбамидоформальдегидного форконденсата Fire-retarding varnish that contains water dispersion of polyvinyl acetate and water dispersion of condensed carbamide-formaldehyde	350	I
6	Покрывание вспучивающееся огнезащитное на основе эпоксидного олигомера, водно-дисперсных акриловых сополимеров, кремний-органических смол и каучуков Intumescent coating that contains epoxide oligomer, water dispersions of acrylic copolymers, silicon-organic resins and caoutchoucs	700	I
7	Комплексное огнезащитное и биоцидное средство на основе фосфоразотсодержащих водорастворимых соединений, комплексных биоцидов и специальных биопластификаторов Integrated fire-proofing and biocidal agent that contains water-soluble compounds of phosphorus and nitrogen, integrated biocides, and biological plasticizers	380	I

экспериментальные исследования, результаты которых представлены в табл. 2.

Как следует из полученных результатов экспериментальных исследований (см. табл. 2), все огнезащитные средства, имеющие при определенном расходе I или II группу огнезащитной эффективности на древесине сосны, сохраняют при таком же расходе ту же группу огнезащитной эффективности на образцах древесины ольхи и липы. Причем существенных различий в результатах оценки средней потери массы огнезащищенными образцами указанных пород древесины не наблюдается. Так, например, огнезащитный антисептический состав 2, имеющий I группу огнезащитной эффективности

на образцах древесины сосны при расходе 350 г/м², сохраняет при том же расходе такую же группу огнезащитной эффективности на образцах древесины липы и ольхи. При этом средняя потеря массы последних составляет соответственно 8,1 и 8,5 % (для сравнения: у древесины сосны 8,8 %).

Более существенные различия в эффективности огнезащиты составов 1–7 наблюдаются на образцах древесины лиственницы и дуба. Все без исключения огнезащитные средства при тех же расходах, что и на древесине сосны, обеспечивали потерю массы образцов древесины лиственницы и дуба в пределах 3...8 %. Так, состав 1 при расходе 300 г/м² имеет II группу огнезащитной эффективности на образцах

Таблица 2. Средние потери массы образцов различных пород огнезащитной древесины по результатам испытаний по ГОСТ Р 53292 (п. 6.2)

Table 2. Average mass loss broken down by samples of different species of fire-retardant timber according to the test results pursuant to GOST R 53292 (p. 6.2)

Номер состава Composition No.	Расход, г/м ² (группа огнезащитной эффективности) Flow rate, g/m ² (fire-proofing efficiency)	Потеря массы, %, древесины (плотностью, кг/м ³) Mass loss, %, timber (density, kg/m ³)				
		липы linden (530)	ольхи alder (490)	сосны pine-tree (520)	лиственницы larch (660)	дуба oak-tree (690)
1	300 (II)	17,1	18,1	17,6	7,6	6,5
2	350 (I)	8,1	8,5	8,8	4,8	4,3
3	450 (II)	12,9	14,1	13,9	5,9	5,7
4	350 (I)	7,8	8,7	8,9	3,9	3,7
5	350 (I)	7,9	8,5	8,7	3,7	3,5
6	700 (I)	7,7	7,9	8,1	3,5	3,0
7	380 (I)	5,2	5,3	5,4	3,2	3,0

Примечания:

1. Средняя потеря массы образцов различных пород древесины определялась по результатам расчета потери массы в трех опытах.
2. Среднее значение плотности древесины рассчитывалось до проведения ее огнезащитной обработки и округлено до целого числа.

Notes:

1. Average mass loss demonstrated by samples of different species of timber was identified according to the calculation results of the mass loss identified in the course of three experiments.
2. Average value of timber density was identified before its treatment by the fire-proofing agent, and the resulting figure was expressed in round numbers.

древесины сосны при средней потере массы 17,7 %, в то время как при том же расходе средняя потеря массы древесины лиственницы составляет 7,5 %, а древесины дуба — 6,5 %.

Полученные данные могут быть обусловлены отличием плотности образцов древесины лиственницы и дуба от плотности образцов древесины липы, ольхи и сосны. Это согласуется с данными, полученными авторами работы [19], в которой установлены макрокинетические параметры пиролиза и термоокислительного разложения древесины разных пород и плотности при беспламенном горении и показана существенная разница в термическом поведении карбонизованных остатков в условиях нагрева по стандартному режиму пожара.

Можно также с высокой вероятностью предположить, что огнезащитные составы при их нанесении на различные породы древесины, близкие по плотности к древесине сосны, используемой в качестве стандартной при оценке группы огнезащитной эффективности по ГОСТ Р 53292–2009, будут иметь такую же огнезащитную эффективность, что и на древесине сосны. Проведенные исследования также показали, что все исследованные огне-

защитные средства обеспечивают потерю массы менее 9 % при нанесении их на образцы древесины лиственницы и дуба с расходами, при которых они имели II группу огнезащитной эффективности на стандартных образцах древесины сосны.

В практическом плане представленные результаты могут иметь важное значение при разработке соответствующих рекомендаций по огнезащите различных пород древесины для обеспечения пожарной безопасности конкретных объектов строительства.

Одной из важнейших характеристик пожарной опасности строительных материалов является горючесть, т.е. способность материалов поддерживать и распространять горение. При изучении степени снижения горючести древесины сосны, обработанной различными огнезащитными средствами, определялись такие параметры, как время самостоятельного горения $\tau_{с.г.}$, потеря массы Δm , степень повреждения образца по длине ΔL и максимальная температура отходящих газов $T_{\max}$.

Тепловые нагрузки на деревянные конструкции могут быть обусловлены также воздействием на них радиационного (лучистого) теплового потока и по-

следующим их прогревом, который определяется теплофизическими свойствами древесины. Таким образом, критические значения тепловых нагрузок для реализации воспламенения и распространения пламени по деревянным конструкциям могут быть описаны величинами КППТП.

Результаты комплексных экспериментальных исследований параметров пожарной опасности огнезащищенной различными средствами древесины сосны приведены в сводной табл. 3.

По результатам исследований установлено, что исходный образец древесины сосны имеет группу горючести Г4, т.е. относится к сильногорючим материалам со следующими параметрами (по ГОСТ 30244–94): $T_{\max} = 900 \dots 1000$ °С, $\Delta m = 90 \dots 95$ %, $\tau_{\text{с.г.}} > 600$ с, $\Delta L = 100$ %.

Результаты экспериментов также показали (см. табл. 2), что практически у всех огнезащитных средств для древесины огнезащитный эффект проявляется в сокращении тепловыделения, времени самостоятельного горения и потери массы (по сравнению с образцами исходной древесины): $T_{\max} = 130 \dots 376$ °С, $\Delta m = 3 \dots 52$ %, $\tau_{\text{с.г.}} = 0 \dots 565$ с.

Как следует из полученных экспериментальных данных, обработка огнезащитными составами 1, 3 и 4 не приводит к изменению группы горючести древесины. Образцы древесины, обработанные средствами 2, 5 и 6, переходят в группу горючести ГЗ, т.е. нормальногорючих материалов. Комплексное огнебиозащитное средство 7

обеспечивает получение древесины группы горючести Г1.

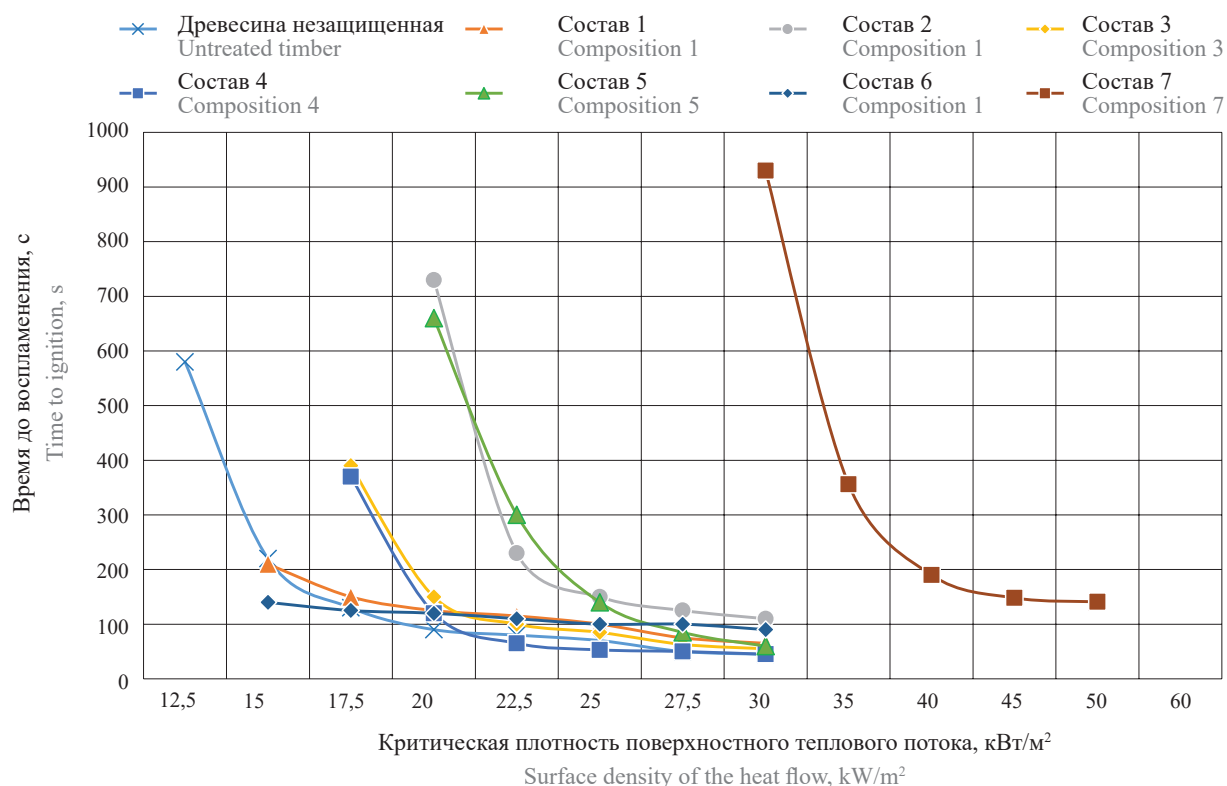
Наблюдения за изменением состояния поверхности образцов в процессе воздействия на них внешнего теплового потока показали, что заметные термические превращения начинаются уже при поверхностной плотности тепловых потоков 15 кВт/м². Дальнейшее увеличение их плотности сопровождается более интенсивным обугливанием поверхности, образованием трещин в поверхностном слое и воспламенением выделяющихся газообразных продуктов термического разложения.

На рисунке представлена зависимость времени до воспламенения от КППТП для образцов древесины, обработанных различными огнезащитными средствами.

В соответствии с принятой классификацией строительных материалов по воспламеняемости (согласно ГОСТ 30402–96) исследованные составы, за исключением образца 7, не изменяют группу воспламеняемости огнезащищенной древесины по сравнению с исходной, которая относится к группе ВЗ — легковоспламеняемых материалов. Эффект от их огнезащиты проявляется в некотором увеличении плотности падающего теплового потока, при котором происходит воспламенение, и времени индукции до воспламенения огнезащищенной древесины по сравнению с исходной. При этом наибольший эффект от огнезащиты проявляется при плотности тепловых потоков 15...20 кВт/м². При дальнейшем

Таблица 3. Результаты оценки параметров пожарной опасности огнезащищенной различными средствами древесины сосны
Table 3. Assessment of flammability properties of fire-protected pine-tree timber treated by various compositions

Номер состава Composition No.	Горючесть Combustibility				Воспламеняемость Ignitability		Распространение пламени Flame propagation		
	$T_{\max}$, °С	ΔL , %	Δm , %	$\tau_{\text{с.г.}}$, с $\tau_{\text{ав.г.}}$, с	КППТП, кВт/м ² Critical surface density of the heat flow, kW/m ²	$\tau_{\text{воспл.}}$, с $\tau_{\text{ign.}}$, с	КППТП, кВт/м ² Critical surface density of the heat flow, kW/m ²	L , см L , cm	$\tau_{\text{с.г.}}$, с $\tau_{\text{ав.г.}}$, с
1	353	100	49	1810	15	210	9,0	32	122
2	314	82	34	290	20	730	9,9	65	0
3	376	100	52	315	17,5	390	9,9	70	15
4	313	100	34	565	17,5	370	9,9	347	314
5	275	81	48	115	20	660	>11	35	174
6	279	76	33	260	15	140	9,8	310	7
7	130	52	3	0	35	356	>11	0	0



Зависимость времени до воспламенения от критической плотности поверхностного теплового потока для исходного образца и образцов древесины, обработанных различными составами

Dependence of time to ignition on critical density of the surface heat flow of the benchmark sample and samples treated by different compositions

ее увеличении период времени до воспламенения исходной и огнезащитной древесины различается незначительно.

Наиболее заметный эффект от огнезащиты проявляется в повышении устойчивости древесины к воспламенению у образцов № 2, 5 и 7. Эти наблюдения, согласующиеся с современными представлениями о процессах воспламенения конденсированных материалов, позволяют определить направления повышения эффективности огнезащитных средств: разработку комплексных пропиточных составов [16] или введение в их рецептуры определенного вида интумесцентных добавок [20].

Результаты определения группы распространения пламени для образцов огнезащитной древесины, представленные в табл. 3, свидетельствуют о том, что в результате обработки древесины (в данной работе составами № 5 и 7) можно получать материалы группы РП 1, т.е. не распространяющие пламя по поверхности.

Особое внимание следует уделить данным по оценке показателей пожарной опасности древесины сосны, обработанной методом глубокой пропитки комплексным средством (состав 7). Результаты экспериментов по оценке горючести, воспламеняемости и распространения пламени по поверхности указывают на наибольшую эффективность состава 7

в снижении пожароопасных характеристик и возможность получения материала с показателями Г1, В1, РП1. Причем в отличие от поверхностной обработки исследованными средствами метод глубокой пропитки составом 7 позволяет получить древесину, которая не только имеет параметры пожарной опасности, соответствующие требованиям ее пожаробезопасного применения в отделке помещений зданий и сооружений, но и обладает значительно более высокой устойчивостью к воздействию теплового потока. Полученные результаты согласуются с данными работы [21].

Были проведены исследования влияния средств огнезащиты на дымообразующую способность и токсичность продуктов горения огнезащитной древесины сосны. Эти показатели особенно важно учитывать при оценке времени безопасной эвакуации людей при возникновении пожара в здании.

Результаты изучения влияния обработки древесины сосны огнезащитными составами на показатель токсичности продуктов горения (H_{C150}) свидетельствуют о том, что огнезащитная древесина (как и исходная) относится к материалам группы Т3, т.е. к высокоопасным ($H_{C150} = 24 \dots 35$). Исключение составляет древесина, обработанная огнезащитным терморасширяющимся покрытием (состав 6) с $H_{C150} = 46$, и образец древесины с глубокой пропит-

кой комплексным средством (состав 7) с $H_{Cl50} = 43$, что переводит ее в группу T2, т.е. умеренноопасных материалов.

Вспучивающиеся огнезащитные материалы определенного состава обнаруживают эффективность в снижении параметров обугливания элементов деревянных конструкций в 1,5–2 раза в условиях стандартного температурного режима пожара благодаря образованию теплоизолирующего вспененного слоя, который не только обеспечивает сопротивляемость к воздействию огня, но и затрудняет выход летучих продуктов термического разложения [22, 23].

В ходе экспериментальных работ по оценке дымообразующей способности огнезащищенной древесины было установлено, что для всех исследованных образцов материала значения коэффициентов дымообразования в режиме тления оказались примерно на порядок выше, чем в режиме пламенного горения. Поэтому основная серия экспериментов проводилась при горении образцов огнезащищенной древесины в режиме тления.

Исследования, проведенные с древесиной сосны, имеющей коэффициент дымообразования $D_m = 700 \text{ м}^2/\text{кг}$, у образцов древесины, обработанных составами 1, 3–5, D_m находится в пределах $650 \dots 505 \text{ м}^2/\text{кг}$; составом 2 — $470 \text{ м}^2/\text{кг}$, составом 6 — $340 \text{ м}^2/\text{кг}$, а составом 7 — $145 \text{ м}^2/\text{кг}$.

Обнаруженная тенденция к снижению дымообразования при горении древесины, обработанной огнезащитными составами, свидетельствует о том, что степень этого влияния для разных составов отличается. При этом возможно получение древесных материалов с умеренной дымообразующей способностью (группа Д2).

Полученные результаты согласуются с данными работ [24, 25] по снижению дымообразующей способности древесины при пожаре. В них рассмотрено влияние различных неорганических и органических кислот фосфора, а также некоторых кремнийорганических соединений на дымообразующую способность древесины и сделан вывод, что оно обусловлено изменениями в пористой структуре угля, изменением

соотношения карбоксильных и гидроксильных групп, а также содержанием элементов фосфора и кремния в поверхностном карбонизованном слое.

Выводы

Результаты проведенных исследований позволили оценить степень различий в значениях средней потери массы образцов различных пород древесины (ольхи, липы, сосны, лиственницы, дуба), обработанных разными видами огнезащитных средств, и определить, что все исследованные огнезащитные составы обеспечивают потерю массы менее 9 % при нанесении их на образцы древесины лиственницы и дуба с расходами, при которых они имели II группу огнезащитной эффективности на стандартных образцах древесины сосны.

В ходе экспериментальных исследований была также выполнена оценка степени соответствия группы огнезащитной эффективности различных средств огнезащиты древесины, определяемой по методике ГОСТ Р 53292–2009, и ряда показателей пожарной опасности огнезащищенной древесины. В результате этой оценки корреляции между ними установлено не было. Это обстоятельство необходимо учитывать при разработке и применении огнезащитных композиций для обработки материалов и конструкций из древесины.

Комплексное изучение свойств пожарной опасности древесины сосны, обработанной различными по химическому составу и механизму действия средствами огнезащиты, позволило выявить влияние различных огнезащитных средств на комплекс параметров пожарной опасности древесины (горючесть, воспламеняемость, распространение пламени по поверхности, дымообразующую способность и токсичность продуктов горения), регламентирующих пожаробезопасное использование строительных материалов и конструкций из древесины в зданиях и сооружениях и, таким образом, установить степень ее соответствия существующим нормативным показателям, регламентирующим ее пожаробезопасное применение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богданова В.В., Кобец О.И., Кирлица В.П. Механизм и синергическое действие азот-фосфорсодержащих антипиренов при огнезащите и тушении древесины и торфа // Химическая физика. 2016. Т. 35. № 4. С. 57–63. DOI: 10.7868/S0207401X16040038
2. Lowden L.A., Hull T.R. Flammability behaviour of wood and a review of the methods for its reduction // Fire Science Reviews. 2013. Vol. 2. No. 1. P. 4. DOI: 10.1186/2193-0414-2-4
3. Максименко С.А., Кривцов Ю.В., Максименко Н.А., Мельников Н.О., Константинова Н.И. Пожарная опасность новых видов лесоматериалов // Пожарная безопасность. 2013. № 2. С. 74–77.
4. Богданова В.В., Радкевич Л.В. Экономичные огнезащитные составы для деревянных строительных конструкций // Известия ЮФУ. Технические науки. 2014. № 1 (150). С. 201–205. URL: <http://old.izv-tn.tti.sfedu.ru/?p=6227>

5. *White R.H.* Fire resistance of wood members with directly applied protection // Wood design focus. Summer 2009. Pp. 13–19. URL: <http://www.awc.org/pdf/codes-standards/publications/archives/wdf/WDF-2009-FireResistance-White-0910.pdf>
6. *Minailov D., Eremina T., Korolchenko D.* New method of quality control for fire protective coatings // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 471. No. 11. P. 112016. DOI: 10.1088/1757-899X/471/11/112016
7. *Korolchenko D., Pizhurin A.* Simulating operational control of production in lumber house building businesses // MATEC Web of Conferences. 2017. Vol. 117. P. 00084. DOI: 10.1051/mateconf/201711700084
8. *Aseeva R.M., Serkov B.B., Sivenkov A.B.* Fire behavior and fire protection in timber buildings // Springer Series in Wood Science. Netherlands, Dordrecht: Springer, 2014. 280 p. DOI: 10.1007/978-94-007-7460-5
9. *Özdemir F., Tutus A.* Effects of fire retardants on the combustion behavior of high-density fiberboard // BioResources. 2013. Vol. 8. No. 2. Pp. 1665–1674. DOI: 10.15376/biores.8.2.1665-1674
10. *Van der Veen I., De Boer J.* Phosphorus flame retardants: Properties, production, environmental occurrence, toxicity and analysis // Chemosphere. 2012. Vol. 88. No. 10. Pp. 1119–1153. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2012.03.067
11. *Khelfa A., Bensakhria A., Weber J.V.* Investigations into the pyrolytic behaviour of birch wood and its main components: primary degradation mechanisms, additivity and metallic salt effects // Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. 2013. Vol. 101. Pp. 111–121. DOI: 10.1016/j.jaap.2013.02.004
12. *Тычино Н.А.* Огнебиозащита древесины и экология // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2012. Т. 21. № 1. С. 44–46. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17326713>
13. *Арцыбашева О.В., Визгалова Г.И., Асеева Р.М., Серков Б.Б., Сивенков А.Б.* Анализ способов и средств огнезащиты для снижения пожарной опасности и повышения огнестойкости деревянных конструкций // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2014. № 3. С. 13–20. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22454382>
14. *Boruszewski P., Borysiuk P., Jaskółowski W., Fajkowska K., Mamiński M., Jencyk-Tolloczko I.* Characteristics of selected fireproof properties of particleboard made from particles impregnated with salt agent // Annals of Warsaw university of Life Science — SGGW, Forestry and Wood Technology. 2011. No. 73. Pp. 142–146.
15. *Yorur H., Kurt S., Yumrutas I.* The effect of aging on various physical and mechanical properties of scotch pine wood used in construction of historical Safranbolu houses // Drvna Industrija. 2014. Vol. 65. No. 3. Pp. 191–196. DOI: 10.5552/drind.2014.1328
16. *Сивенков А.Б.* Влияние физико-химических характеристик древесины на ее пожарную опасность и эффективность огнезащиты : дис. ... д-ра техн. наук. М., 2015. 289 с.
17. *Бороздин С.А., Гитцович Г.А., Ветров В.В., Морозов С.С.* Эффективность огнезащитных составов при нанесении их на различные породы древесины // Современные проблемы гражданской защиты. 2020. № 3 (36). С. 70–76. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43956596>
18. *Корольченко А.Я., Корольченко О.Н.* Средства огнезащиты : справочник. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Изд-во «Пожнаука», 2009. 560 с.
19. *Круглов Е.Ю., Асеева Р.М.* Беспламенное горение древесины: параметры макрокинетики пиролиза и термоокислительного разложения // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2020. Т. 29. № 1. С. 43–54. DOI: 10.18322/PVB.2020.29.01.43-54
20. *Зыбина О.А.* Теоретические принципы и технология огнезащитных вспучивающихся материалов : дис. ... д-ра техн. наук. СПб., 2015. 260 с.
21. *Нигматилина Д.М.* Снижение пожарной опасности деревянных конструкций способом их глубокой пропитки огнебиозащитными составами : дис. ... канд. техн. наук. М., 2017. 201 с.
22. *Еремина Т.Ю., Николаева Е.А.* Разработка огнезащитного лака для повышения пожарной безопасности деревянных клееных конструкций // XXIX Международная научно-практическая конференция, посвященная 80-летию ФГБУ ВНИИПО МЧС России : в 2-х ч. Часть 2. Горение и проблемы тушения пожаров : тезисы докладов. М. : ВНИИПО, 2017. С. 272–275. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29942808>
23. *Karpovič Z., Šukys R., Gudelis R.* Toxicity research of smouldering and flaming pine timber treated with fire retardant solutions // Journal of Civil Engineering and Management. 2012. Vol. 18. No. 4. Pp. 600–608. DOI: 10.3846/13923730.2012.709195
24. *Покровская Е.Н., Портнов Ф.А.* Снижение дымообразующей способности при химическом модифицировании древесины // Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке

и образовании : сб. мат. Междунар. науч. конф. / отв. ред. Т.И. Квитка, И.П. Молчанова. М., 2015. С. 259–263.

25. Корольченко О.Н. Влияние средств огнезащиты на пожарную опасность древесины : дис. ... канд. техн. наук. М., 2010. 221 с.

REFERENCES

1. Bogdanova V.V., Kobets O.I., Kirlitsa V.P. Mechanism and synergistic action of nitrogen-phosphorus-containing fire retardants in fire protection and extinguishing of wood and peat. *Chemical Physics*. 2016; 35(4):57-63. DOI: 10.7868/S0207401X16040038 (rus).
2. Lowden L.A., Hull T.R. Flammability behaviour of wood and a review of the methods for its reduction. *Fire Science Reviews*. 2013; 2(1):4. DOI: 10.1186/2193-0414-2-4
3. Maksimenko S.A., Krivtsov Ju.V., Maksimenko N.A., Melnikov N.O., Konstantinova N.I. Fire hazard of new types of the wood products. *Pozharnaya bezopasnost'/Fire Safety*. 2013; 2:74-77. (rus).
4. Bogdanova V.V., Radkevich L.V. The economical fireproof compositions for wooden building constructions. *Izvestiya SFedU. Engineering Sciences*. 2014; 1(150):201-205. URL: <http://old.izv-tn.tti.sfedu.ru/?p=6227> (rus).
5. White R.H. Fire resistance of wood members with directly applied protection. *Wood design focus*, Summer 2009; 13-19. URL: <http://www.awc.org/pdf/codes-standards/publications/archives/wdf/WDF-2009-FireResistance-White-0910.pdf>
6. Minailov D., Eremina T., Korolchenko D. New method of quality control for fire protective coatings. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019; 471(11):112016. DOI: 10.1088/1757-899X/471/11/112016
7. Korolchenko D., Pizhurin A. Simulating operational control of production in lumber house building businesses. *MATEC Web of Conferences*. 2017; 117:00084. DOI: 10.1051/mateconf/201711700084
8. Aseeva R.M., Serkov B.B., Sivenkov A.B. Fire behavior and fire protection in timber buildings. *Springer Series in Wood Science*. Netherlands, Dordrecht, Springer, 2014; 280. DOI: 10.1007/978-94-007-7460-5
9. Özdemir F., Tutus A. Effects of fire retardants on the combustion behavior of high-density fiberboard. *BioResources*. 2013; 8(2):1665-1674. DOI: 10.15376/biores.8.2.1665-1674
10. Van der Veen I., De Boer J. Phosphorus flame retardants: Properties, production, environmental occurrence, toxicity and analysis. *Chemosphere*. 2012; 88(10):1119-1153. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2012.03.067
11. Khelifa A., Bensakhria A., Weber J.V. Investigations into the pyrolytic behaviour of birch wood and its main components: primary degradation mechanisms, additivity and metallic salt effects. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 2013; 101:111-121. DOI: 10.1016/j.jaap.2013.02.004
12. Tychino N.A. Fire- and bioprotection of wood and ecology. *Pozharovzryvbezopasnost'/ Fire and Explosion Safety*. 2012; 21(1):44-46. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17326713> (rus).
13. Artsybasheva O.V., Vizgalova G.I., Aseeva R.V., Serkov B.B., Sivenkov A.B. Fire protection means and technique analysis to reduce fire hazards and increase fire resistance of wooden constructions. *Fire and emergencies: prevention, elimination*. 2014; 3:13-20. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22454382> (rus).
14. Boruszewski P., Borysiuk P., Jaskółowski W., Fajkowska K., Mamiński M., Jencyk-Tołłoczko I. Characteristics of selected fireproof properties of particleboard made from particles impregnated with salt agent. *Annals of Warsaw university of Life Science — SGGW, Forestry and Wood Technology*. 2011; 73:142-146.
15. Yorur H., Kurt S., Yumrutas I. The effect of aging on various physical and mechanical properties of scotch pine wood used in construction of historical Safranbolu houses. *Drvna Industrija*. 2014; 65(3):191-196. DOI: 10.5552/drind.2014.1328
16. Sivenkov A.B. *Influence of physical and chemical characteristics of wood on its fire hazard and the effectiveness of fire protection : dissertation of a doctor of technical sciences*. Moscow, 2015; 289. (rus).
17. Borozdin S.A., Gittcovich G.A., Vetrov V.V., Morozov S.S. Efficiency of fire-protective compositions at application of them to various breeds of wood. *Modern Problems of Civil Protection*. 2020; 3(36):70-76. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43956596> (rus).
18. Korolchenko A.Ya., Korolchenko O.N. *Fire protection means. Reference book*. 2nd ed. Moscow, Pozhnauka Publ., 2009; 560. (rus).
19. Kruglov E.Yu., Aseeva R.M. Flameless burning of wood: parameters of macrokinetics of pyrolysis and thermo-oxidative decomposition. *Pozharovzryvbezopasnost'/Fire and Explosion Safety*. 2020; 29(1):43-54. DOI: 10.18322/PVB.2020.29.01.43-54 (rus).

20. Zybyina O.A. *Theoretical principles and technology of fire retardant intumescent materials : dissertation of a doctor of technical sciences*. Saint Petersburg, 2015; 260. (rus).
21. Nigmatilina D.M. *Reducing the fire hazard of wooden structures by means of their deep impregnation with fire-retardant compositions : dissertation of the candidate of technical sciences*. Moscow, 2017; 201. (rus).
22. Eremina T.Yu., Nikolaeva E.A. Development of fire retardant varnish to improve fire safety of glued wooden structures. *XXIX International scientific and practical conference dedicated to the 80th anniversary of the FGBU VNIPO EMERCOM of Russia : in 2 parts. Part 2. Combustion and problems of extinguishing fires : abstracts*. Moscow, VNIPO, 2017; 272-275. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29942808> (rus).
23. Karpovič Z., Šukys R., Gudelis R. Toxicity research of smouldering and flaming pine timber treated with fire retardant solutions. *Journal of Civil Engineering and Management*. 2012; 18(4):600-608. DOI: 10.3846/13923730.2012.709195
24. Pokrovskaya E.N., Portnov F.A. Decrease in smoke-forming ability during chemical modification of wood. *Integration, partnership and innovation in building science and education : collection of materials of the International scientific conference*; T.I. Kvitka, I.P. Molchanov (ed.). Moscow, 2015; 259-263. (rus).
25. Korolchenko O.N. *The influence of fire protection means on the fire hazard of wood : dissertation of the candidate of technical sciences*. Moscow, 2010; 221. (rus).

Поступила 25.02.2021, после доработки 16.03.2021; принята к публикации 25.03.2021
Received February 25, 2021; Received in revised form March 16, 2021; Accepted March 25, 2021

Информация об авторах

КОРОЛЬЧЕНКО Ольга Николаевна, руководитель Центра оценки соответствия продукции Института комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Российская Федерация; РИНЦ ID: 1092980; ORCID: 0000-0003-2568-0834; e-mail: O.Korolchenko@ikbs-mgsu.ru

ЦАРИЧЕНКО Сергей Георгиевич, д-р техн. наук, профессор кафедры комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), г. Москва, Российская Федерация; РИНЦ ID: 181475; ORCID: 0000-0002-9807-6841; e-mail: tsarichenko_s@mail.ru

КОНСТАНТИНОВА Наталия Ивановна, д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник, 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, Московская обл., Российская Федерация; Scopus Author ID: 57195464313; ORCID: 0000-0003-0778-0698; e-mail: konstantinova_n@inbox.ru

Information about the authors

Olga N. KOROLCHENKO, Head of the Product Conformity Assessment Center, Institute of Integrated Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation; ID RISC: 1092980; ORCID: 0000-0003-2568-0834; e-mail: O.Korolchenko@ikbs-mgsu.ru

Sergey G. TSARICHENKO, Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Department of Integrated Safety in Civil Engineering, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation; ID RISC: 181475; ORCID: 0000-0002-9807-6841; e-mail: tsarichenko_s@mail.ru

Nataliya I. KONSTANTINOVA, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Chief Researcher, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, Moscow Region, Russian Federation; Scopus Author ID: 57195464313; ORCID: 0000-0003-0778-0698; e-mail: konstantinova_n@inbox.ru

Постановка проблемы по рациональному распределению ресурса, предназначенного для обеспечения комплексной безопасности предприятия

© Е.В. Гвоздев ✉

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Ресурсы предприятия — это его богатый внутренний потенциал, который нацелен на устойчивое функционирование производственного процесса. Впервые в виде проблемы представлено новое укрупненное методологически описанное направление, решение задач в котором сосредоточено на определении факторов влияния персонала служб (структурных подразделений) на ведомственные (отраслевые) направления, входящие в систему комплексной безопасности предприятия.

Методы исследования. Проанализированы подходы с использованием существующих методов в комплексной безопасности предприятий, рассмотрены особенности их применения. Представлено обоснование выбора метода множителей Лагранжа, с применением которого сформирована постановка проблемы по рациональному распределению ресурса, предназначенного для поддержания устойчивого функционирования ведомственных (отраслевых) направлений, входящих в систему комплексной безопасности предприятия.

Постановка проблемы. В статье представлена постановка проблемы по рациональному распределению ресурса (трудового потенциала), рассматриваемого в виде фактора влияния на устойчивое функционирование ведомственных (отраслевых) направлений, входящих в систему комплексной безопасности предприятия.

Пример решения проблемы. Представлен пример с описанием последовательного нахождения критических точек, которые имеют отношение к показателям веса (коэффициента) влияния персонала на обеспечиваемые им ведомственные (отраслевые) направления, входящие в систему комплексной безопасности предприятия.

Выводы. Решение частных задач, входящих в содержание методологически описанной проблемы, даст возможность разработать методологию синтеза комплексной безопасности, способной адаптироваться к различным условиям функционирования предприятия (режимы повседневной деятельности, а также угрозы и возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера), что имеет важное хозяйственное для России значение.

Ключевые слова: человеческий фактор; курирующая служба; оценка влияния; ресурсное обеспечение; рациональный вариант

Для цитирования: Гвоздев Е.В. Постановка проблемы по рациональному распределению ресурса, предназначенного для обеспечения комплексной безопасности предприятия // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2021. Т. 30. № 2. С. 35–48. DOI: 10.22227/PVB.2021.30.02.35-48

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

Rational allocation of the resource designated for comprehensive safety assurance at an enterprise: the problem statement

© Evgeniy V. Gvozdev ✉

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

ABSTRACT

Introduction. Corporate resources translate into a strong in-house capacity that ensures sustainable production processes. We present a novel integrated area of activity, whose purpose is to solve problems by identifying the factors of influence, coming from employees of versatile departments (structural units) and focused on industry-specific (sectoral) functions that are part of the comprehensive safety system of an enterprise.

Methods of research. The author employed the established methods of comprehensive safety assurance to analyze a number of approaches. He also explored the features of their application. The author also substantiated the choice of the Lagrange multiplier method, used to formulate the problem of rational allocation of the resource designated for the sustainable performance of functions that assure the comprehensive safety of an enterprise.

Problem statement. The author addresses the problem of rational allocation of the resource (the labor potential), considered as a factor of influence produced on the sustainable performance of industry-specific (sectoral) functions that comprise the system of comprehensive safety of an enterprise.

An exemplary solution. The author offers an example that represents a description of the process of consecutive identification of critical points that are relevant to the impact (a coefficient) produced by the personnel on the sustainable performance of industry-specific (sectoral) functions that contribute to the comprehensive safety of an enterprise.

Conclusions. Solutions for specific tasks, forming part of a methodologically described problem, will make it possible to develop a methodology for the synthesis of the comprehensive safety which is adaptable to different conditions of operation of an enterprise (day-to-day operations, as well as threats and emergencies of natural and man-induced origin), and each is of great economic importance for Russia.

Keywords: human factor; supervisory department; impact assessment; resource provision; rational option

For citation: Gvozdev E.V. Rational allocation of the resource designated for comprehensive safety assurance at an enterprise: the problem statement. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2021; 30(2):35-48. DOI: 10.22227/PVB.2021.30.02.35-48 (rus).

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

Введение

Довольно длительный период с начала XIX в. и до настоящего времени ознаменован постоянным повышением интереса к техносферной безопасности, решение задач в которой требует постоянного совершенствования и развития. В последнее время направленность фундаментальных, системных и прикладных исследований в области анализа и управления техносферной безопасностью с учетом накопленного опыта постановки и решения этой проблемы приобретает новое значение в связи с переходом с 2018 г. на принципиально новый уровень решения вопросов научного анализа, нормирования, регулирования и обеспечения техносферной безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций в соответствии с указами Президента Российской Федерации об основах государственной политики в этих областях на период до 2030 г. и дальнейшую перспективу. Например, в январе 2018 г. был принят к исполнению один из документов стратегического планирования «Основы государственной политики в области защиты населения и территорий от ЧС природного и техногенного характера на период до 2030 года¹», который утвержден Указом Президента России, в содержании которого определена главная цель по реализации данного направления безопасности — «обеспечение устойчивого социально-экономического развития РФ, а также приемлемого уровня безопасности жизнедеятельности населения в чрезвычайных ситуациях» [1].

Наибольшую опасность в техносфере представляют промышленные предприятия, которые в соответствии с требованиями Федерального закона от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»² имеют участки (площадки), отнесенные по тем или иным опасным признакам к установленной категории

опасного производственного объекта (далее – ОПО). Энергетические предприятия (Теплоэлектроцентрали) филиального уровня подчиненности, входящие в содержание самой крупной энергетической Компании в России – Публичного акционерного общества энергетики и электрификации «Мосэнерго» (ПАО «Мосэнерго»), имеют установленную категорию ОПО, на их примере проводилось исследование по решению задач связанных с обеспечением техносферной безопасности [2]. К категории ОПО также относится Публичное акционерное общество энергетики и электрификации «Мосэнерго», крупное предприятие по выработке электрической энергии и тепла в России, на примере которого проводилось исследование по решению задач, связанных с обеспечением техносферной безопасности [2].

Методология комплексной безопасности предприятия как наука

Устойчивое развитие и процветание любого производственного процесса напрямую зависит от правильно организованной на предприятии техносферной безопасности, которая в результате качественных изменений потребовала применения комплексного подхода при ее управлении и стала именоваться как комплексная безопасность [1]. В настоящее время сформулированы понятия, связанные с комплексной безопасностью, но их формулировки имеют прямое отношение к функционированию физических объектов, например:

- в содержании нормативного документа ГОСТ Р 53704–2009. Системы безопасности комплексные и интегрированные. Общие технические требования³ представлено понятие «система безопасности комплексная», которое имеет отношение к применению технических средств, способных выявить место возникновения угроз различной природы возникновения и характера проявления;

¹ Основы государственной политики в области защиты населения и территорий от ЧС природного и техногенного характера на период до 2030 года : утверждены Указом Президента Российской Федерации от 11 января 2018 г. № 12.

² О промышленной безопасности опасных производственных объектов : Федеральный закон от 21 июня 1997 г. № 116-ФЗ : принят Государственной Думой 20 июня 1997 г.

³ ГОСТ Р 53704–2009. Системы безопасности комплексные и интегрированные. Общие технические требования: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 декабря 2009 г. № 1140-ст.

- в содержании другого нормативного документа ГОСТ Р 53195.1–2008. Безопасность функциональная связанных с безопасностью зданий и сооружений систем. Ч. 1. Основные положения⁴ представлены сформулированные понятия «комплексная безопасность» и «комплексная система безопасности (КСБ)», которые имеют непосредственное отношение к безопасному функционированию физических объектов, а именно безопасности зданий и сооружений систем.

Однако до настоящего времени, в содержании нормативно-правовых актов и нормативных документов, имеющих принадлежность к отраслевым подсистемам безопасности, не сформулировано понятие для комплексной безопасности, которое имело бы непосредственное отношение к ее управлению.

С целью понимания читательской аудиторией специфических признаков исследуемого объекта (рассмотрения комплексной безопасности с точки зрения управления) возникла необходимость во введении следующего нового понятия, в котором *комплексная безопасность (КБ)* будет рассматриваться в виде системы, представляющей собой совокупность взаимодействующих ведомственных (отраслевых) направлений (промышленной и пожарной безопасности, охраны труда, информационной безопасности и антитеррористической защищенности, экологической безопасности и т.д.), объединенных единым замыслом решения возникающих задач для достижения главной цели — минимизации (исключения) опасностей, воздействующих на работающий персонал, имущество и оборудование, эксплуатируемое на предприятии, окружающую природную среду. Представленное сформулированное понятие в полном объеме отвечает исследуемой характеристике «комплексность», описанной в энциклопедическом словаре экономики и права [3], где под комплексностью понимается полнота, системность, взаимоувязанность, например, анализа, планирования, управления.

Актуальность исследования подтверждается наличием следующих существующих противоречий, возникших при решении задач, связанных с исполнением задач КБ не только на уровне межведомственного (межотраслевого) взаимодействия, но и на уровне предприятий, имеющих ОПО (далее — предприятия). С одной стороны, КБ рассматривается как установленный приоритет для государства, для ее поддержания на требуемом уровне выделяется существенный объем ресурса. С другой стороны, на предприятиях возникают опасности техногенного характера, в том числе из-за существующих проблем, а именно:

- реализация задач КБ на предприятиях через исполнение требований, разработанных и утвержденных для ведомственных (отраслевых) направлений, что говорит о возможных пробелах в комплексности (взаимосвязанности) из-за отсутствия единого координационного органа управления КБ. Данное обстоятельство создает предпосылки к возникновению новых опасностей;
- отсутствие единого координационного органа управления КБ и низкий уровень межведомственного (межотраслевого) взаимодействия позволяют говорить не только о пробелах, но и о возможном дублировании мероприятий, реализуемых в ведомственных (отраслевых) направлениях, что требует дополнительного выделения ресурса;
- отсутствие единого централизованного подхода в управлении КБ предполагает различные подходы в ведомственных (отраслевых) направлениях по формированию статистики реализованных опасностей за определенный период (как правило, год), что говорит о возможных пробелах в определении причинно-следственной связи тех опасностей, которые в виде вторичных воздействующих факторов наносят ущерб другим ведомственным (отраслевым) взаимодействующим направлениям. Такие опасности, как правило, квалифицируются как чрезвычайные ситуации (ЧС), и они наносят максимальный ущерб;
- отсутствие методических рекомендаций по проверке и оценке состояния КБ для предприятий, что позволяет говорить о возможном нерациональном распределении ресурса, выделяемого для обеспечения ведомственных (отраслевых) направлений, входящих в КБ предприятия.

Научная проработка и решение представленных выше проблем позволит минимизировать условия возникновения опасностей, перевести систему управления КБ предприятий на новый качественный уровень.

Устойчивое функционирование КБ предприятий во многом зависит от его обеспеченности ресурсом (*финансовые и материальные средства, трудовой вклад персонала для выполнения задач и др.*), который, как правило, имеет ограниченный предел возможностей в удовлетворении полного объема запросов от руководителей служб (отделов) — кураторов ведомственных (отраслевых) направлений, входящих в КБ. Отсюда возникает необходимость в научной проработке для оценки состояния КБ предприятий, что в условиях ограничений позволит скорректировать процесс по его определению, начиная в первую очередь с тех мест (точек), которые имеют высокий рисковый показатель уязвимости [4].

⁴ГОСТ Р 53195.1–2008. Безопасность функциональная связанных с безопасностью зданий и сооружений систем. Ч. 1. Основные положения: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 18 декабря 2008 г. № 653-ст.

В статье будет представлен не весь комплекс решаемых на предприятии задач, связанных с распределением ресурса в денежном или материальном выражении, а лишь его части, имеющей отношение к потенциалу работающего персонала, исполняющего трудовые обязанности по обеспечению функционирования ведомственных (отраслевых) направлений, входящих в КБ предприятия, где с помощью указанного потенциала появится возможность:

- провести анализ статистики возникновения опасностей в ведомственных (отраслевых) направлениях (*Ростехнадзор, МЧС России, Минтруд и др.*), построить структурную схему факторных связей источников возникновения и приемников опасностей, определить параметры восприимчивости данных направлений к воздействию опасностям, инициирования ими вторичных воздействующих факторов;
- провести оценку запаса надежного функционирования ведомственных (отраслевых) направлений, входящих в КБ предприятия, что позволит формировать ресурс для отправки в первую очередь в те места (точки), которые имеют наиболее высокие рисковые показатели.

Структурное содержание системного исследования по распределению ресурса, предназначенного для КБ предприятия, представлено на рис. 1.

Последовательное описание блок-элементов, входящих в содержание блоков (см. рис. 1), позволит развивать *методологию* как науку, изучающую закономерность возникновения и развития методов познания КБ. *Методология* как частная система знаний, возникающая на методологических стадиях познания, является учением о методах и теориях, возникающих на соответствующих ступенях познания. К части наиболее важных точек приложения к методологии КБ предприятия как науки, относятся объект и предмет исследования, постановка научной проблемы и др. [5], что будет представлено далее.

Предварительная постановка проблемы по рациональному распределению ресурса в комплексной безопасности предприятия

Ресурсы предприятия — это его богатый внутренний потенциал, который нацелен на устойчивое функционирование производственного процесса. Грамотное управление ресурсами является не толь-

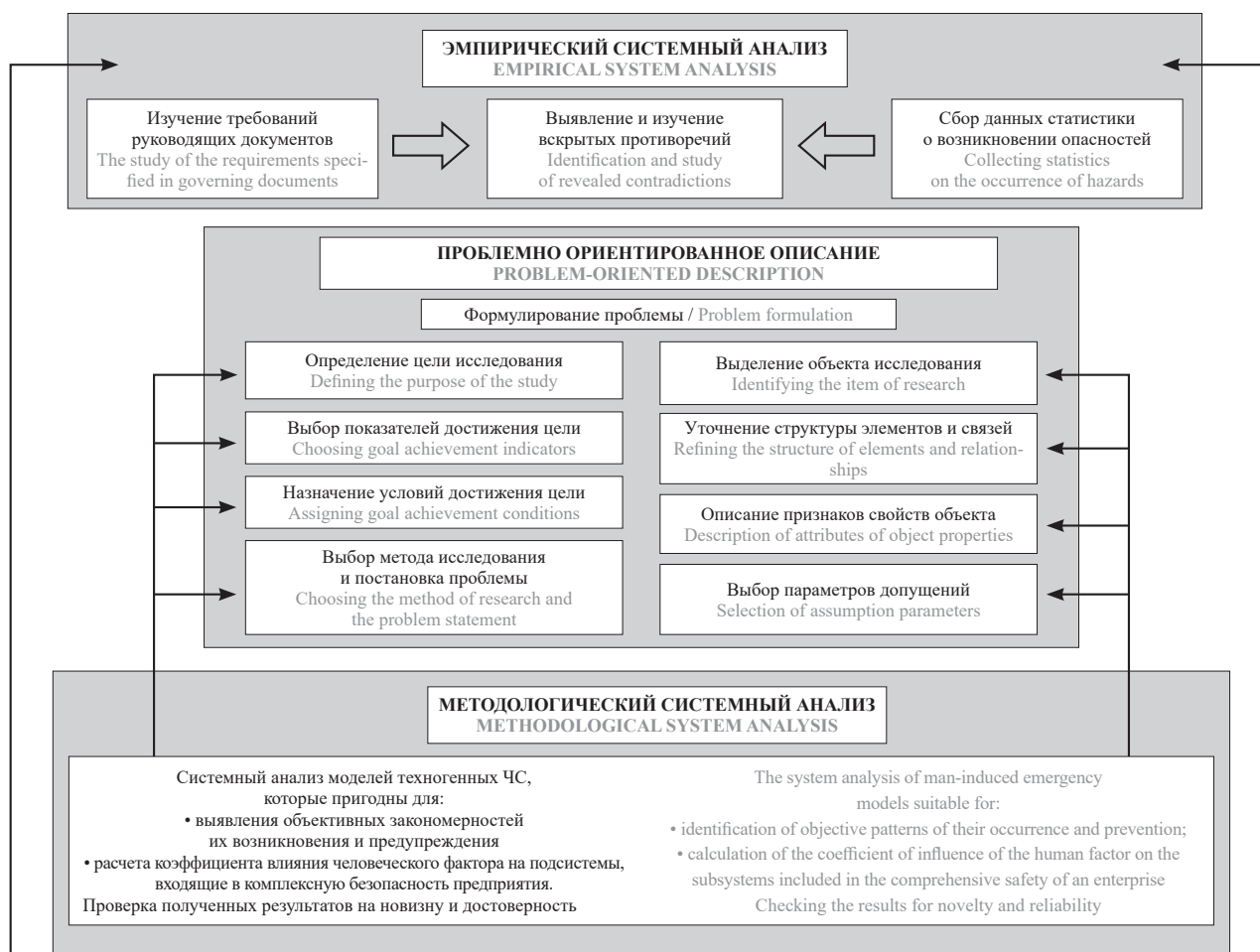


Рис. 1. Структурное содержание процесса распределения ресурса, предназначенного для КБ предприятия

Fig. 1. The structural content of the resource allocation process, given that the resource is designated for the design bureau of an enterprise

ко основой нормального функционирования предприятия, но и его конкурентным преимуществом, когда речь идет о выборе единственного из множества сравниваемых предприятий.

Как было отмечено ранее, в статье основное внимание обращено к потенциалу работающего персонала, исполняющего трудовые обязанности по обеспечению функционирования ведомственных (отраслевых) направлений, входящих в КБ предприятия. Рассматриваемый трудовой потенциал, участвующий в обеспечении КБ, оказывает влияющее воздействие на работу ее ведомственных (отраслевых) направлений. Созданные на предприятии службы (структурные подразделения) по обеспечению ведомственных (отраслевых) направлений, входящих в КБ предприятия, являются проводниками в исполнении утвержденных требований, а для обеспечения устойчивого функционирования КБ предприятия они нуждаются в качественном организационном взаимодействии между собой. Причем это относится не только к периоду возникновения ЧС, но и к повседневным условиям функционирования предприятия [6].

Проведенный анализ факторов, влияющих на выбор рационального распределения трудовых ресурсов для обеспечения КБ предприятия, позволил провести их систематизацию и объединить в следующие группы:

- I группа факторов — определяет величину и структуру всех недоработок служб (структурных подразделений), которые привели к возникновению отказов (инцидентов) в управлении КБ предприятия, были зафиксированы в статистических отчетах как реализованные опасности, наносящие повреждение (ущерб) техногенному пространству;
- II группа факторов — характеризует особенности причинно-следственной связи для тех опасностей, которые в виде вторичных воздействующих факторов наносили ущерб другим ведомственным (отраслевым) взаимодействующим направлениям;
- III группа факторов — определяет рациональный вариант распределения общего ресурса предприятия, выделяемого для обеспечения его КБ, содержание которого включает в себя доли или обоснованные объемы частичных вложений в обеспечиваемые ведомственные (отраслевые) направления.

Анализ исследований, связанных с возникновением опасностей на предприятиях из-за влияния работающего персонала служб (структурных подразделений) на обеспечиваемые ими подсистемы безопасности, входящие в КБ предприятия, позволяет проинформировать сообщество читателей о том,

что в данном направлении уже проведены серьезные исследования. Результаты данных исследований позволили сформировать укрупненные группы в виде следующих направлений:

1. Исследования операторной деятельности персонала предприятия с точки зрения его взаимодействия с процессом производства через различные автоматизированные технические системы [7, 8];
2. Исследования функциональных и физиологических возможностей специалиста (работающего персонала) при штатных и аварийных ситуациях [9, 10];
3. Исследования требуемой штатной численности и уровня подготовки специалиста (работающего персонала), оценки его готовности к выполнению трудовых функций [11, 12];
4. Исследования организации рабочего места специалиста (работающего персонала), т.е. формирование комфортного эргатического пространства [13, 14].
5. Исследования полноты и соответствия набора принятых к исполнению требований для безопасного функционирования ведомственных (отраслевых) направлений, входящих в КБ предприятия [15 16].

Отличие настоящей работы от представленных укрупненных исследовательских направлений заключается в том, что в данной работе впервые будет рассматриваться новое направление, связанное с влиянием персонала служб (структурных подразделений) на ведомственные (отраслевые) направления, входящие в КБ предприятия.

Основная цель работы — методологическое описание проблемы по рациональному распределению ресурса, предназначенного для обеспечения устойчивого функционирования КБ предприятия.

Объект исследования — КБ предприятия, подержание которой обеспечивается работающим персоналом (специалистами соответствующих служб, структурных подразделений).

Предмет исследования — обеспеченность ресурсом ведомственных (отраслевых) направлений, входящих в КБ предприятия, состояние устойчивости функционирования которых зависит от влияния работающего персонала (специалистов соответствующих служб, структурных подразделений).

Ниже представлены перечень исходных данных, целевая функция, теоретическое описание зависимостей между устойчивостью функционирования КБ предприятия и достаточностью ресурсного обеспечения ведомственных (отраслевых) направлений, входящих в КБ предприятия.

Исходными данными для постановки проблемы являются:

- $P = (P_1, P_2, \dots, P_n)$ — показатель устойчивости функционирования ведомственных (отраслевых) направлений, входящих в КБ предприятия;
- $N = (N_1, N_2, \dots, N_n)$ — перечень ведомственных (отраслевых) направлений, входящих в КБ предприятия;
- $\mathcal{C} = (\mathcal{C}_1, \mathcal{C}_2, \dots, \mathcal{C}_n)$ — численность специалистов служб (структурных подразделений), влияющих на ведомственные (отраслевые) направления, входящие в КБ предприятия;
- $\mathcal{Z} = (\mathcal{Z}_1, \mathcal{Z}_2, \dots, \mathcal{Z}_n)$ — множество задач, возложенных на специалистов служб (структурных подразделений), влияющих на ведомственные (отраслевые) направления, входящие в КБ предприятия;
- $U = (U_1, U_2, \dots, U_n)$ — показатели реализованных опасностей, взятых из статистики, сформированной в отраслевых подсистемах (пожарной и промышленной безопасности, охраны труда);
- $S = (S_1, S_2, \dots, S_n)$ — весовой коэффициент влияния служб (структурных подразделений) на ведомственные (отраслевые) направления, входящие в КБ предприятия;
- $S = (x_{N(1-n)}, y_{N(1-n)})$, где $x_{N(1-n)}$ — переменная, представляющая собой коэффициент воздействия специалиста на обеспечиваемую им подсистему безопасности;
- $y_{N(1-n)}$ — переменная, представляющая собой коэффициент причинно-следственной связи возникновения опасностей;
- t — рассматриваемый период времени (год).

Для заданных исходных данных необходимо определить такой вариант влияния служб (структурных подразделений) на подсистемы безопасности S^* , чтобы суммарный показатель устойчивого функционирования ведомственных (отраслевых) направлений, входящих в КБ предприятия, был максимальным:

$$P(S^*) = f(t(U/N), S(t(\mathcal{C} \cdot \mathcal{Z}/N)) \rightarrow \max. \quad (1)$$

Рассмотрим устойчивость КБ предприятия, состоящую из N ведомственных (отраслевых) направлений, входящих в КБ предприятия, которая будет представлена в виде показателя P_n , где $n = 1, 2, \dots, N$. Повышение устойчивости функционирования КБ предприятия потребует эффективного адресного вложения ресурса в те ведомственные (отраслевые) направления, которые имеют наиболее высокий рискованный показатель. Обозначим их через S_n [17].

Изменение устойчивости показателя P_n в зависимости от величины адресного вложения в ведомственное (отраслевое) направление, входящее в КБ предприятия, может быть описано законом:

$$P_n = \varphi_n(S_n) = P_n^* - (P_n^* - P_n^{(0)})e^{-\lambda_n S_n}, \quad (2)$$

где $P_n^{(0)}$ — показатель устойчивости КБ предприятия при отсутствии ресурсного обеспечения ($S_n = 0$);

P_n^* — показатель устойчивости КБ предприятия, требующей ресурсного обеспечения, достаточного для ее поддержания на требуемом уровне; φ_n — коэффициент величины ресурсного обеспечивающего вложения в ведомственное (отраслевое) направление, входящее в КБ предприятия; λ_n — параметр, регулирующий скорость прироста устойчивости КБ предприятия, который при вкладе малого ресурса записывается в виде следующего соотношения $\lambda_n = P_n'(0)/(P_n^* - P_n^{(0)})$.

Для определения зависимости между показателем устойчивости КБ предприятия и вклада ресурсного обеспечения в те места (точки) ведомственных (отраслевых) направлений, входящих в КБ предприятия, которые наиболее подвержены риску, введем величину $\varepsilon_n = \varepsilon_n(S_n)$ — коэффициент эффективности частных ресурсных обеспечивающих вложений в n -ю подсистему, входящую в КБ предприятия, в виде производной устойчивости функционирования КБ

$$\varepsilon_n = \frac{d\varphi_n}{dS_n} = \lambda_n (P_n^* - P_n^{(0)})e^{-\lambda_n S_n}.$$

Приращение показателя устойчивости ΔP_n будет напрямую зависеть от приращения вклада ΔS_n по формуле $\Delta P_n \approx \varepsilon_n \Delta S_n$.

Показатель устойчивости функционирования КБ предприятия P будет рассматриваться в виде функции устойчивости ведомственных (отраслевых) направлений, входящих в ее содержание:

$$P = f(P_1, P_2, \dots, P_N). \quad (3)$$

Область определения данной функции f в формуле (3) может быть рассмотрена в виде физического объекта — цилиндра, вдоль боковой поверхности которого равномерно свешены веса (грузы), прилегающие к ней в различных точках N -измерений, при допущении $0 \leq P_n \leq 1$, $n = 1, 2, \dots, N$ в области ограничений отрезка $[0; 1]$. Предположим, что рассматриваемая функция является дифференцируемой, монотонно возрастающей линейной функцией по каждому своему аргументу. Величина $\xi_n = \xi_n(P_1, P_2, \dots, P_N)$ будет рассматриваться в виде ресурсных обеспечивающих вложений в n -ю подсистему, входящую в КБ предприятия.

Дифференциал устойчивости функционирования КБ предприятия, рассчитываемого через ресурсные обеспечивающие вложения и дифференциалы устойчивости ведомственных (отраслевых) направлений, входящих в КБ предприятия, может быть записан в виде:

$$dP = \sum_{n=1}^N \frac{df}{dP_n} dP_n = \sum_{n=1}^N \xi_n dP_n.$$

Вывод: представленная расчетная формула позволяет определить рациональный вариант ресурсного обеспечивающего вложения в прирост устойчивого функционирования ведомственных (отраслевых) направлений, входящих в КБ предприятия, $\Delta P_n \approx df$ с учетом одинаковых приращений надежности ее элементов $\Delta P_n = dP_n$. При проведении расчетов с учетом представленных соотношений будет определен тот элемент ресурсного обеспечивающего вложения, у которого значимость будет наибольшей.

С учетом представленных зависимостей для каждого ведомственного (отраслевого) направления, входящего в КБ предприятия, показатель устойчивости функционирования КБ предприятия будет записан в виде:

$$P = f(\varphi_1(S_1), \varphi_2(S_2), \dots, \varphi_N(S_N)) = F(S_1, S_2, \dots, S_N). \quad (4)$$

Дифференциал устойчивого функционирования КБ предприятия запишем в виде выражения

$$dP = \sum_{n=1}^N \frac{\partial F}{\partial S_n} dS_n = \sum_{n=1}^N E_n dS_n, \quad (5)$$

где введем величину E_n — экономическая значимость n -го элемента, $E_n = \partial F / \partial S_n$.

Используя формулу дифференцирования сложной функции нескольких переменных, получим для значимости n -го элемента выражение

$$E_n = \frac{\partial f}{\partial P_n} \frac{d\varphi}{dS_n} = \xi_n \varepsilon_n. \quad (6)$$

Таким образом, экономическая значимость n -го элемента E_n численно равна произведению функциональной значимости элемента ведомственного (отраслевого) направления, входящего в КБ предприятия, на коэффициент ресурсного обеспечивающего вложения в этот элемент [18–20].

Постановка проблемы по рациональному распределению ресурса предприятия, направляемого на снижение воздействующих опасностей

Пусть для снижения воздействующих опасностей, повышения надежности функционирования КБ предприятия существует ограниченный ресурс, равный общему показателю S , включающему в свое содержание частичные адресные ресурсные вложения S_n в ведомственные (отраслевые) направления,

входящие в КБ предприятия. Запишем выражение в виде:

$$S = \sum_{n=1}^N S_n.$$

Решается следующая задача: как общий ресурс S , выделяемый для устойчивого функционирования КБ предприятия распределить таким образом по элементам ведомственных (отраслевых) направлений, входящих в ее содержание, чтобы получить наибольший прирост устойчивости КБ предприятия в рамках ограничений

$$\sum_{n=1}^N S_n < S,$$

с учетом монотонного возрастания функции F . Увеличивая значение любой из переменных так, чтобы неравенство перешло в равенство, можно увеличить итоговое значение P — устойчивость КБ предприятия. Следовательно, для получения наилучшего показателя P нужно произвести распределение ресурса по элементам (местам, точкам) ведомственных (отраслевых) направлений, входящих в КБ предприятия, от самого высокого рискованного показателя к самому низкому.

Имеем математическую задачу по нахождению наибольшего значения функции:

$$P = F(S_1, S_2, \dots, S_N), \quad (7)$$

при следующих ограничениях, налагаемых на ее переменные:

$$S_1 + S_2 + \dots + S_N = S, \quad (8)$$

с соблюдением условий ограничений на ее переменные:

$$S_1 \geq S_2 \geq 0 \dots S_N \geq 0, \quad (9)$$

О рациональном распределении ресурса, выделяемого предприятием для обеспечения КБ с учетом ограничений. В пространстве N измерений параметров $S_1, S_2, \dots, S_N$ ограничения (8) и (9) рассматриваются как равномерно свешиваемые от центральной точки $M(S_1, S_2, \dots, S_N)$ веса (грузы), относящиеся к параметрам $S_1, S_2, \dots, S_N$, которые прилегают к боковой поверхности физического объекта — цилиндра (рис. 2).

Наибольшее значение функции F в силу ее монотонности находится на поверхности свешенных вниз линий, поддерживающих веса (грузы). Наибольшее значение функции F может находиться в вершине цилиндра M_k , в которой все координаты, кроме одной k -й, равны нулю, а нулевая координата $S_k = S$. В этой

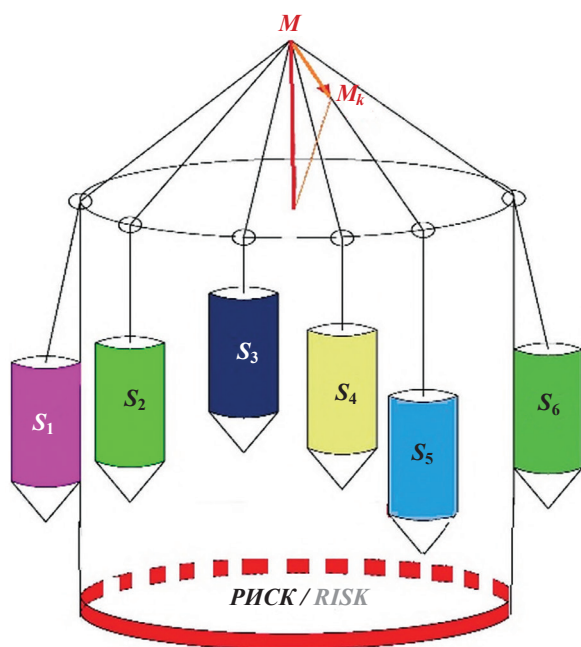


Рис. 2. Физический смысл представления состояния устойчивости функционирования ведомственных (отраслевых) направлений ($S_1, S_2, \dots, S_N$), входящих в КБ предприятия

Fig. 2. The physical sense of the representation of the state of stability of the functioning of industry-specific (sectoral) functions ($S_1, S_2, \dots, S_N$) of the enterprise's design bureau

точке выполняется равенство $dP = E_k \Delta S$, где E_k — это значимость вклада в k -й элемент, рассчитываемая для точки с вершиной, отложенной от поверхности цилиндра M_k . Наибольшее значение функции F имеет вектор напряженности в сторону той свешенной вниз линии, вес (груз) которой имеет наименьшее расстояние от линии риска.

Для нахождения точки, в которой достигается наибольшее значение функции F из (4), воспользуемся методом множителей Лагранжа и сведем задачу нахождения условного экстремума для функции F к задаче нахождения безусловного экстремума для функции Лагранжа [17, 21, 22]:

$$L(S_1, S_2, \dots, S_N, \Lambda) = F(S_1, S_2, \dots, S_N) + \Lambda \left(S - \sum_{n=1}^N S_n \right), \quad (10)$$

где Λ — множитель Лагранжа.

Необходимое условие экстремума для функции Лагранжа имеет вид:

$$\begin{cases} \frac{\partial L}{\partial S_n} = \frac{\partial F}{\partial S_n}(S_1, S_2, \dots, S_N) - \Lambda = E_n - \Lambda = 0 \\ \frac{\partial L}{\partial S_n} = S - \sum_{n=1}^N S_n. \end{cases} \quad (n=1, 2, \dots, N); \quad (11)$$

Пусть функция Лагранжа L имеет экстремум в точке $M(S_1, S_2, \dots, S_N)$. Тогда из первых соотношений в необходимом условии экстремума (11) по-

лучим тот рассчитываемый показатель, с помощью которого значимость всех элементов в точке экстремума есть константа

$$E_N = (\tilde{P}_1, \tilde{P}_2, \dots, \tilde{P}_N) = \tilde{\Lambda}, \quad (12)$$

где $\tilde{P}_N = \varphi(\tilde{S}_N)$.

Из соотношения (11) следует, что скорость изменения устойчивости функционирования элемента в составе ведомственного (отраслевого) направления, входящего в КБ предприятия, обратно пропорциональна его значимости $\varphi'_n(\tilde{S}_n) = \tilde{\Lambda} / \xi_n(\tilde{P}_1, \tilde{P}_2, \dots, \tilde{P}_N)$, т.е. чем больше значимость элемента, тем меньше скорость изменения устойчивости. Из свойств функции $\varphi'_n(\tilde{S}_n)$ следует, что скорость изменения устойчивости убывает прямо пропорционально потребности вкладов в элементы ведомственных (отраслевых) направлений ($S_1, S_2, \dots, S_N$), входящих в КБ предприятия.

Вывод: чем больше значимость элемента с точки зрения безопасности, тем больше вложений в этот элемент требуется для достижения оптимума вложений.

В случае, если для некоторого значения n равенство $E_n = \Lambda$ невозможно, следует считать, что $S_n = 0$. В этом случае в системе уравнений (11) следует отказаться от использования уравнения $\partial L / \partial S_n$, что указывает на отсутствие необходимости вкладывать ресурс в n -й элемент ведомственных (отраслевых) направлений. Если таких элементов в КБ предприятия будет несколько, то количество уравнений, представленных системой уравнений (11), в расчете на количество этих элементов уменьшится.

Отметим смысл множителя Лагранжа Λ , вкладываемого в виде ресурса в элементы ведомственных (отраслевых) направлений, входящих в КБ предприятия, представленного формулой (10). Увеличим вклад в элементы подсистем, входящих в КБ предприятия, S на dS . Тогда экстремальная точка из точки $M(S_1, S_2, \dots, S_N)$ переместится в точку $M'(S_1 + dS_1, S_2 + dS_2, \dots, S_N + dS_N)$. В силу выполнения ограничения (5) выполняется следующее соотношение:

$$dS = \sum_{n=1}^N E_n. \quad (13)$$

Из выражения (10) для дифференциала устойчивости функционирования КБ предприятия получим

$$dP = \sum_{n=1}^N E_n dS_n = \Lambda \sum_{n=1}^N dS_n = \Lambda dS. \quad (14)$$

Здесь при выполнении преобразования учтены соотношения (13) и (14), которые получены для экстремальной точки.

Из полученного в формуле (14) соотношения следует, что $dP = \Lambda dS$, это подтверждает смысл

в использовании множителя Лагранжа, который является коэффициентом пропорциональности между приращением ресурсного вклада в элементы ведомственных (отраслевых) направлений ($S_1, S_2, \dots, S_N$) и приращением в целом устойчивости КБ предприятия dP . Будем называть величину Λ коэффициентом эффективности вклада ресурса в устойчивость КБ предприятия [22].

Вывод: если считать устойчивость функционирования предприятия P_n одним из важнейших показателей безопасности системы, то с ее помощью могут быть определены риски в КБ предприятия в виде:

$$R_{KB} = 1 - P_n \quad (15)$$

Рассматриваемый метод множителей Лагранжа является классическим методом для решения задач математического программирования (в частности, выпуклого) и будет в дальнейшем использоваться не обособленно, а в виде аппарата, взаимодействующего с другими современными численными методами, которые широко применяются на практике.

Сформулированная общая научная проблема предполагает в дальнейшем решить следующие частные задачи, имеющие отношение к переменным, представленным в целевой функции:

- определение переменной $x_{N(1-n)}$ представляющей собой коэффициент влияния специалистов служб (структурных подразделений) на обеспечиваемые ими ведомственные (отраслевые) направления, входящие в КБ предприятия;
- определение переменной $y_{N(1-n)}$ представляющей собой коэффициент причинно-следственной связи опасности, реализация которой зависит от влияния специалистов служб (структурных подразделений) на обеспечиваемые ими ведомственные (отраслевые) направления, входящие в КБ предприятия;
- определение требуемой штатной структуры и численности специалистов служб (структурных подразделений), которые обеспечивают поддержание на требуемом уровне ведомственных (отраслевых) направлений, входящих в КБ предприятия.

Пример с описанием параметризации локальных точек ресурсной обеспеченности подсистем, входящих в систему комплексной безопасности предприятия

Для решения оптимизационной задачи, связанной с распределением ресурса в КБ предприятия, возникла необходимость в нахождении экстремума функции $f(x, y)$, подчиняющегося ограничению $g(x, y) = k$

Точка максимума $g(x, y) = k$

The maximum point $g(x, y) = k$

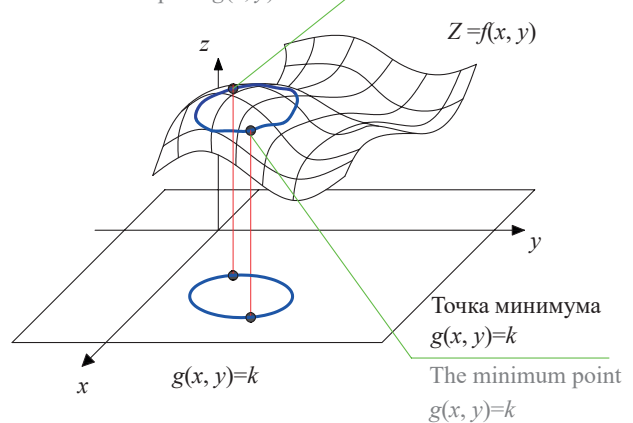


Рис. 3. Физический смысл представления экстремума локальных точек

Fig. 3. The physical sense of the representation of the extremum of local points

Предположим, что ограничение $g(x, y) = k$ является гладкой замкнутой кривой, параметризованной показателями значений $r(t) = \langle x(t), y(t) \rangle$ на окрестности $[a, b]$. Также предположим, что функция $f(x, y)$ различима в каждой точке ограничения. Тогда нахождение точек экстремума $f(x, y)$ при условии $g(x, y) = k$ эквивалентно нахождению абсолютного экстремума функции $Z(t) = f(x(t), y(t))$ для t на окрестности $[a, b]$ (рис. 3) [23].

На первом этапе проведения вычислений было установлено следующее утверждение для экстремума $Z(t)$ на окрестности $[a, b]$, показатели которого могут быть найдены либо в критических точках, либо в конечных точках окрестности $[a, b]$. Поскольку кривая является замкнутой, то возникла необходимость в рассмотрении параметров критических точек $Z(t)$ на окрестности $[a, b]$ на основе следующего решения:

$$\frac{dZ}{dt} = \nabla f v = 0,$$

где v — скорость изменения показателей значений $r(t)$.

Тогда критические точки $Z(t)$ на окрестности $[a, b]$ будут рассматриваться в виде $\nabla f \perp v$, так же как и для $\Delta g \perp v$. Из чего следует, что экстремум $f(x, y)$ зависит от $g(x, y) = k$, когда Δf параллельна Δg , при таком условии существует число, для которого

$$\nabla f = \lambda \Delta g.$$

Таким образом экстремум $f(x, y)$, зависящий от $g(x, y) = k$, будет возникать в точках, рассчитываемых на основе использования системы уравнений:

$$\begin{cases} \langle f_x, f_y \rangle = \lambda \langle g_x, g_y \rangle; \\ g(x, y) = k. \end{cases} \quad (16)$$

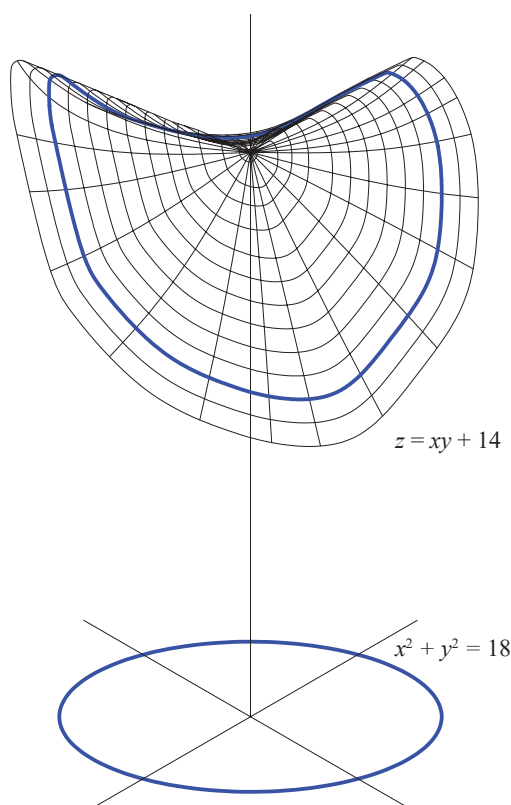


Рис. 4. Макет поверхности для нахождения точек (локальных точек максимума и минимума)

Fig. 4. The surface model used to locate the points (local maximum and minimum points)

Представленное выражение (16) считается задачей по нахождению множителей Лагранжа.

Решение задачи, связанной с нахождением множителей Лагранжа, заключается в том, что при использовании уравнений $f_x = \lambda g_x$ и $f_y = \lambda g_y$ необходимо избавиться от показателя λ . Далее задача решается с использованием показателей x и y , объединяя полученные результаты с представленным формулой (16) и ограничением $g(x, y) = k$. Таким образом будут получены критические точки.

Вывод: поскольку ограничение $g(x, y) = k$ представляет собой гладкую замкнутую кривую, точки экстремума $f(x, y)$ по отношению к $g(x, y) = k$ являются наибольшими и наименьшими значениями точек экстремума $f(x, y)$, оцениваемых в критических точках максимума и минимума.

Рассмотрим пример № 1. Найти экстремум точек $f(x, y) = xy + 14$ с учетом

$$x^2 + y^2 = 18.$$

Необходимо найти показатели самых высоких и самых низких точек (локальных точек максимума и минимума) на поверхности $Z = xy + 14$, находящейся на окружности (рис. 4).

Решение. Если рассматривать соотношение $g(x, y) = x^2 + y^2$, тогда ограничение $g(x, y) = 18$, соответственно градиенты f и g будут сонаправлены:

$$\nabla f = \langle y, x \rangle \text{ и } \Delta g = \langle 2x, 2y \rangle.$$

В результате $\nabla f = \lambda \Delta g$, что означает

$$y = \lambda 2x \text{ и } x = \lambda 2y.$$

При рассмотрении соотношения установлен факт того, что $x = 0$ только в том случае, если $y = 0$, но $(0; 0)$ не находится в составе точек синей окружности.

Таким образом при $x \neq 0$ и $y \neq 0$ решение найдем с применением показателя λ , где

$$\lambda = \frac{y}{2x} \text{ и } \lambda = \frac{x}{2y} \Rightarrow \frac{y}{2x} = \frac{x}{2y}.$$

В таком случае при перекрестном умножении показателей левой и правой части уравнения запишем следующее выражение: $2y^2 = 2x^2$ или $x^2 = y^2$. Таким образом, ограничение $x^2 + y^2 = 18$ будет записано в виде:

$$x^2 + x^2 = 18, x^2 = 9, x = \pm 3.$$

Более того, $y^2 + x^2$ подразумевает, что $y = x$, или $y = -x$, отсюда показателями решения станут следующие числовые соотношения:

$$(3; 3) \quad (-3; 3), (3; -3), (-3; -3).$$

$$\text{Однако } f(3; 3) = f(-3; -3) = 23,$$

$$\text{а } f(-3; 3) = f(3; -3) = 5.$$

Следовательно, максимум в плоскости, расположенной над замкнутой окружностью, будет находиться в точках с координатами $(3; 3); (-3; -3)$, тогда как минимум $f(x, y) = xy + 4$ будет находиться в точках с координатами $(-3; 3); (3; -3)$ (рис. 5).

При рассмотрении воздействия человеческого фактора в виде персонала, оказывающего управленческое воздействие на подсистемы безопасности предприятия (промышленной и пожарной безопасности, охраны труда и т.д.), нахождение дифференцируемой функции $f(x, y)$, подчиняющейся ограничению $g(x, y) = k$, определяется в виде L — используемого ранее термина «лагранжиан», который является функцией трех переменных.

Это происходит потому, что критические точки $L(x, y, \lambda)$ возникают, когда

$$\frac{\partial L}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial L}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial L}{\partial \lambda} = 0,$$

тогда $L_x = f_x - \lambda g_x$, $L_y = f_y - \lambda g_y$, и $L_\lambda = g(x, y) - k$. То есть критические точки, которые имеют отношение к показателю веса (коэффициента трудового вклада) воздействия персонала на обеспечиваемые

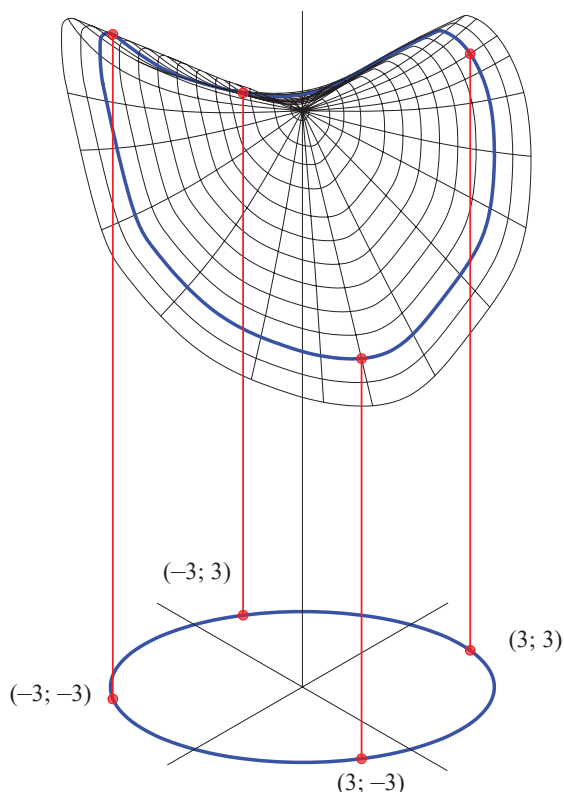


Рис. 5. Координаты точек (локальных точек максимума и минимума)

Fig. 5. Coordinates of points (local maximum and minimum points)

им подсистемы безопасности предприятия (*промышленной и пожарной безопасности, охраны труда и т.д.*), являются решениями системы уравнений:

$$\begin{cases} f_x = \lambda g_x, \\ f_y = \lambda g_y, \\ g(x, y) = k, \end{cases} \quad (17)$$

что полностью совпадает с условием, представленным в выражении (17).

Рассмотрим пример № 2 для проверки адекватности использования полученных расчетных выражений, представленных в примере № 1, если лагранжиан для получения экстремума — $f(x, y) = xy + 14$ при условии $x^2 + y^2 = 18$.

Решение. Уравнение функции лагранжиана представим в виде:

$$L(x, y, \lambda) = xy + 14 - \lambda(x^2 + y^2 - 18),$$

соответственно $L_x = y - \lambda(2x)$, $L_y = x - \lambda(2y)$ и $L_\lambda = -(x^2 + y^2 - 18)$.

Тогда критические точки функции L будут удовлетворять условию $L_x = 0$, $L_y = 0$, и $L_\lambda = 0$, что позволит записать следующие выражения: $y = \lambda 2x$ и $x = \lambda 2y$ вместе с выражением $x^2 + y^2 = 18$. Опи-

сание остальной части решения подобно решению, представленному в примере № 1.

Выводы

Выявлены существующие противоречия, возникающие в ведомственных (отраслевых) направлениях, входящих в КБ предприятия, представлены актуальность и новизна в проведении исследований, когда ресурс предприятия, выделяемый для его устойчивого функционирования, рассматривается в виде фактора влияния специалистов служб (структурных подразделений) на КБ предприятия. Дана схема, отображающая структурное содержание системного исследования по ресурсному обеспечению КБ.

Сформулировано понятие «комплексная безопасность», определены главная цель, объект и предмет исследования. Представлены три укрупненные группы факторов, влияющих на выбор рационального распределения трудовых ресурсов для обеспечения КБ предприятия. Показаны результаты проведенных исследований, связанных с возникновением опасностей на предприятиях из-за влияния работающего персонала служб (структурных подразделений) на обеспечивающие ими подсистемы безопасности, входящие в КБ предприятия, которые сформированы в укрупненные группы в виде пяти исследовательских направлений.

Представлено обоснование по выбору метода множителей Лагранжа, на основе применения которого сформирована постановка проблемы по рациональному распределению ресурса предприятия, предназначенного для поддержания устойчивого функционирования ведомственных (отраслевых) направлений, входящих в КБ предприятия. Сделаны выводы о том, что представленный в статье метод будет использоваться не обособленно, а в виде аппарата, взаимодействующего с другими современными численными методами для решения частных задач.

Представлен пример с описанием последовательного нахождения критических точек, которые имеют отношение к показателям веса (коэффициента) влияния персонала на обеспечиваемые им ведомственные (отраслевые) направления, входящие в КБ предприятия.

Научную основу дальнейшей работы будет представлять подробное исследование и теоретическое описание работы служб (структурных подразделений), от влияния которых на ведомственные (отраслевые) направления, входящие в КБ предприятия, будет зависеть показатель устойчивости функционирования предприятия.

В итоге решение задач, входящих в содержание методологически описанной проблемы, даст

возможность разработать методологию синтеза комплексной безопасности, способной адаптироваться к различным условиям функционирования предприятия (режимы повседневной деятельности, угрозы и возникновения ЧС), что имеет важное хозяйственное для России значение [24, 25].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гвоздев Е.В., Матвиенко Ю.Г. Комплексная оценка риска на предприятиях жизнеобеспечения, имеющих опасные производственные объекты // Безопасность труда в промышленности. 2019. № 10. С. 69–78. DOI: 10.24000/0409-2961-2019-10-69-78
2. Гвоздев Е.В., Сулима Т.Г. Оценка риска возникновения опасностей в техносфере, на примере предприятия по жизнеобеспечению населения региона // Технологии гражданской безопасности. 2019. Т. 16. № 4 (62). С. 50–56. URL: https://www.vniigochs.ru/storage/photos/4/TGB_articles/2019/N4_2019/Assessing%20the%20Risk%20of%20Hazards%20in%20the%20Technosphere_tgb_4_2019_p8.pdf
3. Райзберг Б.А., Лозовский Л.Ш., Стародубцева Е.Б. Современный экономический словарь. 6-е изд., перераб. и доп. М. : ИНФРА-М, 2011. 512 с.
4. Гвоздев Е.В., Матвиенко Ю.Г. К обеспечению комплексной безопасности предприятий, имеющих опасные производственные объекты // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2020. № 2. С. 72–81. DOI: 10.36535/0869-4176-2020-02-9
5. Долгов А.И. Подготовка и экспертиза диссертаций : монография. Ростов : МО РФ, 1993. 216 с.
6. Гвоздев Е.В., Грибанова Е.Б., Матвиенко Ю.Г. Методология анализа показателей влияния человеческого фактора на комплексную безопасность электроэнергетических предприятий // Безопасность труда в промышленности. 2020. № 12. С. 38–43. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-12-38-43
7. Махутов Н.А., Матвиенко Ю.Г., Романов А.Н. Проблемы прочности, техногенной безопасности и конструкционного материаловедения : монография. М. : URSS, 2018. 720 с.
8. Gorecky D., Schmitt M., Loskyll M., Zühlke D. Human-machine-interaction in the industry 4.0 era // 2014 12th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN). IEEE, 2014. DOI: 10.1109/INDIN.2014.6945523
9. Болгов С.В. Автоматизированное проектирование строений с заданным уровнем безопасности функционирования на этапе эксплуатации : дис. ... канд. техн. наук. М., 2005. 141 с.
10. Trueba-Alonso P., Corrales-Quirós C., Méndez-Salguero J., Rejas-López L. Evolution of plant operation in main control rooms of nuclear power plants as a consequence of modernization programs // 11th Nuclear Plant Instrumentation, Control, and Human-Machine Interface Technologies, NPIC and HMIT 2019. 2019.
11. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Техногенная, технологическая и техносферная безопасность / под ред. Н.А. Махутова. М. : Знание, 2018. 1016 с.
12. McDermott P.L., Ries A.J., Plott B., Touryan J., Barnes M., Schweitzer K. A cognitive systems engineering evaluation of a tool to aid imagery analysts // Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting. 2015. Vol. 59. No. 1. Pp. 274–278. DOI: 10.1177/1541931215591056
13. Махутов Н.А., Гаденин М.М., Буйновский С.Н., Гражданкин А.И. Научные основы промышленной безопасности в многотомном издании «Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты» // Безопасность труда в промышленности. 2020. № 4. С. 17–26. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-4-17-26
14. Donham K.J., Thelin A., Donham K.J., Thelin A. General environmental hazards in agriculture communities. Agricultural Medicine. 2016. Pp. 251–291. DOI: 10.1002/9781118647356.ch7
15. Щербина В.И., Любимов М.М. Концепция системы национальных стандартов по системам безопасности зданий и сооружений // Безопасность в строительстве. 2008. № 1. С. 16–24.
16. Stock T., Obenaus M., Kunz S., Kohl H. Industry 4.0 as enabler for a sustainable development: A qualitative assessment of its ecological and social potential // Process Safety and Environmental Protection. 2018. Vol. 118. Pp. 254–267. DOI: 10.1016/j.psep.2018.06.026
17. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Фундаментальные и прикладные проблемы комплексной безопасности / под ред. Н.А. Махутова. М. : Знание, 2017. 992 с.
18. Блюмин С.Л., Суханов В.Ф., Чеботарев С.В. Экономический факторный анализ : монография. Липецк : ЛЭГИ, 2004. 148 с.

19. Curea Ș.C., Ciora C. The impact of human capital on economic growth // *Quality — Access to Success*. 2013.
20. Bojita A., Purcar M., Boianeanu C., Topa V. Efficient computational methodology of thermo-mechanical phenomena in the metal system of power ICs // 2019 25th International Workshop on Thermal Investigations of ICs and Systems (THERMINIC). 2019. DOI: 10.1109/THERMINIC.2019.8923502
21. Reynolds W.C., Colonna P. The method of Lagrange multipliers // *Thermodynamics*. 2019. Pp. 392–393. DOI: 10.1017/9781139050616.017
22. Upreti S.R. Lagrange multipliers. Optimal Control for Chemical Engineers. CRC Press, 2016. Pp. 87–121. DOI: 10.1201/b13045-4
23. Zhao S., Song J., Ermon S. The information autoencoding family: A lagrangian perspective on latent variable generative models // 34th Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence 2018, UAI 2018. 2018.
24. Гвоздев Е.В. Методология синтеза адаптивной системы комплексной безопасности на предприятии жизнеобеспечения населения региона // *Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety*. 2020. Т. 29. № 2. С. 6–16. DOI: 10.18322/PVB.2020.29.02.6-16
25. Гвоздев Е.В. Методология динамического факторного воздействия служб на обеспечиваемые ими подсистемы безопасности // *Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety*. Т. 29. № 4. С. 15–24. DOI: 10.18322/PVB.2020.29.04.15-31

REFERENCES

1. Gvozdev E.V., Matvienko Yu.G. Comprehensive risk assessment at the life support enterprises with hazardous production facilities. *Occupational Safety in Industry*. 2019; 10:69-78. DOI: 10.24000/0409-2961-2019-10-69-78 (rus).
2. Gvozdev E.V., Sulima T.G. Assessing the risk of hazards in the technosphere: A case study of a regional essential service provider. *Civil Security Technology*. 2019; 16:4(62):50-56. URL: https://www.vniigochs.ru/storage/photos/4/TGB_articles/2019/N4_2019/Assessing%20the%20Risk%20of%20Hazards%20in%20the%20Technosphere_tgb_4_2019_p8.pdf (rus).
3. Raizberg B.A., Lozovsky L.Sh., Starodubtseva E.B. *Modern economic dictionary*. 6th ed., revised and enlarged. Moscow, INFRA-M Publ., 2011; 512. (rus).
4. Gvozdev E.V., Matvienko Yu.G. To ensure comprehensive safety of enterprises with hazardous production facilities. *Safety and Emergencies problems*. 2020; 2:72-81. DOI: 10.36535/0869-4176-2020-02-9
5. Dolgov A.I. *Preparation and examination of dissertations : monograph*. Rostov, Ministry of Defense of the Russian Federation, 1993; 216. (rus).
6. Gvozdev E.V., Griбанова E.B., Matvienko Yu.G. Methodology for analysis of the indicators of the human factor effect on the integrated safety and security of electric power enterprises. *Occupational Safety in Industry*. 2020; 12:38-43. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-12-38-43 (rus).
7. Makhutov N.A., Matvienko Yu.G., Romanov A.N. *Problems of strength, technogenic safety and structural materials science : monograph*. Moscow, URSS, 2018; 720. (rus).
8. Gorecky D., Schmitt M., Loskyll M., Zühlke D. Human-machine-interaction in the industry 4.0 era. 2014 12th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN). IEEE, 2014. DOI: 10.1109/INDIN.2014.6945523
9. Bolgov S.V. *Synthesis of design solutions with an increased level of safety of functioning in CAD of construction objects : dissertation of the Candidate of Technical Sciences*. Moscow, 2005; 141. (rus).
10. Trueba-Alonso P., Corrales-Quirós C., Méndez-Salguero J., Rejas-López L. Evolution of plant operation in main control rooms of nuclear power plants as a consequence of modernization programs. *11th Nuclear Plant Instrumentation, Control, and Human-Machine Interface Technologies, NPIC and HMIT 2019*. 2019. DOI: 10.1177/1541931215591056
11. *Security of Russia. Legal, socio-economic, scientific and technical aspects. Technogenic, technological and technosphere safety*; N.A. Makhutova (ed.). Moscow, Znanie Publ., 2018; 1016. (rus).
12. McDermott P.L., Ries A.J., Plott B., Touryan J., Barnes M., Schweitzer K. A cognitive systems engineering evaluation of a tool to aid imagery analysts. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*. 2015; 59(1):274-278. DOI: 10.1177/1541931215591056
13. Makhutov N.A., Gadenin M.M., Buinovskiy S.N., Grazhdankin A.I. Scientific fundamentals of industrial safety in the multivolume series “Safety of Russia. Legal, Socio-Economic and Scientific-Technical Aspects”. *Occupational Safety in Industry*. 2020; 4:17-26. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-4-17-26. (rus).

14. Donham K.J., Thelin A., Donham K.J., Thelin A. General environmental hazards in agriculture communities. *Agricultural Medicine*. 2016; 251-291. DOI: 10.1002/9781118647356.ch7
15. Shcherbina V.I., Lyubimov M.M. The concept of the system of national standards for security systems of buildings and structures. *Safety in construction*. 2008; 1:16-24. (rus).
16. Stock T., Obenaus M., Kunz S., Kohl H. Industry 4.0 as enabler for a sustainable development: A qualitative assessment of its ecological and social potential. *Process Safety and Environmental Protection*. 2018; 118:254-267. DOI: 10.1016/j.psep.2018.06.026
17. Security of Russia. *Legal, socio-economic, scientific and technical aspects. Fundamental and applied problems of complex*; N.A. Makhutova (ed.). Moscow, Znanie Publ., 2017; 992. (rus).
18. Blyumin S.L., Sukhanov V.F., Chebotarev S.V. *Economic factor analysis : monograph*. Lipetsk, LEGI Publ., 2004; 148. (rus).
19. Cărea Ș.C., Ciora C. The impact of human capital on economic growth. *Quality — Access to Success*. 2013.
20. Bojita A., Purcar M., Boianceanu C., Topa V. Efficient computational methodology of thermo-mechanical phenomena in the metal system of power ICs. *2019 25th International Workshop on Thermal Investigations of ICs and Systems (THERMINIC)*. 2019. DOI: 10.1109/THERMINIC.2019.8923502
21. Reynolds W.C., Colonna P. The method of Lagrange multipliers // *Thermodynamics*. 2019; 392-393. DOI: 10.1017/9781139050616.017
22. Upreti S.R. Lagrange multipliers. *Optimal Control for Chemical Engineers*. CRC Press, 2016; 87-121. DOI: 10.1201/b13045-4
23. Zhao S., Song J., Ermon S. The information autoencoding family: A lagrangian perspective on latent variable generative models. *34th Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence 2018, UAI 2018*. 2018.
24. Gvozdev E.V. Methodology for the synthesis of an adaptive integrated security system at a regional life support enterprise. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2020; 29(2):6-16. DOI: 10.18322/PVB.2020.29.04.15-31 (rus).
25. Gvozdev E.V. Methodology of dynamic factor influence of services on security subsystems that ensure comprehensive security of enterprises. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2020; 29(4):15-31. DOI: 10.18322/PVB.2020.29.04.15-31 (rus).

Поступила 15.01.2021, после доработки 25.01.2021; принята к публикации 15.02.2021

Received January 15, 2021; Received in revised form January 25, 2021;

Accepted February 15, 2021

Информация об авторе

ГВОЗДЕВ Евгений Владимирович, канд. техн. наук, доцент кафедры автоматизации и электроснабжения, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Российская Федерация; РИНЦ ID: 296055; ORCID: 0000-0002-3679-1065; e-mail: evgvozdev@mail.ru

Information about the author

Evgeniy V. GVOZDEV, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of Department for Automation and Electric Supply, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation; ID RISC: 296055; ORCID: 0000-0002-3679-1065; e-mail: evgvozdev@mail.ru

Решение теплотехнической задачи огнестойкости центрифугированных железобетонных колонн

© И.И. Полевода, Д.С. Нехань ✉

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь» (Беларусь, 220118, г. Минск, ул. Машиностроителей, 25)

АННОТАЦИЯ

Введение. Сегодня в мировой строительной практике широкое применение нашли железобетонные колонны, изготовленные методом центрифугирования. Известные формулы расчета температур в сечении железобетонных конструкций для оценки их предела огнестойкости, успешно применяемые для однородных конструкций сплошного сечения, не корректны для центрифугированных железобетонных колонн ввиду наличия в них определенных конструктивных особенностей. Целью настоящей работы явилась разработка методики решения теплотехнической задачи для центрифугированных железобетонных колонн, а также адаптация существующих формул для их расчета.

Материалы и методы. Настоящая работа посвящена проблеме прогрева центрифугированных железобетонных колонн при пожаре. Для изучения влияния особенностей центрифугированных железобетонных колонн на их прогрев использовано компьютерное моделирование на базе платформы Ansys Workbench.

Результаты и их обсуждение. В ходе проведения теоретических исследований, основанных на результатах натурных огневых испытаний центрифугированных железобетонных колонн, проведена оценка влияния полости в колоннах, неоднородности центрифугированного бетона и тонкостенности указанных конструкций на прогрев их сечения. Для учета данных составляющих получены соответствующие поправочные коэффициенты. Для коэффициента K_{hol} , учитывающего увеличение температур в сечении полых железобетонных конструкций по сравнению со сплошными, получено уравнение регрессии на основании проведенного моделирования в разрезе полного факторного эксперимента. Коэффициент ускорения прогрева центрифугированных железобетонных конструкций за счет неоднородности бетона в поперечном сечении K_{het} является функцией толщины стенки изделия. Коэффициент K_{th} , учитывающий ускорение прогрева при раскрытии трещин в тонкостенных конструкциях, изменяется в диапазоне 1,00...1,40. При этом температура начала раскрытия трещин в бетоне составляет 550 °С.

Выводы. Разработана методика, позволяющая решить теплотехническую задачу огнестойкости центрифугированных железобетонных колонн. Произведена адаптация инженерной формулы по расчету температур в их поперечном сечении. Результаты компьютерного моделирования и расчета температур по адаптированной формуле показали приемлемую сходимость с экспериментальными данными.

Ключевые слова: предел огнестойкости; инженерная методика расчета; Ansys Workbench; компьютерное моделирование; прогрев сечения; температурный режим пожара; неоднородность бетона; полые конструкции; тонкостенность; теплообмен

Для цитирования: Полевода И.И., Нехань Д.С. Решение теплотехнической задачи огнестойкости центрифугированных железобетонных колонн // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2021. Т. 30. № 2. С. 49–70. DOI: 10.22227/PVB.2021.30.02.49-70

✉ Нехань Денис Сергеевич, e-mail: denis_nechany@mail.ru

A solution to the thermal problem of fire resistance of spun reinforced concrete columns

© Ivan I. Palevoda, Denis S. Nekhan ✉

State Educational Establishment "University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus" (Mashinostroiteley St., 25, Minsk, 220118, Belarus)

ABSTRACT

Introduction. Spun reinforced concrete columns are widely used in the present-day international construction practice. Known formulas, used to calculate temperatures of cross sections of reinforced concrete structures, needed to assess their fire resistance limit, are successfully applied to homogeneous structures that have solid sections. However, they are inapplicable to spun reinforced concrete columns due to their structural features. The purpose of this work is to develop a method for solving a thermal problem of spun reinforced concrete columns and adapt existing calculation formulas.

Materials and methods. This work addresses the heating of spun reinforced concrete structures in case of fire. Ansys Workbench was employed to perform the computer simulation needed to study the influence of the characteristics of spun reinforced concrete columns on their heating.

Results and discussion. In the course of the theoretical studies, the effect, produced by column cavities, the heterogeneity of spun concrete and thin walls of these structures on the heating of their cross sections was assessed with regard for the results of full-scale fire tests of spun reinforced concrete columns. Correction coefficients were obtained in order to take account of these factors. A regression equation was derived as a result of the simulation performed in the context of a full-scale factorial experiment involving coefficient k_{hol} , which takes into account the rising temperature of hollow reinforced concrete structures in comparison with solid ones. k_{net} heating acceleration coefficient is applicable to spun reinforced concrete structures due to the heterogeneity of concrete in the cross section. This coefficient represents a function of the wall thickness. Coefficient k_{th} , which allows for the heating acceleration in the course of crack opening in thin-walled structures, varies in the range of 1.00...1.40. The concrete cracking temperature is 550 °C.

Conclusion. A new method allows to solve the thermal problem of fire resistance of spun reinforced concrete columns. The engineering formula used to calculate the temperature in a cross-section was adapted. The results of computer-aided simulation and calculation of temperature values, performed using the adapted formula, show acceptable convergence with the experimental data.

Keywords: fire resistance limit; engineering calculation methodology; Ansys Workbench; computer-aided simulation; section heating; time-temperature curve; concrete heterogeneity; hollow constructions; thinness of walls; heat transfer

For citation: Palevoda I.I., Nekhan D.S. A solution to the thermal problem of fire resistance of spun reinforced concrete columns. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2021; 30(2):49-70. DOI: 10.22227/PVB.2021.30.02.49-70 (rus).

✉ Denis Sergeevich Nekhan, e-mail: denis_nechany@mail.ru

Введение

Центрифугирование бетона при изготовлении железобетонных изделий является высокоэффективным методом, повышающим несущую способность конструкций и обеспечивающим ряд технологических и эксплуатационных преимуществ, заключающихся в снижении расходов бетона и стали, энергоемкости конструкций, стоимости перевозок и др. Именно поэтому изготовленные данным методом железобетонные конструкции применяются для строительства одно- и многоэтажных зданий гражданского и промышленного назначения в Республике Беларусь, а также ближнем и дальнем зарубежье. При этом наибольшее распространение во внедрении получили центрифугированные железобетонные колонны¹ [1–7].

Пожар — катастрофа, преследующая человечество на протяжении его существования. На сегодняшний день наибольший вред жизни и здоровью людей, интересам общества и государства наносят пожары, происходящие в повседневной среде обитания людей, а именно в зданиях и сооружениях. В ряде случаев, когда строительные конструкции перестают выполнять свои функции при пожаре, происходят обрушения, сопровождающиеся человеческими жертвами и колоссальным материальным ущербом^{2, 3, 4}.

¹ Informationen rund um Schleuderbeton. Varinorm AG. URL: <http://schleuderbeton.de/vorteile.htm> (дата обращения: 04.01.2021).

² В результате обрушения здания в Тегеране погибли 30 пожарных. URL: <https://lenta.ru/news/2017/01/19/teheranbuilding/> (дата обращения: 04.01.2021).

³ В Екатеринбурге произошло частичное обрушение склада из-за пожара. URL: <https://tass.ru/proisshestiya/9940553> (дата обращения: 04.01.2021).

⁴ Brazil fire: São Paulo building collapses in huge blaze. URL: <https://www.bbc.com/news/world-latin-america-43960778> (дата обращения: 04.01.2021).

[8]. С целью предотвращения преждевременных обрушений при пожаре функционирует система противопожарной защиты, базовым элементом которой является огнестойкость [9]. В этой связи для строительных конструкций введен ряд характеристик, одной из которых является предел огнестойкости. Предел огнестойкости колонн характеризуется временем потери ими своей несущей способности.

Одним из этапов теоретической оценки предела огнестойкости является проведение теплотехнического расчета, заключающегося в определении температурного поля в конструкции. Известна методика расчета температур в сечении железобетонных конструкций^{5, 6} [10], которая успешно применяется при расчете однородных конструкций сплошного сечения. Центрифугированные железобетонные конструкции имеют ряд отличительных особенностей. Поскольку прессующее давление, действующее на бетонную смесь в процессе центрифугирования, максимально у стенок формы и минимально на внутренней поверхности изделия, уплотнение бетонной смеси происходит неравномерно по толщине изделия. Действие центробежной силы сказывается на стремлении более тяжелых компонентов бетонной смеси расположиться ближе к стенкам формы, а более легких — к внутренней поверхности. В результате в поперечном сечении конструкций возникает неоднородность физико-механических и тепло-

⁵ Методические рекомендации по расчету огнестойкости и огнестойкости железобетонных конструкций : (МДС 21-2.2000) : одобрены конструкторской секцией Научно-технического совета ГУП «НИИЖБ» (от 27 апреля 2000 г., протокол № 4/2000).

⁶ Конструкции строительные. Порядок расчета пределов огнестойкости : (ТКП 45–2.02–110–2008 (02250)) : утвержден и введен в действие приказом Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 12 июня 2008 г. № 197.

физических свойств бетона [11–17], что, очевидно, влияет на предельную сопротивляемость конструкций огневому воздействию. Сами конструкции, являющиеся по сути тонкостенными, характеризуются наличием внутренней воздушной полости, что обеспечивает возможность использования ее в качестве шахты, для отвода дождевой воды или прокладки в ней инженерных коммуникаций⁷. Анализ прогрева полого и сплошного сечений железобетонных колонн при пожаре указывает на существенную разность температур в заданных точках конструкции [18]. Наличие бетонного ядра в сечении сплошных конструкций способствует отводу вглубь нее теплоты, получаемой при пожаре, в отличие от полых. При этом нагрев бетона в тонкостенных изделиях до заданных температур способствует раскрытию трещин и более ускоренному прогреву их сечения [18]. Все это наталкивает на необходимость использования иных подходов при определении температурного поля в их поперечном сечении, а также адаптации существующей методики. Проблеме прогрева центрифугированных железобетонных колонн при пожаре посвящена настоящая работа.

Основная часть

Использование метода конечных элементов при проведении теплотехнического расчета позволяет наиболее точно оценить температурное поле в изделии. Одной из платформ для воссоздания данного метода при решении теплотехнических задач явля-

ется Ansys Workbench [19–21], позволяющая снизить трудоемкость и повысить точность расчетов.

Объектом моделирования являются центрифугированные железобетонные колонны кольцевого сечения. В работе рассматривается прогрев сечения данных конструкций. Параметры теплообмена между огневой средой и конструкцией при назначении граничных условий задавали в соответствии с СН 2.01.03-2019⁸. Теплофизические характеристики бетона в моделировании принимали согласно ТКП EN 1992-1-2-2009⁹, арматурной стали — согласно ТКП EN 1993-1-2-2009¹⁰. Свойства материалов задавали в блоке Engineering Data. Начальный временной шаг расчета (Initial Time Step) задавался не более 15 с (соответствует временному интервалу обработки экспериментальных данных в проведенных испытаниях [18]). В модуле Transient Thermal данной платформы назначали следующие условия однозначности (рис. 1).

⁸ Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Воздействия для определения огнестойкости: (СН 2.01.03–2019): утверждены и введены в действие постановлением Министерства архитектуры и строительства от 16 декабря 2019 г. № 69.

⁹ Еврокод 2. Проектирование железобетонных конструкций. Ч. 1–2. Общие правила определения огнестойкости: (ТКП EN 1992-1-2–2009 (02250)): утвержден и введен в действие приказом Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 10 декабря 2009 г. № 404.

¹⁰ Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Ч. 1–2. Общие правила определения огнестойкости: (ТКП EN 1993-1-2–2009 (02250)): утвержден и введен в действие приказом Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 10 декабря 2009 г. № 404.

⁷ См. сн. 1.

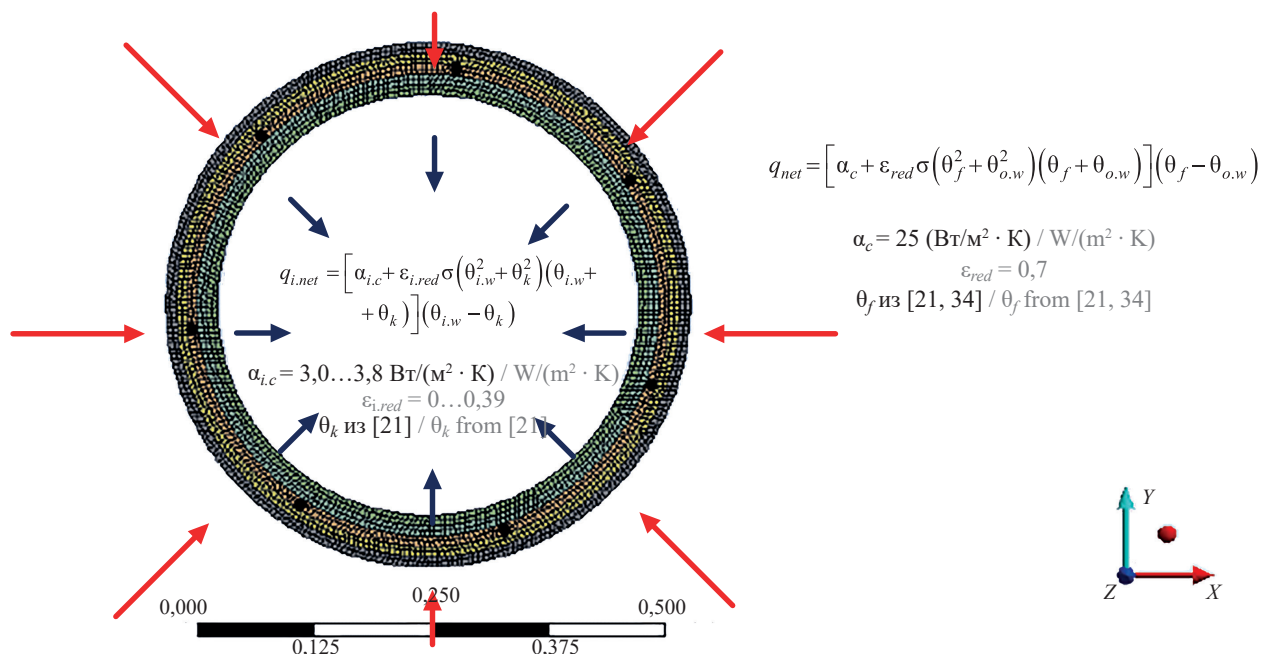


Рис. 1. Расчетная модель нагрева железобетонной колонны кольцевого сечения

Fig. 1. The analytical model for the heating of a reinforced concrete column that has an annular section

Начальные условия. Наружный диаметр колонн составляет 560 мм, толщина стенки — 55 мм, толщина защитного слоя для продольной арматуры — 20 мм. Арматурные стержни диаметром 12 мм в количестве 7 шт. расположены в бетонном сечении осесимметрично. Плотность бетона в конструкции $\rho_c = 2500 \text{ кг/м}^3$ при весовой влажности $W = 2,2 \%$ [18]. Поперечное спиральное армирование в виде проволоки диаметром 4 мм в модели не учитывалось. Температура конструкции θ_w и газовой среды в ее полости θ_g во всех точках в начальный момент времени одинаковы:

$$\theta_{w0} = \theta_{g0} = \theta_w(x, y, z, 0) = \theta_g(x, y, z, 0) = 5^\circ \text{C}. \quad (1)$$

Граничные условия. Поперечное сечение конструкции подвергается равномерному тепловому воздействию по всему наружному периметру конструкции. Температура греющей среды (пожара) изменяется аналогично испытаниям [18] (в моделировании принимали температуры греющей среды на отметке, соответствующей высоте установки термоэлектрических преобразователей (ТП) в сечении колонн (2200 мм от уровня верхнего среза фундамента)).

Способ нагрева наружной поверхности колонн определяется граничными условиями 3-го рода:

$$\begin{aligned} q_{\text{net}} &= \alpha(\theta_f - \theta_{o.w}) = (\alpha_c + \alpha_r)(\theta_f - \theta_{o.w}) = \\ &= [\alpha_c + \varepsilon_{\text{red}} \sigma (\theta_f^2 + \theta_{o.w}^2)(\theta_f + \theta_{o.w})](\theta_f - \theta_{o.w}) = \quad (2) \\ &= -\lambda_{c.o.w} \left(\frac{\partial \theta}{\partial n} \right)_{c.o.w}, \end{aligned}$$

где q_{net} — результирующий удельный тепловой поток, Вт/м²;

α — суммарный коэффициент теплоотдачи между наружной поверхностью конструкции и греющей средой, Вт/(м²·°C);

θ_f — температура греющей среды, К (согласно [18]);

$\theta_{o.w}$ — температура наружной поверхности конструкции, К;

α_c — коэффициент теплоотдачи конвекцией¹¹, 25 Вт/(м²·°C);

α_r — коэффициент теплоотдачи излучением, Вт/(м²·°C);

ε_{red} — приведенная степень черноты для системы «греющая среда – обогреваемая поверхность конструкции»¹², $\varepsilon_{\text{red}} = 0,7$;

$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$ — постоянная Стефана–Больцмана;

$\lambda_{c.o.w}$ — теплопроводность бетона наружной поверхности колонны, Вт/(м·°C).

Контактные взаимодействия арматуры с бетоном определялись граничными условиями 4-го рода:

$$\lambda_c \left(\frac{\partial \theta}{\partial n} \right)_c = \lambda_s \left(\frac{\partial \theta}{\partial n} \right)_s, \quad (3)$$

где индексы c и s относятся к бетону и арматуре соответственно.

¹¹ См. сн. 8.

¹² То же.

Таблица 1. Влияние размера ячейки на результаты моделирования и трудозатраты

Table 1. Influence of cell size on simulation results and labor input

Размер ячейки, мм Cell size, mm		Число элементов Number of elements	Число узлов Number of assembly units	Время, затраченное на решение, с Solution time, s	Отклонение результата относительно значения, полученного при минимальном размере ячейки, % Deviation of the result from the value obtained for the minimal cell size, %	
Бетон Concrete	Арматура Reinforcing bars				Бетон Concrete	Арматура Reinforcing bars
11	4	877	3238	90...129	от –3,3 до 0,4 from –3.3 to 0.4	от –7,2 до –6,4 from –7.2 to –6.4
5,5	2,4	3144	9254	181...218	от –2,7 до 0,3 from –2.7 to 0.3	от –4,2 до –3,6 from –4.2 to –3.6
2,75	1,2	13 159	32 294	605...643	от –2,2 до 0,2 from –2.2 to 0.2	от –1,8 до 0,9 from –1.8 to 0.9
1,1	0,48	78 305	171 250	1598...3986	—	—

Примечание. Знак «–» перед числом обозначает отклонение в меньшую сторону, отсутствие знака — отклонение в большую сторону.

Note. The “–” sign before the number means a downward bias, while its absence means an upward bias.

Размеры конечных элементов. При определении размеров конечных элементов производились предварительное моделирование с различными размерами ячеек бетона и арматуры и сопоставление временных трудозатрат и отклонений полученных результатов (табл. 1). При этом предпочтение (*Physics Preference*) отдавалось вычислительной гидродинамике (*CFD*).

Таким образом, в настоящей работе с целью недопущения существенных погрешностей размеры ячеек (*Mesh*) приняты: для бетона — 2,75 мм (1/20 толщины стенки), для арматуры — 1,2 мм (1/10 диаметра).

Влияние газовой среды в полости на прогрев колонны. Для разработки теоретических методов расчета предела огнестойкости центрифугированных железобетонных конструкций важно оценить максимально возможное число факторов, оказывающих влияние на конечный результат. Поэтому было принято решение на первоначальном этапе оценить влияние газовой среды в полости колонны на результаты моделирования. Для этого производили моделирование прогрева с учетом теплообмена между внутренней поверхностью колонны и газовой средой в ее полости и без него. При этом рассматривали варианты наличия в полости только воздуха или только водяного пара при теплообмене в неограниченном и ограниченном пространстве [22].

Для случая теплообмена в неограниченном пространстве отвод теплоты от внутренней поверхности конструкции был задан через граничные условия 3-го рода:

$$\begin{aligned} q_{i.net} &= \alpha_i (\theta_{i.w} - \theta_h) = (\alpha_{i.c} + \alpha_{i.r}) (\theta_{i.w} - \theta_h) = \\ &= [\alpha_{i.c} + \epsilon_{i.red} \sigma (\theta_{i.w}^2 + \theta_h^2) (\theta_{i.w} + \theta_h)] (\theta_{i.w} - \theta_h) = \quad (4) \\ &= -\lambda \dots \left(\frac{\partial \theta}{\partial n} \right)_{c.i.w}, \end{aligned}$$

где $q_{i.net}$ — результирующий удельный тепловой поток, передаваемый в полость колонны, Вт/м²;

α_i — суммарный коэффициент теплоотдачи между внутренней поверхностью конструкции и объемом газа в полости, Вт/(м²·°C);

$\theta_{i.w}$ — температура внутренней поверхности колонны, К;

θ_h — температура газовой среды в полости, К (согласно [18]);

$\alpha_{i.c}$ — коэффициент теплоотдачи путем конвекции в полость (3,8 Вт/(м²·°C) для варианта с наличием воздуха; 3,0 Вт/(м²·°C) — водяного пара [22]);

$\alpha_{i.r}$ — коэффициент теплоотдачи путем излучения в полость, Вт/(м²·°C);

$\epsilon_{i.red}$ — приведенная степень черноты для системы «внутренняя поверхность колонны — объем

газа в полости» (0 — для варианта с наличием воздуха, 0,39 — водяного пара [22]);

$\lambda_{c.i.w}$ — теплопроводность бетона внутренней поверхности колонны, Вт/(м·°C).

Для случая теплообмена в ограниченном пространстве в уравнении (4) коэффициент теплоотдачи путем конвекции $\alpha_{i.c}$ принимался равным 0. Вместо него вводился эквивалентный коэффициент теплопроводности газа за счет конвекции $\lambda_{g.eq.c}$, и дополнительно назначались граничные условия 4-го рода, описывающие контактное взаимодействие бетона на внутренней поверхности колонны с газовой средой в ее полости:

$$\lambda_{c.i.w} \left(\frac{\partial \theta}{\partial n} \right)_{c.i.w} = \lambda_{g.eq.c} \left(\frac{\partial \theta}{\partial n} \right)_{g.eq.c}, \quad (5)$$

где $\lambda_{g.eq.c}(\theta) = -2 \cdot 10^{-6} \theta^2 + 0,0014 \theta + 0,197$ — для воздуха, $\lambda_{g.eq.c}(\theta) = -4 \cdot 10^{-6} \theta^2 + 0,0026 \theta + 0,005$ — для водяного пара, Вт/(м·°C). [22]. Плотность и теплоемкость газов приняты согласно справочным данным¹³ [23].

В результате проведенного моделирования было выявлено, что температуры бетона на внутренней поверхности колонны и арматуры в теле колонны при учете теплообмена между внутренней поверхностью и газовой средой в полости практически не отличаются от температур для случая идеальной теплоизоляции внутренней поверхности колонны (табл. 2).

Увеличение температуры бетона на внутренней поверхности колонны в некоторых случаях при учете газовой среды в полости может быть связано с двумя составляющими. Первая составляющая — это несоответствие экспериментальных температур в газовой полости температурам на внутренней поверхности, получаемым в ходе конечно-элементного расчета в заданный момент времени. Вторая составляющая связана с неравномерностью прогрева внутренней поверхности колонны. В связи с этим теплоотдача в полость осуществляется не со всей внутренней поверхности колонны, а только с ее части, расположенной вблизи арматуры и прогревающейся наиболее интенсивно. Вследствие этого становится возможным нагрев оставшейся части внутренней поверхности колонны газовой средой в полости. Суммарное увеличение температур из-за этих двух составляющих имеет некоторый вклад лишь для бетона (с нижней границей теплопроводности) на внутренней поверхности колонны при варианте наличия в полости только водяного пара (см. табл. 2). Ввиду того, что внутренние слои сечения полых колонн имеют наименьшую долю площади от всего сечения конструкции, а увеличение температуры арматуры

¹³ Properties of air at 1 atm pressure. URL: https://www.me.psu.edu/cimbala/me433/Links/Table_A_9_CC_Properties_of_Air.pdf (дата обращения 20.01.2020).

составляет не более 0,2 %, данный факт допустимо не принимать во внимание.

Уменьшение температуры на внутренней поверхности конструкций составляет не более 2,5 % для всех рассматриваемых случаев, а арматуры — 1,0 %. Если учесть, что в полости при пожаре находится паровоздушная среда, то снижение температур в сечении колонн будет еще менее заметным.

Учет теплообмена между внутренней поверхностью колонны с одной стороны способствует незначительному снижению их предела огнестойкости, с другой — повышению. Вместе с тем данный учет усложняет модель и увеличивает трудозатраты. Поэтому в дальнейших исследованиях наличием газовой среды в полости пренебрегали и считали внутреннюю поверхность колонны идеально теплоизолированной.

Таблица 2. Влияние газовой среды в полости на значения температур арматуры и бетона на внутренней поверхности колонны
Table 2. Influence of the gaseous medium in a cavity on the temperature of reinforcing bars and concrete on the inner surface of a column

Рассматриваемый случай The case under consideration		Среднее отклонение температуры от значений, полученных для случая идеальной теплоизоляции внутренней поверхности, % Average temperature deviation from the values obtained for the case of ideal thermal insulation of the inner surface, %	
		Бетон на внутренней поверхности Concrete on the inner surface	Арматура Reinforcing bars
<i>Нижняя граница теплопроводности бетона¹</i> <i>The lower limit of thermal conductivity of concrete¹</i>			
Идеальная теплоизоляция внутренней поверхности Ideal thermal insulation of the inner surface		—	—
Теплообмен в неограниченном пространстве Heat transfer in an unconfined space	Воздух Air	0,7	0,1
	Водяной пар Water vapour	3,5	0,2
Теплообмен в ограниченном пространстве Heat transfer in a confined space	Воздух Air	0,1	–0,2
	Водяной пар Water vapour	3,2	0,1
<i>Верхняя граница теплопроводности бетона²</i> <i>The upper limit of thermal conductivity of concrete²</i>			
Идеальная теплоизоляция внутренней поверхности Ideal thermal insulation of the inner surface		—	—
Теплообмен в неограниченном пространстве Heat transfer in an unconfined space	Воздух Air	–1,0	–0,3
	Водяной пар Water vapour	–2,5	–1,0
Теплообмен в ограниченном пространстве Heat transfer in a confined space	Воздух Air	0,1	–0,2
	Водяной пар Water vapour	–2,0	–0,9

Примечание. Знак «–» перед числом обозначает отклонение в меньшую сторону, отсутствие знака — отклонение в большую сторону.

Note. The “–” sign before a number means a downward bias, while its absence means an upward bias.

¹ См. сн. 9.

² То же.

Адаптация методики расчета температурного поля для полых колонн. Для расчета температур в сечении железобетонных конструкций круглого сечения, обогреваемых по всему периметру, применяется формула^{14, 15}:

$$\theta_w = \theta_{0w} + 1200(1-r)^2 \sqrt{\frac{D}{(D-2x)}}, \quad (6)$$

где D — диаметр конструкции, м;

x — расстояние от обогреваемой поверхности до рассматриваемой точки, м;

r — относительное расстояние^{16, 17}.

Для учета влияния наличия полости в железобетонных колоннах, обогреваемых по всему наружному периметру, на конечные температуры в их сечении был введен коэффициент k_{hol} , учитывающий увеличение температур в сечении полых железобетонных конструкций и определяемый как отношение температуры бетона в заданной точке полый колонны θ_{sec} к температуре бетона в этой же точке сплошной колонны θ_{com} .

Для изучения коэффициента k_{hol} было проведено моделирование прогрева полых колонн кольцевого сечения с наружным диаметром и толщиной стенки из серии¹⁸ [1], получившей распространение в странах постсоветского пространства (табл. 3). При этом огневое воздействие задавалось равномерным по всему наружному периметру колонны в соответствии со стандартным температурным режимом длительностью $\tau_{st,f} = 180$ мин. Остальные краевые условия оставались неизменными. Размер бетонных ячеек принят равным 1/20 толщины стенки.

В результате был выделен ряд факторов, оказывающих влияние на k_{hol} : доля поперечного сечения, занимаемая бетоном A_{sec}/A_{com} , продолжительность стандартного огневого воздействия на конструкцию $\tau_{st,f}$ и относительная толщина δ (отношение расстояния от внутренней поверхности колонны до рассматриваемой точки к толщине ее стенки) (рис. 2).

Далее в разрезе полного факторного эксперимента (ПФЭ) производилось моделирование про-

¹⁴ См. сн. 5.

¹⁵ См. сн. 6.

¹⁶ См. сн. 5.

¹⁷ См. сн. 6.

¹⁸ Руководство по проектированию, изготовлению и применению железобетонных центрифугированных конструкций кольцевого сечения. Науч.-исслед. ин-т бетона и железобетона Госстроя СССР. М. : Стройиздат, 1979. 144 с.

Таблица 3. Характеристики поперечного сечения применяемых центрифугированных железобетонных колонн кольцевого сечения
Table 3. Characteristics of the cross-section of annular spun reinforced concrete columns

Наружный диаметр конструкции D , мм <i>Outer diameter D, mm</i>	300	400	500	600	700	800	1000
Толщина стенки b , мм <i>Wall thickness b, mm</i>	50...60	50...80	50...100	60...100	60...120	60...120	80...120
Доля поперечного сечения, занимаемая бетоном A_{sec}/A_{com} <i>Part of the cross-section, filled with concrete A_{sec}/A_{com}</i>	0,556...0,64	0,438...0,64	0,36...0,64	0,36...0,556	0,313...0,568	0,278...0,51	0,294...0,422

Примечание. A_{sec} , A_{com} — площади поперечного сечения полый колонны и сплошной колонны того же диаметра.

Note. A_{sec} , A_{com} are the areas of cross-sections of same-diameter hollow and solid columns.

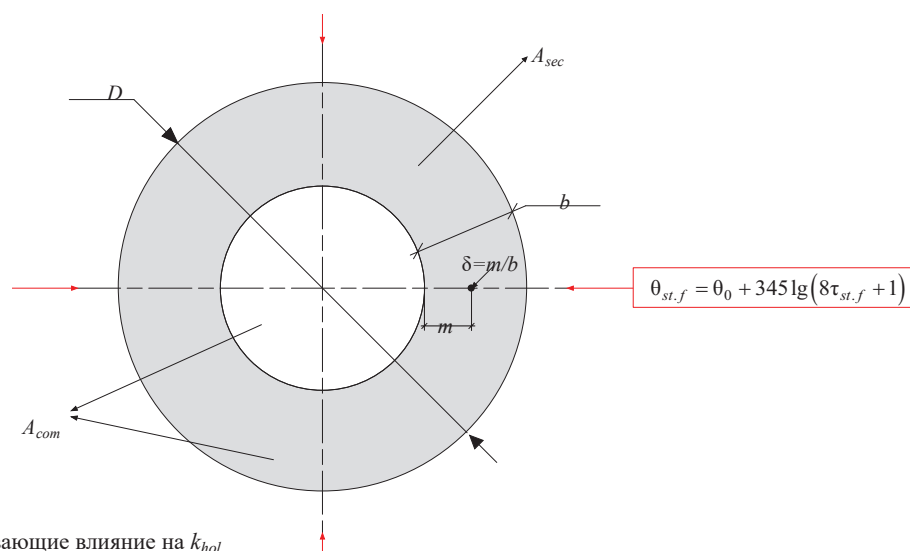


Рис. 2. Факторы, оказывающие влияние на k_{hol}

Fig. 2. Factors that influence k_{hol}

грева колонн диаметрами 300, 650 и 1000 мм для получения уравнения регрессии k_{hol} . Анализ вышеуказанных факторов показал нелинейность их влияния на k_{hol} . В связи с этим были рассмотрены следующие интервалы, на которых значения k_{hol} допустимо линеаризовать: A_{sec}/A_{com} — 0,278...0,64; τ_s — 0...30; 30...60; 60...120; 120...180 мин; δ — 0...0,5 и 0...1,0. Данные факторы на каждом из интервалов были закодированы. Полученные кодированные переменные определяются по следующим формулам [24]:

$$X_1 = 5,52 A_{sec}/A_{com} - 2,54; \quad (7)$$

$$X_2 = \frac{2\tau_{st.f} - (\tau_{st.f.max} + \tau_{st.f.min})}{\tau_{st.f.max} - \tau_{st.f.min}}; \quad (8)$$

$$X_3 = 4\delta - 2(\delta_{max} + \delta_{min}). \quad (9)$$

где индексы «max» и «min» соответствуют максимальному и минимальному значениям факторов в рассматриваемом интервале.

Таблица 4. План ПФЭ и взаимодействия изучаемых факторов

Table 4. Plan of a complete factorial experiment and interactions between factors

Номер эксперимента Experiment number	Фактор Factor			Взаимодействия факторов Interactions between factors			
	$X_1(A_{sec}/A_{com})$	$X_2(\tau_{st.f})$	$X_3(\delta)$	X_1 и X_2 X_1 and X_2	X_1 и X_3 X_1 and X_3	X_2 и X_3 X_2 and X_3	X_1-X_3
1	+	+	+	+	+	+	+
2	—	+	+	—	—	+	—
3	+	—	+	—	+	—	—
4	—	—	+	+	—	—	+
5	+	+	—	+	—	—	—
6	—	+	—	—	+	—	+
7	+	—	—	—	—	+	+
8	—	—	—	+	+	+	—

Примечание. Знак «+» соответствует максимальному значению изучаемого фактора в заданном интервале, знак «—» — минимальному.

Note. The “+” sign corresponds to the maximal value of the studied factor in a given interval; the “—” sign corresponds to its minimal value.

План ПФЭ и взаимодействия факторов для обработки результатов представлен в табл. 4.

В результате проведения ПФЭ по методике [24] было получено уравнение регрессии для k_{hol} :

$$k_{hol} = k_{h0} + k_{h1}X_1 + k_{h2}X_2 + k_{h3}X_3 + k_{h12}X_1X_2 + k_{h13}X_1X_3 + k_{h23}X_2X_3 + k_{h123}X_1X_2X_3, \quad (10)$$

где k_{h0} , k_{h1} , k_{h2} , k_{h3} , k_{h12} , k_{h13} , k_{h23} , k_{h123} — коэффициенты, учитывающие влияние факторов A_{sec}/A_{com} , τ_f , δ и определяемые по табл. 5.

Таблица 5. Значения коэффициентов k_{h0} , k_{h1} , k_{h2} , k_{h3} , k_{h12} , k_{h13} , k_{h23} , k_{h123}

Table 5. Values of k_{h0} , k_{h1} , k_{h2} , k_{h3} , k_{h12} , k_{h13} , k_{h23} , k_{h123} coefficients

D , мм mm	τ_f мин min	δ	k_{h0}	k_{h1}	k_{h2}	k_{h3}	k_{h12}	k_{h13}	k_{h23}	k_{h123}
300	$0 < \tau_{stf} \leq 30$	$0,0 \leq \delta < 0,5$	1,20	-0,08	0,20	-0,12	-0,08	0,02	-0,12	0,02
650			1,14	-0,11	0,14	-0,11	-0,11	0,09	-0,11	0,09
1000			1,09	-0,09	0,09	-0,08	-0,09	0,08	-0,08	0,08
300		$0,5 \leq \delta < 1,0$	1,04	-0,03	0,04	-0,04	-0,03	0,03	-0,04	0,03
650			1,01	-0,01	0,01	-0,01	-0,01	0,01	-0,01	0,01
1000			1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
300	$30 < \tau_{stf} \leq 60$	$0,0 \leq \delta < 0,5$	1,43	-0,09	0,02	-0,25	0,07	-0,01	-0,01	-0,05
650			1,37	-0,23	0,08	-0,28	0,00	0,15	-0,05	-0,03
1000			1,19	-0,17	0,02	-0,16	0,00	0,15	0,00	-0,01
300		$0,5 \leq \delta < 1,0$	1,09	-0,05	0,01	-0,09	0,01	0,05	-0,01	-0,01
650			1,04	-0,04	0,02	-0,04	-0,01	0,04	-0,02	0,01
1000			1,01	-0,01	0,01	-0,01	-0,01	0,01	-0,01	0,01
300	$60 < \tau_{stf} \leq 120$	$0,0 \leq \delta < 0,5$	1,40	0,02	-0,05	-0,21	0,04	-0,06	0,05	0,00
650			1,44	-0,20	-0,01	-0,30	0,02	0,08	0,04	-0,04
1000			1,30	-0,19	0,10	-0,24	-0,02	0,13	-0,07	-0,01
300		$0,5 \leq \delta < 1,0$	1,10	-0,02	0,00	-0,10	0,02	0,02	0,00	-0,02
650			1,07	-0,06	0,01	-0,07	-0,01	0,06	-0,01	0,01
1000			1,03	-0,03	0,02	-0,03	-0,01	0,03	-0,02	0,01
300	$120 < \tau_{stf} \leq 180$	$0,0 \leq \delta < 0,5$	1,32	0,06	-0,04	-0,15	0,01	-0,05	0,02	0,01
650			1,45	-0,12	0,03	-0,28	0,06	-0,01	-0,02	-0,05
1000			1,42	-0,18	0,02	-0,31	0,03	0,08	0,00	-0,04
300		$0,5 \leq \delta < 1,0$	1,09	0,01	-0,01	-0,08	0,01	-0,01	0,01	-0,01
650			1,09	-0,06	0,00	-0,09	0,01	0,06	0,00	-0,01
1000			1,06	-0,05	0,01	-0,06	-0,01	0,05	-0,01	0,01

Примечание. Для относительной толщины $\delta = 1$, а также при $\tau_{stf} = 0$ значение $k_{hol} = 1$ независимо от других факторов. Значения коэффициентов для промежуточных диаметров определяются линейной интерполяцией.

Note. For relative thickness $\delta = 1$; if $\tau_{stf} = 0$, the k_{hol} value = 1, regardless of other factors. The values of coefficients applicable to intermediate diameters are determined by linear interpolation.

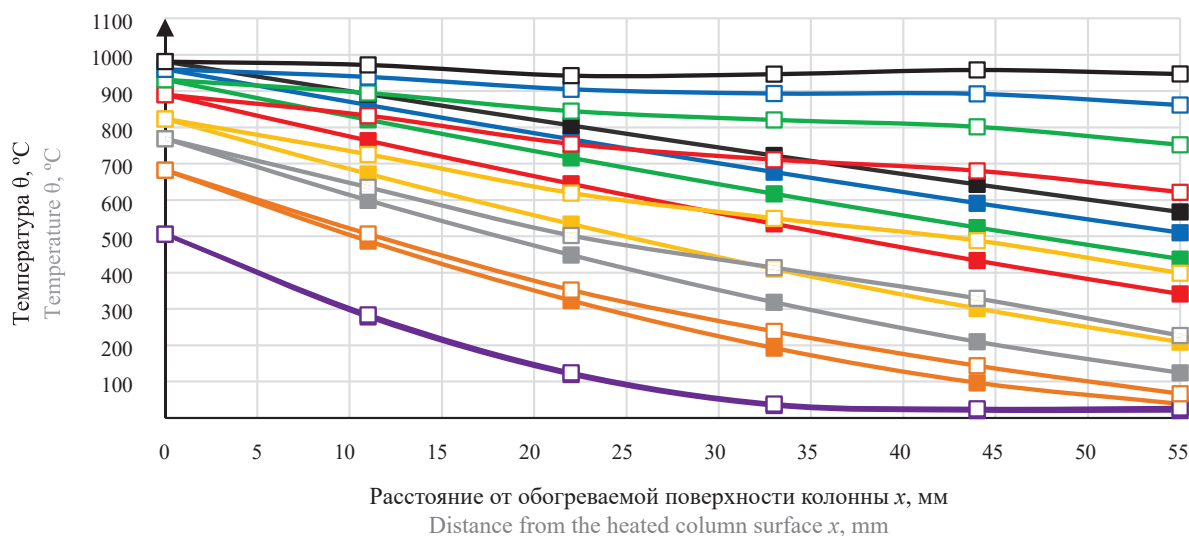
Тогда для железобетонных колонн кольцевого сечения, обогреваемых по всему наружному периметру, формула (6) примет следующий вид:

$$\theta_w = \left(\theta_0 + 1200(1-r)^2 \sqrt{\frac{D}{(D-2x)}} \right) k_{hol}. \quad (11)$$

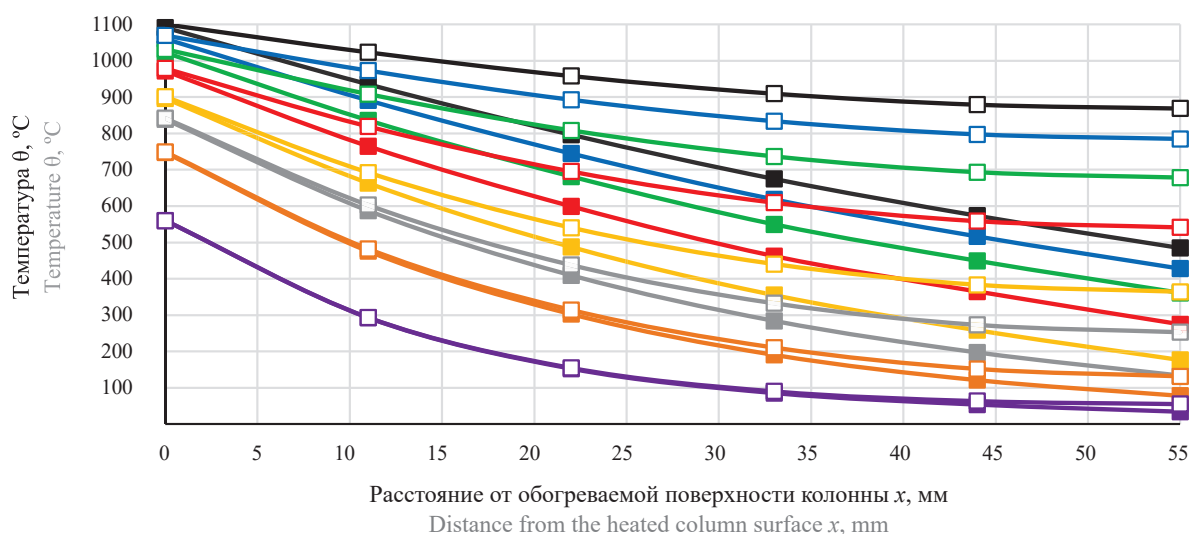
Сравнение результатов расчета температур поля в поперечном сечении колонны наружным диамет-

ром 560 мм и толщиной стенки 55 мм по формулам (6) и (11) приведено на рис. 3, а. На рис. 3, б показаны результаты моделирования прогрева сплошной и полой колонны с теми же геометрическими размерами.

Коэффициент k_{hol} вполне адекватно корректирует формулу (6), поскольку различие между температурами в заданных точках полой и сплошной колонн, рассчитанными по формулам (6) и (11) (см. рис. 3, а), соответствует результатам моделирования (см. рис. 3, б).



a



b



Рис. 3. Температурное поле в колонне наружным диаметром 560 мм: а — расчет по формулам (6) и (11); б — моделирование в Ansys Workbench (пустые маркеры соответствуют полой колонне, сплошные — колонне сплошного сечения)

Fig. 3. Temperature field inside the column having the outer diameter of 560 mm: а — the calculation is performed using formulas (6) and (11); б — Ansys Workbench simulation (empty markers stand for a hollow column, solid markers stand for a solid column)

Влияние неоднородности центрифугированного бетона на прогрев конструкций

На следующем этапе производилась оценка влияния неоднородности центрифугированного бетона на его прогрев. Неоднородность центрифугированного бетона в поперечном сечении конструкций при прочих равных условиях повышается с ростом толщины конструкции [3, 11, 12, 15, 16]. Следовательно, различие в распределении температур в поперечном сечении конструкции вследствие ее неоднородности будет связано с толщиной элемента.

Моделированию подвергались колонны с максимальной и минимальной толщиной стенки при заданном диаметре (см. табл. 3). Поскольку оценивается влияние неоднородности бетона, арматуру в теле конструкций не задавали, а рассматривали бетонное сечение. Остальные начальные условия оставались неизменными. Граничные условия соответствуют назначаемым в ПФЭ.

Поперечное сечение колонн в модели представлялось пятью примыкающими друг к другу кольцами одинаковой толщины, имеющими свои физические и теплофизические характеристики. Плотность, влажность, коэффициенты теплопроводности и удельной изобарной теплоемкости определялись для изучения влияния неоднородности и определялись исходя из результатов лабораторных исследований центрифугированного бетона в нормальных условиях и при высокотемпературном нагреве [15]. Полученные значения плотности и коэффициента теплопроводности увеличиваются по мере увеличения относительной толщины, а значения коэффициента теплоемкости в интервале температур 115...200 °C уменьшаются. В случае моделирования однородной конструкции характеристики бетона всех колец принимались при $\delta = 0,5$, поскольку они соответствуют конструкции в целом [15].

В результате проведенного моделирования были получены зависимости температуры от времени в заданных точках однородных и неоднородных колонн (на рис. 4 представлены графики для колонн с $D = 600$ мм минимальной ($b = 60$ мм) и максимальной ($b = 100$ мм) толщины).

Температура бетона в неоднородной конструкции оказалась во всех точках выше, чем в однородной, за исключением точек с $\delta = 1$ (соответствует температуре обогреваемой поверхности и определяется температурным режимом пожара). Повышение неоднородности центрифугированного бетона с ростом толщины стенки конструкции увеличивает разность между температурами бетона в неоднородной и однородной конструкциях в точках с одинаковым значением $\delta < 1$ (см. рис. 4). Из этого следует, что неоднородность центрифугированного бетона является отрицательным фактором с точки

зрения огнестойкости, поскольку она способствует более скорому прогреву сечения.

Для оценки влияния данного факта был введен коэффициент ускорения прогрева сечения центрифугированной железобетонной конструкции за счет неоднородности k_{het} , определяемый отношением температуры бетона в неоднородной конструкции θ_{het} к его температуре в однородной конструкции θ_{hom} . Характер изменения данного коэффициента для одной из промоделированных колонн одинакового диаметра и различной толщины приведен на рис. 5.

Из рис. 5 следует, что относительная толщина конструкции играет существенную роль в изменении коэффициента k_{het} при повышении температур до 200...300 °C, после чего влияние относительной толщины нивелируется. Это объясняется значительной временной разницей достижения данных значений в различных слоях конструкции. Анализ температурных полей, возникающих в конструкциях, приведенных в табл. 3, при стандартном пожаре показал, что характер изменения k_{het} подобен приведенным на рис. 5, отличаются лишь их абсолютные значения. При этом значения k_{het} увеличиваются с увеличением толщины конструкции.

Для возможности более простого учета в расчетах огнестойкости влияния неоднородности центрифугированного бетона на ускорение прогрева конструкций были определены средние значения k_{het} в исследованных колоннах (табл. 6).

Методом наименьших квадратов было получено уравнение регрессии для k_{het} (рис. 6):

$$k_{het} = 0,99 + 0,5b, \quad (12)$$

где b измеряется в метрах.

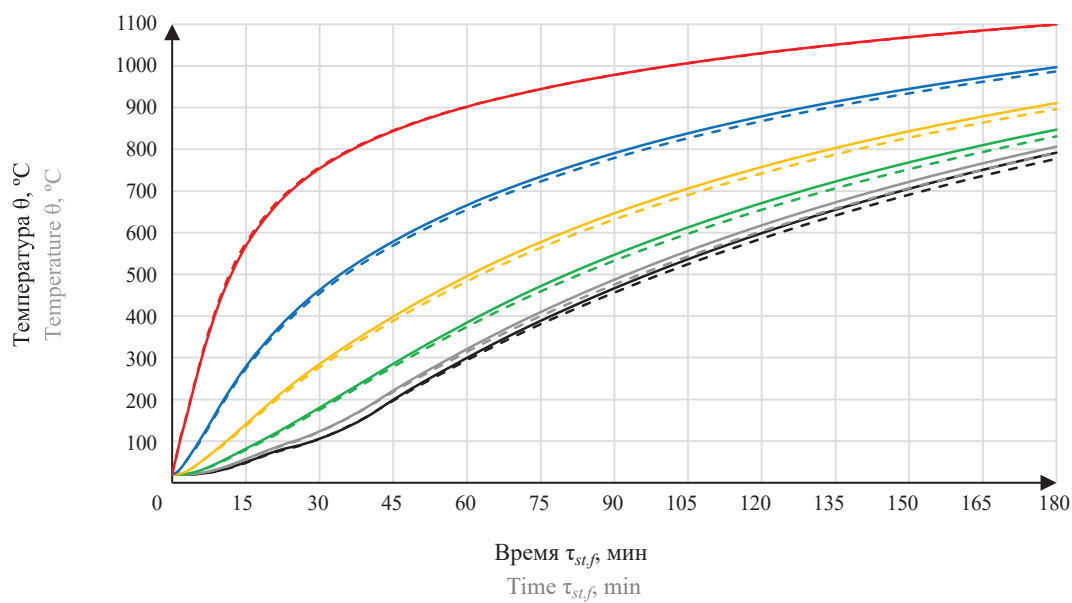
Из формулы (12) следует, что в конструкциях толщиной менее 20 мм неоднородность центрифугированного бетона не оказывает влияния на ускорение прогрева их сечения.

Влияние тонкостенности колонн на ускорение прогрева их сечения

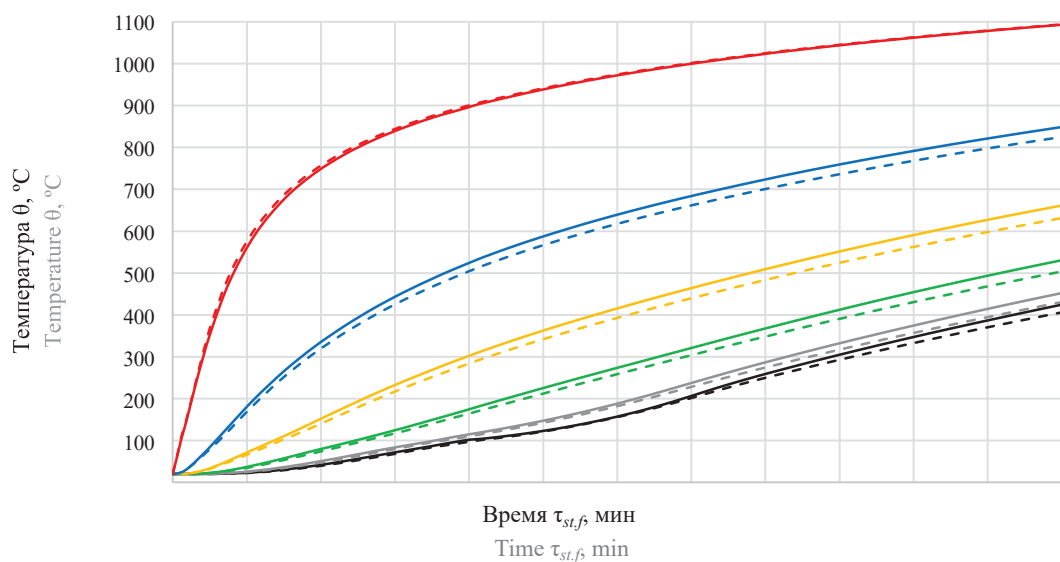
Результаты натурных огневых испытаний центрифугированных железобетонных колонн показали, что при достижении температур 550...600 °C в сечении колонн наблюдались резкие скачки температур, свидетельствующие о раскрытии трещин, в результате чего ускоряется прогрев бетона и арматуры в зоне раскрытия [18]. Данным фактом недопустимо пренебрегать в расчетах огнестойкости, поскольку он отрицательно сказывается на поведении конструкций при пожаре. Для учета данного факта при решении теплотехнической задачи огнестойкости возможны варианты корректировки теплофизических характеристик бетона в модели путем использования

эффективных коэффициентов теплопроводности [25–27] либо введения поправочного коэффициента для рассчитанных температур в поперечном сечении конструкций, превышающих значения, при которых начинается раскрытие трещин.

Нами было принято решение учитывать раскрытие трещин при прогреве сечения с помощью коэффициента тонкостенности k_{th} , определяемого отношением фактической температуры в измеряемой точке поперечного сечения колонны в моменты



a



b

Неоднородная колонна:
Homogeneous column:

— $\delta = 0$ — $\delta = 0,2$ — $\delta = 0,4$ — $\delta = 0,6$ — $\delta = 0,8$ — $\delta = 1$

Однородная колонна:
Heterogeneous column:

- - - $\delta = 0$ - - - $\delta = 0,2$ - - - $\delta = 0,4$ - - - $\delta = 0,6$ - - - $\delta = 0,8$ - - - $\delta = 1$

Рис. 4. Зависимость температуры бетона от времени в заданных точках поперечного сечения однородной и неоднородной колонн диаметром $D = 600$ мм и толщиной $b = 60$ мм (a) и $b = 100$ мм (b)

Fig. 4. Time dependence of the temperature of concrete at given points of the cross-section of a homogeneous and heterogeneous column: (a) $D = 600$ mm and thickness $b = 60$ mm; (b) $D = 600$ mm and thickness $b = 100$ mm

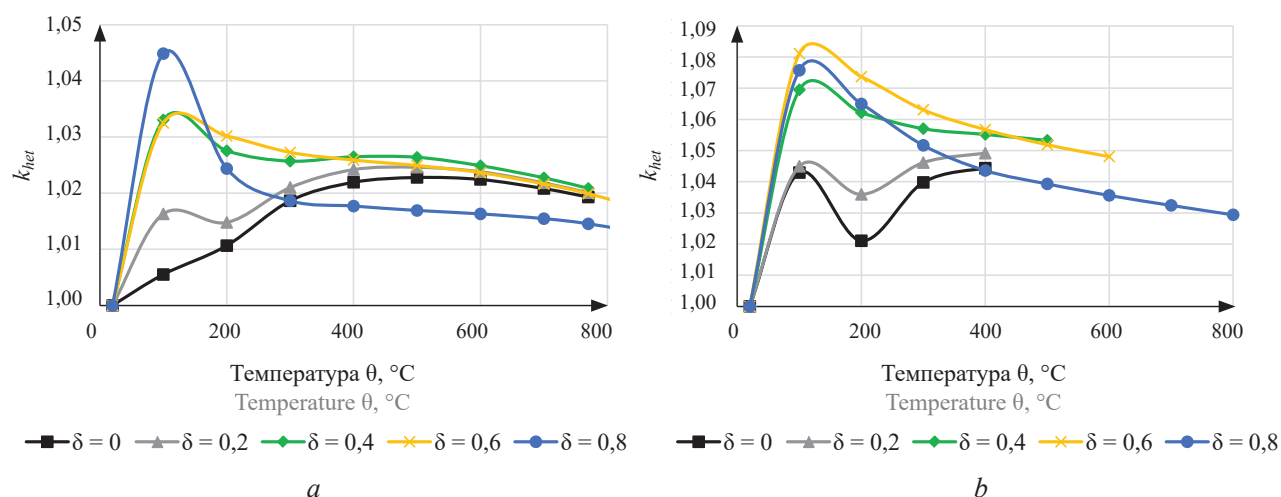


Рис. 5. Зависимость k_{het} от температуры бетона в колоннах диаметром $D = 600$ мм и толщиной $b = 60$ мм (а) и $b = 100$ мм (б)

Fig. 5. Dependence of k_{het} on concrete temperature in columns: (a) diameter $D = 600$ mm and thickness $b = 60$ mm; (b) diameter $D = 600$ mm and thickness $b = 100$ mm

времени после начала раскрытия трещин к температуре, которая была бы в этой же точке, если бы раскрытие трещины не произошло (температура в сечении увеличивалась бы со скоростью, имеющей место до трещинообразования). Данный подход более прост в понимании и применении.

Для нахождения зависимости k_{th} от температуры были определены температуры $\theta_{crc.b}$ и $\theta_{crc.e}$, при которых начинается и заканчивается резкий перепад (скачок) температур в каждой из измеряемых точек соответственно [18]. Затем с учетом скорости нарастания температур в измеряемых точках до раскрытия тре-

щин (в колонне II — 12 °C/мин) и продолжительности температурного скачка [18] в каждой из точек была определена предполагаемая температура в момент времени, соответствующий окончанию температурного скачка. Далее рассчитывалось предельное значение коэффициента тонкостенности $k_{th,max}$ для каждой из измеряемых точек (табл. 7).

Зависимость k_{th} определялась исходя из предположений, что до момента начала раскрытия трещин $k_{th} = 1$ (при температурах, не превышающих $\theta_{crc.b}$), а в момент окончания — $k_{th} = k_{th,max}$ (при температуре $\theta_{crc.e}$). Зависимость имеет следующий вид:

$$k_{th} = 1 + \frac{k_{th,max} - 1}{\theta'_{crc.e} - \theta_{crc.b}} (\theta_w - \theta_{crc.b}) = 1 + \frac{1,40 - 1}{620,8 - 574,8} (\theta_w - \theta_{crc.b}) = 1 + 8,7 \cdot 10^{-3} (\theta_w - \theta_{crc.b}). \quad (13)$$

Для зависимости (13) необходимо наложить ограничение: получаемое значение k_{th} не должно

превышать $k_{th,max} = 1,40$ (если $k_{th} > 1,40$, его следует принимать равным $1,40$). При этом температуры

Таблица 6. Средние значения k_{het} для колонн различных диаметров и толщины стенки

Table 6. Average k_{het} values for columns having different diameters and wall thicknesses

b , мм / mm	D , мм / mm							Среднее значение Average value
	300	400	500	600	700	800	1000	
50	1,015	1,017	1,015	—	—	—	—	1,016
60	1,018	—	—	1,019	1,016	1,021	—	1,019
80	—	1,027	—	—	—	—	1,027	1,027
100	—	—	1,041	1,042	—	—	—	1,042
120	—	—	—	—	1,042	1,048	1,048	1,046

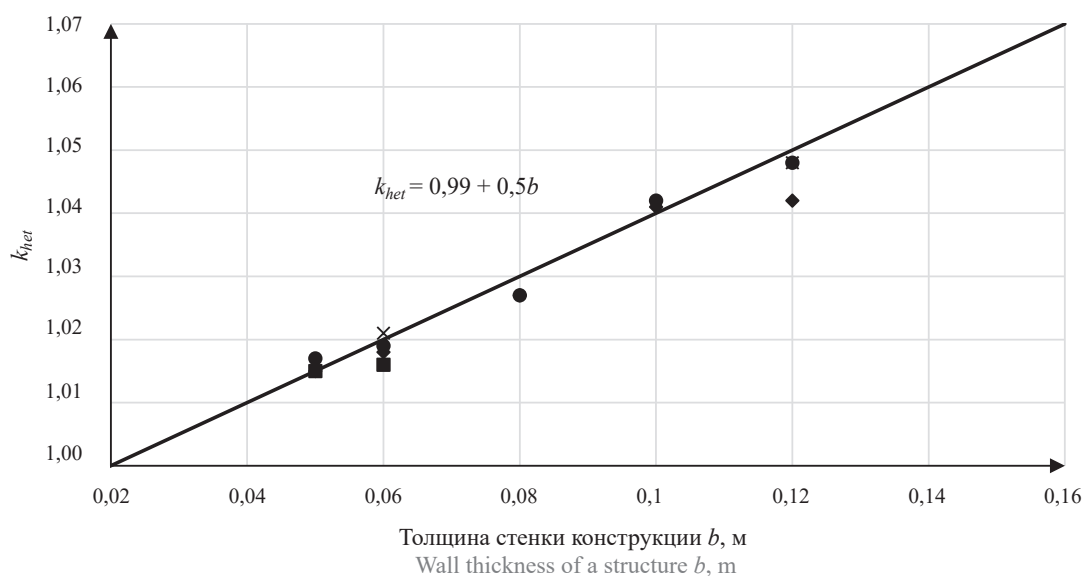


Рис. 6. Зависимость k_{het} от толщины стенки центрифугированной конструкции

Fig. 6. Dependence of k_{het} on the wall thickness of a spun reinforced concrete structure

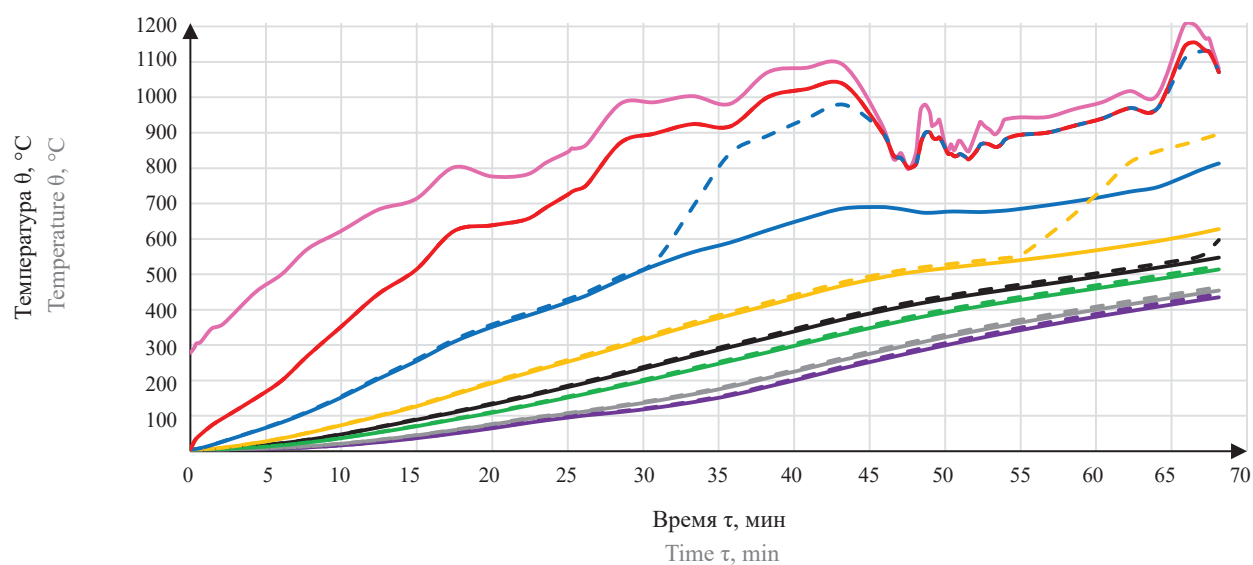
Таблица 7. Результаты экспериментальных исследований температур при раскрытии трещин в центрифугированной железобетонной колонне кольцевого сечения

Table 7. Findings of experimental studies of temperatures in the course of crack opening in an annular spun reinforced concrete column

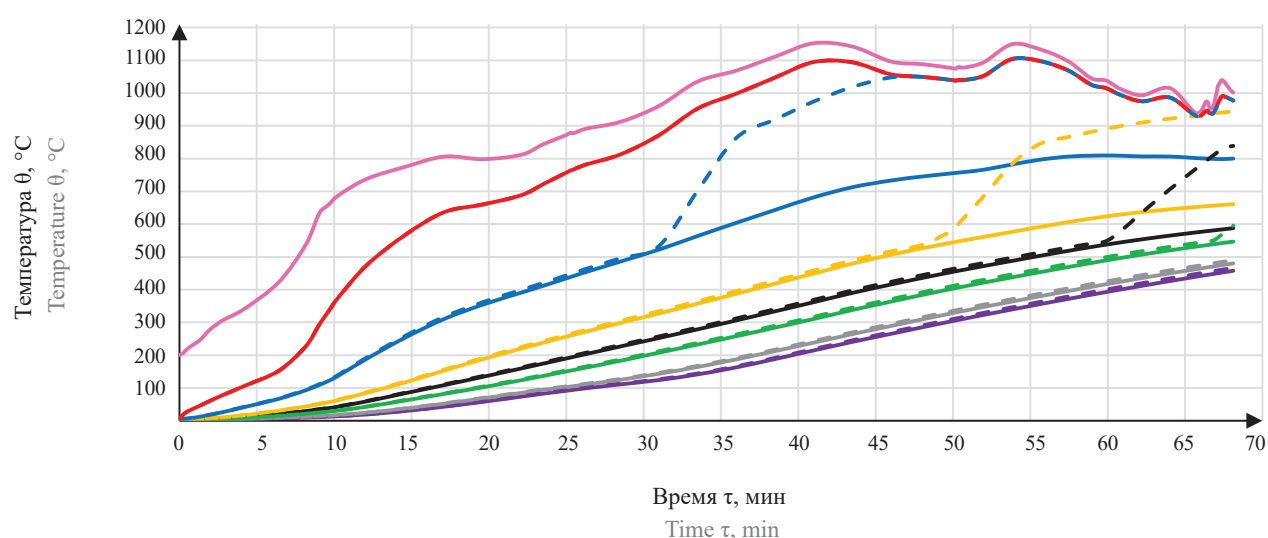
Термоэлектрический преобразователь Thermoelectric converter (TC)	ТП 1 TC 1	ТП 2 TC 2	ТП 3 TC 3	ТП 4 TC 4	ТП 5 TC 5	ТП 6 TC 6	Среднее значение Average value
Измеренная температура начала раскрытия трещины $\theta_{cr.b}$, °C Temperature measured at the onset of the crack opening process $\theta_{cr.b}$	620,6 ± 4,4	546,5 ± 3,9	632,8 ± 4,5	552,9 ± 3,9	561,5 ± 4,0	534,5 ± 3,8	574,8 ± 4,1
Измеренная температура окончания раскрытия трещины $\theta_{cr.e}$, °C Temperature measured at the end of the crack opening process $\theta_{cr.e}$	886,8 ± 6,3	907,1 ± 6,4	875,6 ± 6,2	901,0 ± 6,4	884,2 ± 6,2	745,8 ± 5,3	866,8 ± 6,1
Время раскрытия трещины τ_{cr} , мин Crack opening time τ_{cr} , min	5,0	3,25	2,0	4,5	4,0	4,25	3,8
Предполагаемая температура в момент окончания раскрытия трещины $\theta'_{cr.e}$, °C Estimated temperature at the end of the crack opening process, $\theta'_{cr.e}$, °C	680,6	585,5	656,8	606,9	609,5	585,5	620,8
$k_{th.max}$	1,30	1,55	1,33	1,48	1,45	1,27	1,40

Примечание. ТП 1–ТП 3 — термоэлектрические преобразователи, измеряющие температуру на арматуре, ТП 4–ТП 6 — термоэлектрические преобразователи, измеряющие температуру бетона на внутренней поверхности колонны II [18].

Note. TC 1–TC 3 are the thermal converters that measure the temperature of reinforcement bars; TC 4–TP 6 are the thermal converters that measure the temperature of concrete on the inner surface of column II [18].



a



b

Греющая среда ($h_f = 2200$ мм) / Heating medium ($h_f = 2200$ мм) $\delta = 0,0$ $\delta = 0,4$ $\delta = 0,8$

Арматура / Reinforcing bars

 $\delta = 0,2$ $\delta = 0,6$ $\delta = 1,0$

Арматура / Reinforcing bars

 $\delta = 0,2$ $\delta = 0,6$ $\delta = 1,0$ $\delta = 0,0$ $\delta = 0,4$ $\delta = 0,8$

Рис. 7. Результаты моделирования прогрева поперечного сечения испытанных колонн (сплошные линии отображают моделирование без учета k_{het} и k_{th} , штриховые — с учетом k_{het} и k_{th}): а — колонна I; б — колонна II

Fig. 7. Results of simulated heating of the cross-section of tested columns (solid lines show simulation results disregarding k_{het} and k_{th} ; dashed lines show the simulation results with regard to k_{het} and k_{th}): a — column I; b — column II

в сечении конструкций, получаемые с учетом данного коэффициента, логично ограничивать значением температуры на обогреваемой поверхности $\theta_{o.w.}$. При разработке расчетной методики для обеспечения безопасности в качестве $\theta_{cr.b}$ принимается 550 °С, что соответствует средней температуре начала раскрытия трещин в бетоне на внутренней поверхности колонн.

Результаты моделирования испытанных колонн и расчета температур в их сечении при стандартном огневом воздействии.

В качестве окончательных температур в поперечном сечении центрифугированных железобетонных колонн при моделировании принимались температуры, скорректированные с помощью коэффициентов k_{het} и k_{th} . При расчете температурного поля по методике^{19,20} использовалась формула, адаптированная для центрифугированных железобетонных колонн кольцевого сечения:

$$\theta_w = \left(\theta_{w0} + 1200(1-r)^2 \sqrt{\frac{D}{(D-2x)}} \right) k_{hol} k_{het} k_{th}. \quad (14)$$

¹⁹См. сн. 5.

²⁰См. сн. 6.

Результаты моделирования прогрева испытанных колонн [18, 28] и расчета температур в их сечении при воздействии стандартного пожара по формуле (14) представлены на рис. 7 и 8.

Значения температуры греющей среды на высоте 2200 мм от уровня фундамента (соответствует высоте установки ТП в сечении колонн) при проведении огневых испытаний отличались от значений стандартной температурной кривой (по большей части в заданные моменты времени экспериментальные температуры были выше) [28], что давало возможность обогреваемой поверхности колонн нагреваться более интенсивно. Поскольку в *Ansys Workbench* имеется возможность учитывать фактически полученные в испытаниях значения температуры, а формула (6) и, соответственно, адаптированная формула (14), основаны строго на воздействии стандартного пожара, в дальнейшем логично при решении статической задачи для испытанных колонн принимать температурное поле, полученное при моделировании с учетом корректировки с использованием коэффициентов k_{het} и k_{th} . Вместе с тем, при проведении инженерных расчетов огнестойкости центрифуги-

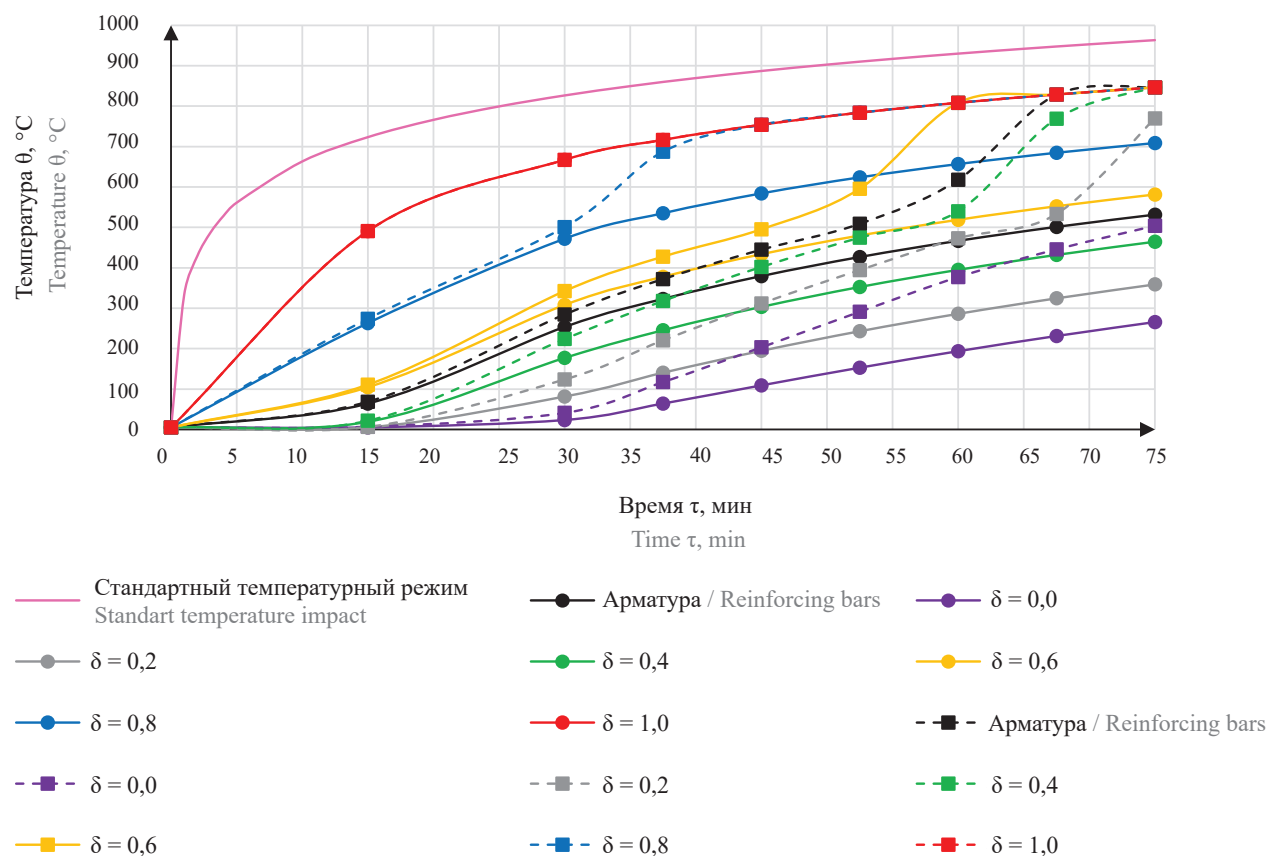
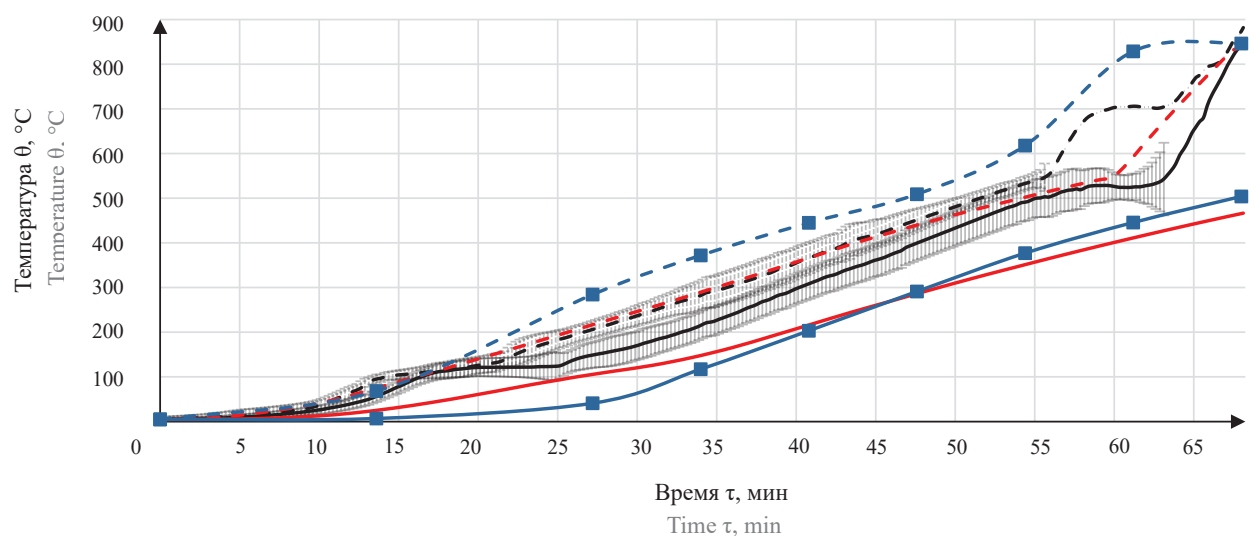
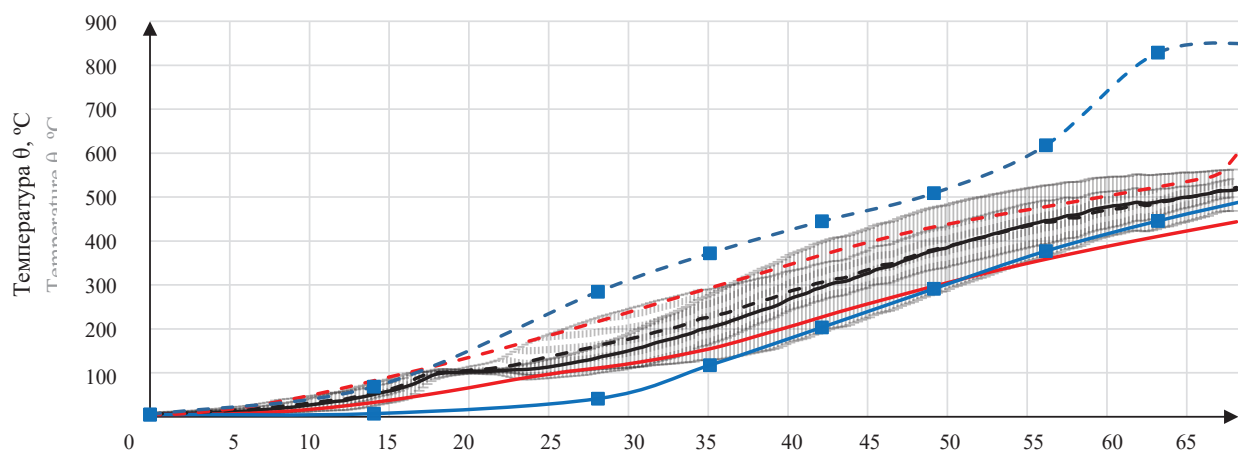
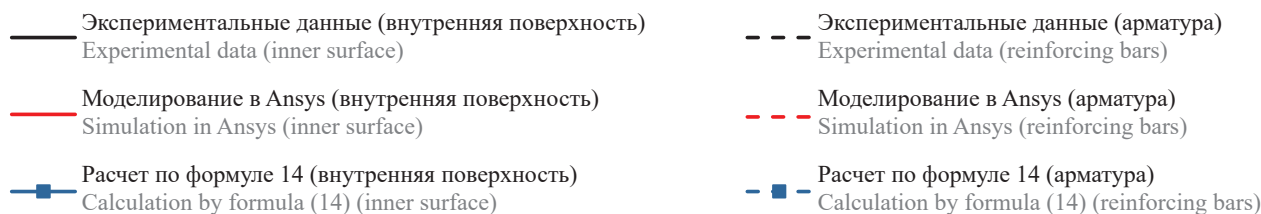


Рис. 8. Результаты моделирования прогрева поперечного сечения испытанных колонн (сплошные линии отображают моделирование без учета k_{het} и k_{th} , штриховые — с учетом k_{het} и k_{th}): а — колонна I; б — колонна II

Fig. 8. Results of simulated heating of the cross-section of tested columns (solid lines show simulation results disregarding k_{het} and k_{th} ; dashed lines show the simulation results with regard to k_{het} and k_{th}): а — column I; б — column II



a



b

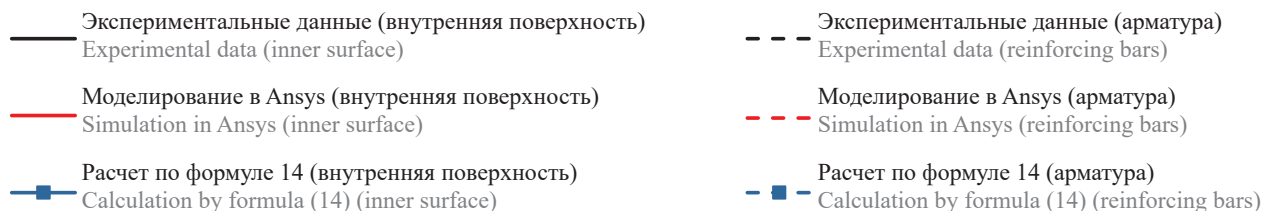


Рис. 9. Сопоставление теоретических и экспериментальных исследований: *a* — колонна I; *b* — колонна II

Fig. 9. Comparison of theoretical and experimental studies: *a* — column I; *b* — column II

рованных железобетонных колонн в существующих или проектируемых зданиях, когда предполагается воздействие на них стандартного температурного режима, температуры в сечении допустимо определять по формуле (14).

Сравнение экспериментальных данных с результатами моделирования и расчета.

В процессе испытаний [18, 28] контролировались температура арматуры в колоннах и температура бетона на их внутренней поверхности. На рис. 9 приведено сопоставление результатов моделирования и расчета с экспериментальными данными [18] для каждой из испытанных колонн. В интерпретации полученных результатов расчета по формуле (14) учитывалась эквивалентность температурных режимов, действовавших на колонны [18, 28] (в качестве времени, откладываемого по оси абсцисс, принимались уменьшенные значения, зависящие от эквивалентных температурных режимов, действующих на колонны [28]).

Как видно из рис. 9, результаты моделирования согласуются с экспериментальными данными. Значения температур арматуры, полученные в результате моделирования с учетом поправочных коэффициентов k_{het} и k_{th} , находятся в пределах границ доверительного интервала экспериментальных значений (при 95 % уровне доверительной вероятности). Более низкие значения температур на внутренней поверхности, полученных при моделировании, обусловлены тем, что на графиках представлены минимальные значения температуры бетона на внутренней поверхности (максимальные значения оказывались на 20...30 °C выше, за счет наличия в бетонном сечении продольных стержней арматуры, образующих температурный мост). При этом в моделировании не учитывалось поперечное спиральное армирование проволокой диаметром 4 мм. Следует отметить, что во время подготовки к испытаниям при установке на внутренней поверхности ТП несколько заглублялись в тело конструкции (примерно на 2...3 мм), что способствовало чуть более высокому нагреву горячих спаев ТП в процессе испытаний.

Полученные температуры в результате расчета по формуле (14) показали вполне приемлемую сходимость с экспериментальными данными в колонне II (разрушившейся ранее). При этом у колонны I имеется некоторый запас огнестойкости, выражающийся в получении более высоких значений по сравнению с экспериментальными. Поэтому формула (14) в инженерной практике является приемлемой для расчета центрифугированных железобетонных колонн кольцевого сечения, обогреваемых по всему наружному периметру.

Выводы

В ходе проведения теоретических исследований, основанных на результатах натуральных испытаний центрифугированных железобетонных колонн кольцевого сечения под совместной температурно-силовой нагрузкой, получены следующие результаты.

Выявлено отсутствие влияния газовой среды в полости конструкций кольцевого сечения, обогреваемых по всему наружному периметру, на температурное поле в указанных конструкциях.

Скорректирована формула для расчета температур в сечении полых колонн, обогреваемых по всему наружному периметру. В результате проведенного моделирования в разрезе полного факторного эксперимента получено уравнение регрессии для коэффициента k_{hol} , учитывающего увеличение температур в сечении полых железобетонных конструкций по сравнению со сплошными.

Проведена оценка влияния неоднородности центрифугированного бетона на прогрев конструкций из него. Получено уравнение, описывающее коэффициент ускорения прогрева центрифугированных железобетонных конструкций за счет неоднородности бетона в поперечном сечении изделий k_{het} , которое связано с их толщиной.

Оценено влияние тонкостенности колонн на ускорение их прогрева за счет раскрытия трещин в бетоне при пожаре. Проведенный анализ экспериментальных температур до и после раскрытия трещин позволил получить зависимость для коэффициента k_{th} , учитывающего усиленный прогрев при раскрытии трещин. Данный коэффициент изменяется в диапазоне 1,00...1,40. Температура начала раскрытия трещин составляет 550 °C.

Разработана методика, позволяющая решить теплотехническую задачу огнестойкости для центрифугированных железобетонных колонн. Она включает в себя проведение компьютерного моделирования и корректировку полученного температурного поля коэффициентами k_{het} и k_{th} . Проведенное моделирование с учетом k_{het} и k_{th} и воздействия реальных температур греющей среды показало приемлемую сходимость полученных температур с экспериментальными.

При помощи коэффициентов k_{hol} , k_{het} и k_{th} адаптирована формула расчета температур в сечении центрифугированных железобетонных колонн кольцевого сечения, подвергаемых воздействию стандартного температурного режима. Данную формулу допустимо применять в инженерной практике при расчете пределов огнестойкости указанных конструкций, обогреваемых по всему наружному периметру.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Пецольд Т.М.* Железобетонные центрифугированные конструкции промышленных зданий и сооружений : дис. ... д-ра техн. наук. Минск, 1983. 534 с.
2. *Пастушков Г.П.* Многоэтажные каркасные здания с несущими железобетонными центрифугированными элементами : дис. ... д-ра техн. наук. Минск, 1994. 487 с.
3. *Пастушков В.Г., Пастушков Г.П.* Опыт применения центрифугированных линейных элементов с поперечными сечениями различного профиля при строительстве многоэтажных зданий // *Архитектура и строительные науки*. 2014. Т. 18, 19. № 1, 2. С. 36–38. URL: <http://rep.bntu.by/handle/data/23412>
4. *Remitz J., Wichert M., Empelmann M.* Ultra-high performance spun concrete poles. Part I: Load-bearing behavior // *Proceedings of HPC/CIC*. 2017. Vol. 57 (54).
5. *Kolleger J., Burtsher St.L.* Bruchversuche an hochbewehrten Schleuderbetonstützen Tragfähigkeit und Bemessungsmodell // *Zement+Beton*. 2004. S. 10–15.
6. *Burtscher St.L., Rinnhofer G., Benko V., Kolleger J.* Zerstörende Großversuche an hochbewehrten Schleuderbetonstützen // *Bauingenieur*. 2003. Band 78. Ausgabe 04. S. 187–192.
7. *Müller C., Empelmann M., Hude F., Adam T.* Schleuderbetonstützen aus hochfester Bewehrung und ultrahochfestem Beton // *Beton- und Stahlbetonbau*. 2012. Band 107. No. 10. S. 690–699. DOI: 10.1002/best.201200040
8. *Flint G.* Fire induced collapse of tall buildings : dissertation of doctor of technical sciences. Edinburg, 2005. 393 p.
9. *Королев Д.С., Бондаренко Е.А.* Огнестойкость как базовый элемент системы противопожарной защиты зданий и сооружений // *Пожарная безопасность: проблемы и перспективы*. 2018. Т. 1. № 9. С. 423–425. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36576217>
10. *Зайцев А.М., Болгов В.А.* Численное моделирование прогрева строительных конструкций для определения коэффициента теплоотдачи при пожарах // *Современные проблемы гражданской защиты*. 2015. № 1 (14). С. 19–26. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23434990>
11. *Полехова И.И., Жамойдик С.М., Нехань Д.С., Батан Д.С.* Исследование физико-механических свойств центрифугированного бетона // *Наука и техника*. 2019. Т. 18. № 4. С. 319–329. DOI: 10.21122/2227-1031-2019-18-4-319-329
12. *Stelmakh S.A., Scherban E.M., Korobkin A.P., Tkacheva K.E., Osadchenko S.A., Kadrov A.A.* Study of changes in strength properties along section thickness of high-strength centrifuged and vibro-centrifuged concrete // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing. 2020. Vol. 905 (1). Pp. 012060–012066. DOI: 10.1088/1757-899X/905/1/012060
13. *Michalek J., Sobótka M.* Assessment of internal structure of spun concrete using image analysis and physicochemical methods // *Materials*. 2020. Vol. 13 (18). Pp. 3987–4011. DOI: 10.3390/ma13183987
14. *Dedukh D.A., Schszukiy V.L., Kuzmenko A.A.* Spun concrete properties of power transmission line supports // *Инженерно-строительный журнал*. 2017. Vol. 7 (75). Pp. 37–51. DOI: 10.18720/MCE.75.4
15. *Нехань Д.С.* Физические и теплофизические характеристики центрифугированного бетона в тонкостенных конструкциях // *Актуальные проблемы и тенденции развития техносферной безопасности в нефтегазовой отрасли : мат. III Междунар. науч.-практ. конф., Уфа, 2 декабря 2020 г. Уфа : Изд-во УГНТУ, 2020. С. 25–27.*
16. *Полехова И.И., Нехань Д.С.* Экспериментальные и теоретические исследования физических и теплофизических характеристик центрифугированного бетона // *Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси*. 2019. Т. 3. № 3. С. 255–267. DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-3.255
17. *Stelmakh S.A., Shcherban E.M., Shuyskiy A.I., Nazhnev M.P.* Theoretical and practical aspects of the formation of the variational structure of centrifuged products from heavy concrete // *Materials Science Forum “Trans Tech Publications Ltd”*. 2018. Vol. 931. Pp. 502–507. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.931.502
18. *Полехова И.И., Нехань Д.С.* Результаты натурных огневых испытаний центрифугированных железобетонных колонн кольцевого сечения // *Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси*. 2020. Т. 4. № 2. С. 142–159. DOI: 10.33408/2519-237X.2020.4-2.142
19. *Ba G., Miao J., Zhang W., Liu C.* Influence of cracking on heat propagation in reinforced concrete structures // *Journal of Structural Engineering*. 2016. Vol. 142 (7). P. 04016035. DOI: 10.1061/(asce)st.1943-541x.0001483

20. Ширко А.В., Камлюк А.Н., Полеводо И.И., Зайнудинова, Н.В. Теплотехнический расчет огнестойкости элементов железобетонных конструкций с использованием программной среды Ansys // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. 2013. № 2 (18). С. 260–269. URL: <https://vestnik.ucp.by/ru/archive>
21. Kudryashov V., Kien N.T., Lupandin A., Shirko A. Fire resistance evaluation of reinforced concrete structures // Safety of Technogenic Environment. 2012. Vol. 3. Pp. 45–49.
22. Полеводо И.И., Нехань Д.С. Определение параметров теплообмена между внутренней поверхностью железобетонных колонн кольцевого сечения и газовой средой в их полости для решения теплотехнической задачи огнестойкости // Пожарная и аварийная безопасность : сб. мат. XV Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 30-й годовщине МЧС России, Иваново, 17–18 ноября 2020 г. Иваново : ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2020. С. 349–352.
23. Александров А.А., Григорьев Б.А. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара : справочник. М. : Изд-во МЭИ, 1999. 168 с.
24. Соколовская И.Ю. Полный факторный эксперимент: методические указания для самостоятельной работы студентов. Новосибирск : НГАВТ, 2010. 36 с.
25. Жамойдик С.М. Огнестойкость стальных колонн с конструктивной огнезащитой : дис. ... канд. техн. наук. Минск, 2017.
26. Кудряшов В.А., Ботян С.С., Жамойдик С.М. Оценка эффективного коэффициента теплопроводности цементных армированных стекловолокном плит до 1200 °С в условиях пожара // Актуальные проблемы пожарной безопасности : мат. XXXI Междунар. науч.-практ. конф., Москва, 5–7 июня. 2019 г. М. : ВНИИПО, 2019. С. 51–55.
27. Tang S., Tang C., Liang Z., Zhang Y., Li L. Numerical Study of the Influence of Material Structure on Effective Thermal Conductivity of Concrete // Heat Transfer Engineering. 2012. Vol. 33 (8). Pp. 732–747. DOI: 10.1080/01457632.2011.635988
28. Нехань Д.С., Кураченко И.Ю., Олесиук Н.М., Креер Л.А. Исследования температуры газовой среды при проведении натурных огневых испытаний строительных конструкций // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. 2020. Т. 4. № 2. С. 130–141. DOI: 10.33408/2519-237X.2020.4-2.130.

REFERENCES

1. Petsol'd T.M. *Reinforced concrete centrifuged structures of industrial buildings and structures : dissertation of doctor of technical sciences*. Minsk, 1983; 534. (rus).
2. Pastushkov G.P. *Multi-storey frame buildings with load-bearing reinforced concrete centrifuged elements : dissertation of doctor of technical sciences*. Minsk, 1994; 487. (rus).
3. Pastushkov V.G., Pastushkov G.P. Experience in the use of centrifuged linear elements with cross-sections of various profiles in the construction of multi-storey buildings. *Arkhitektura i stroitel'nye nauki/Architecture and building sciences*. 2014; 18,19 (1,2):36-38. (rus).
4. Remitz J., Wichert M., Empelmann M. Ultra-high performance spun concrete poles. Part I: Load-bearing behavior. *Proceedings of HPC/CIC*, 2017; 57(54).
5. Kolleger J., Burtsher St.L. Fracture tests on highly reinforced spun concrete columns, load-bearing capacity and design model. *Zement+Beton*. 2004; 10-15. (ger).
6. Burtsher St.L., Rinnhofer G., Benko V., Kolleger J. Destructive large-scale tests on highly reinforced spun concrete columns. *Bauingenieur*. 2003; 78(04):187-192. (ger).
7. Müller C., Empelmann M., Hude F., Adam T. Spun concrete columns made of high-strength reinforcement and ultra-high-strength concrete. *Beton- und Stahlbetonbau*. 2012; 107(10):690-699. DOI: 10.1002/best.201200040 (ger).
8. Flint G. *Fire induced collapse of tall buildings : dissertation of doctor of technical sciences*. Edinburgh, 2005; 393.
9. Korolev D.S., Bondarenko E.A. Fire resistance, as a basic element of fire-fighting protection systems for buildings and facilities. *Fire safety: problems and prospects*. 2018; 1(9):423-425. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36576217> (rus).
10. Zaytsev A.M., Bolgov V.A. Numerical modeling heating construction for determining heat transfer coefficient in case of fire. *Modern problems of civil protection*. 2015; 1(14):19-26. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23434990> (rus).
11. Polevoda I.I., Zhamoydik S.M., Nekhan' D.S., Batan D.S. Study of physical and mechanical properties of centrifuged concrete. *Science & Technique*. 2019; 18(4):319-329. DOI: 10.21122/2227-1031-2019-18-4-319-329 (rus).

12. Stelmakh S.A., Scherban E.M., Korobkin A.P., Tkacheva K.E., Osadchenko S.A., Kadrov A.A. Study of changes in strength properties along section thickness of high-strength centrifuged and vibro-centrifuged concrete. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing. 2020; 905(1):012060-012066. DOI: 10.1088/1757-899X/905/1/012060
13. Michałek J., Sobótka M. Assessment of internal structure of spun concrete using image analysis and physicochemical methods. *Materials*. 2020; 13(18):3987-4011. DOI: 10.3390/ma13183987
14. Dedukh D.A., Schsuzkiy V.L., Kuzmenko A.A. Spun concrete properties of power transmission line supports. *Engineering and construction journal*. 2017; 7(75):37-51. DOI: 10.18720/MCE.75.4
15. Nekhan' D.S. Physical and thermophysical characteristics of spun concrete in thin-walled structures. *Actual problems and development trends of the technosphere industry in the oil and gas industry : materials of the III International Scientific and Practical Conference, Ufa, December 2, 2020*. Ufa, Publishing house of USPTU, 2020; 25-27. (rus).
16. Polevoda I.I., Nekhan' D.S. Experimental and theoretical researches of physical and thermo-physical characteristics of centrifuged concrete. *Journal of Civil Protection*. 2019; 3(3):255-267. DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-3.255 (rus).
17. Stelmakh S.A., Shcherban E.M., Shuyskiy A.I., Nazhnev M.P. Theoretical and practical aspects of the formation of the variational structure of centrifuged products from heavy concrete. *Materials Science Forum "Trans Tech Publications Ltd"*. 2018; 931:502-507. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.931.502
18. Polevoda I.I., Nekhan' D.S. Results of full-scale fire test of spun reinforced concrete columns of annular section. *Journal of Civil Protection*. 2020; 4(2):142-159. DOI: 10.33408/2519-237X.2020.4-2.142 (rus).
19. Ba G., Miao J., Zhang W., Liu C. Influence of cracking on heat propagation in reinforced concrete structures. *Journal of Structural Engineering*. 2016; 142(7):04016035. DOI: 10.1061/(asce)st.1943-541x.0001483
20. Shirko A.V., Kamlyuk A.N., Polevoda I.I., Zaynudinova N.V. Thermal calculation of fire resistance of elements of reinforced concrete structures using the ANSYS environment program. *Vestnik of the Institute for Command Engineers of the MES of the Republic of Belarus*. 2013; 2(18):260-269. URL: <https://vestnik.ucp.by/ru/archive> (rus).
21. Kudryashov V., Kien N.T., Lupandin A., Shirko A. Fire resistance evaluation of reinforced concrete structures. *Safety of Technogenic Environment*. 2012; 3:45-49.
22. Polevoda I.I., Nekhan' D.S. Determination of heat transfer parameters between the inner surface of annular-section columns and gaseous medium in their hollow for solving the thermal problem of fire resistance. *Fire and emergency safety : collection of materials of the XV International scientific and practical conference dedicated to the 30th anniversary of the EMERCOM of Russia, Ivanovo, November 17-18, 2020*. Ivanovo, Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the EMERCOM of Russia, 2020; 349-352. (rus).
23. Aleksandrov A.A., Grigor'yev B.A. *Tables of thermophysical properties of water and steam: Handbook*. Moscow, MPEI Publishing House, 1999; 168. (rus).
24. Sokolovskaya I.Yu. *Full factorial experiment: guidelines for independent work of students*. Novosibirsk, NGAVT, 2010; 36. (rus).
25. Zhamoydik S.M. *Fire resistance of the steel columns with structural fire protection : dissertation of doctor of technical sciences*. Minsk, 2017; 124. (rus).
26. Kudryashov V.A., Botyan S.S., Zhamoydik S.M. Estimation of the effective thermal conductivity coefficient of cement glass fiber-reinforced plates up to 1200 °C under fire conditions. *Actual problems of fire safety : materials of the XXXI International Scientific and Practical Conference, Moscow, June 5-7, 2019*. Moscow, VNIPO, 2019; 51-55. (rus).
27. Tang S., Tang C., Liang Z., Zhang Y., Li L. Numerical study of the influence of material structure on effective thermal conductivity of concrete. *Heat Transfer Engineering*. 2012; 33(8):732-747. DOI: 10.1080/01457632.2011.635988
28. Nekhan' D.S., Kurachenko I.Yu., Olesiyuk N.M., Kreer L.A. Temperature studies of the gaseous medium during full-scale fire tests of building constructions. *Journal of Civil Protection*. 2020; 4(2): 130-141. DOI: 10.33408/2519-237X.2020.4-2.130 (rus).

Поступила 14.01.2021, после доработки 19.02.2021;
принята к публикации 01.03.2021

Received January 14, 2021; Received in revised form February 19, 2021;
Accepted March 1, 2021

Информация об авторах

ПОЛЕВОДА Иван Иванович, канд. техн. наук, доцент, начальник университета, Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», г. Минск, Беларусь; РИНЦ ID: 1034546; ORCID: 0000-0003-2469-3553; e-mail: ip@ucp.by

НЕХАНЬ Денис Сергеевич, адъюнкт факультета подготовки научных кадров, Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», г. Минск, Беларусь; РИНЦ ID: 1037873; ORCID: 0000-0001-7838-4663; e-mail: denis_nechany@mail.ru

Information about the authors

Ivan I. PALEVODA, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Head of University, State Educational Establishment “University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus”, Minsk, Belarus; ID RISC: 1034546; ORCID: 0000-0003-2469-3553; e-mail: ip@ucp.by

Dzianis S. NEKHAN, Adjunct at Faculty of Postgraduate Scientific Education, State Educational Establishment “University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus”, Minsk, Belarus; ID RISC: 1037873; ORCID: 0000-0001-7838-4663; e-mail: denis_nechany@mail.ru

**ООО «ЭТРА-спецавтоматика»**

630015, г. Новосибирск,
ул. Планетная, д. 30, корп. 5
Тел./факс: +7 (383) 278-72-59
E-mail: etra.s@yandex.ru; www.etra.ru



Эрвист

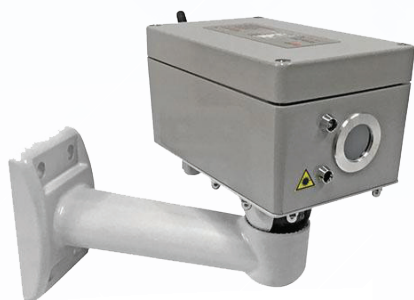
ООО «Компания ЭРВИСТ»

111020, г. Москва, ул. 2-ая Синичкина, д. 9а,
стр. 10, БЦ «Синица Плаза»
Тел./факс: +7 (499) 270 0909, +7 (495) 987-47-57
E-mail: info@ervist.ru; www.ervist.ru

Тепловизионный индикатор критического состояния

«СНЕГИРЬ»

как средство сверхраннего обнаружения
места пожара или перегрева оборудования

**АННОТАЦИЯ**

Предлагается устройство, которое с помощью круглосуточной тепловизионной съемки автоматически, без участия оператора осуществляет анализ температуры контролируемых объектов, определяет неисправность объектов по их аномальному нагреву и формирует извещение об опасной ситуации.

Ключевые слова: ТИКС; тепловизор; аналитический тепловизор; первичный признак возникновения пожара; температура поверхности; контроль перегрева оборудования

Идея сверхраннего обнаружения пожара обсуждается уже давно. Это очень заманчиво: предотвратить пожар на стадии, когда достаточно плеснуть на возгорание стакан воды или выдернуть штепсель дымящегося прибора из сети. При этом практически отсутствует ущерб не только от пожара, но и от его тушения. Для этого нужно контролировать первичный признак возникновения пожара, а именно температуру поверхности физических тел, идентифицируя температуру, не нормальную для контролируемого тела. Как отмечено в работе [1]: зная температуру на поверхности вещества как в начальный момент времени, так и в некоторый зарегистрированный (или контролируемый) момент времени, можно оценить ситуацию и спрогнозировать характер развития будущего пожара и остальные параметры, необходимые для принятия мер по предупреждению дальнейших негативных последствий.

В работе пожарных извещателей используются вторичные признаки нагрева тела. Дымовые извещатели реагируют на частицы сажи, которые транспортируются тепловым потоком. Газовые из-

вещатели реагируют на изменения химического состава воздуха, которые также распространяются с тепловым потоком и на близких расстояниях газовой диффузией. И в том, и в другом случаях мощность теплового потока должна быть такова, чтобы обеспечить доставку контролируемых компонентов до извещателя, установленного на потолке. Тепловые извещатели вроде бы просто реагируют на тепло, однако простейшие расчеты показывают, что для обеспечения обнаружения конвективной колонки воздуха тепловым извещателем хотя бы классами А1 или А1R мощность пожара должна составлять десятки, сотни киловатт. А такой пожар уже условным стаканом воды не потушишь.

Однако, если знать, что поверхность объекта уже достигла температуры, которой в обычной ситуации быть не должно, можно принять действия по устранению такой ситуации и предотвратить опасное развитие событий. Например, если токоведущие (за исключением контактов и контактных соединений), нетоковедущие и металлические части, не изолированные и не соприкасающиеся с изоляционными

материалами распределительного устройства, превышают допустимую температуру 120 °С¹, то можно своевременно отреагировать на эту ситуацию, не дожидаясь повреждения оборудования и пожара.

Конечно, к каждому вероятному источнику пожара не прикрепишь термометр. Наиболее реально контролировать температуру поверхности тела с помощью бесконтактного способа, анализируя инфракрасное излучение объекта.

Инфракрасный анализ поверхности объекта

Инфракрасная термография — достаточно эффективная технология для обнаружения точек повышенного нагрева оборудования и точек контактов в местах электрических соединений [2].

Тепловизионные приборы (тепловизоры) определяют поверхностную температуру объекта бесконтактным способом, что позволяет провести количественный анализ повышения температуры. Это позволяет контролировать процессы, которые скрыты от глаз за оболочкой или преградами вне зависимости от условий освещения.

Впервые инфракрасное излучение было зарегистрировано английским астрономом сэром Уильямом Гершелем. Произошло это в 1800 г. Гершель проводил серию опытов, чтобы выяснить, какой нагревательной способностью обладают различные участки солнечного света. Исследуя спектр, он разложил солнечный свет призмой и измерял температуру его участков, поднося ртутный термометр к разным цветовым полосам спектра, что показало их различную температуру. Ученый обнаружил, что нагрев стал расти при перемещении термометра за красную границу оптического диапазона спектра. Гершель пришел к выводу, что кроме оптически видимого излучения есть еще невидимое глазом, тепловое или инфракрасное излучение.

В XX в. использование инфракрасного (ИК) излучения как метод исследования обрело строгую научную базу благодаря фундаментальным работам Планка, Эйнштейна, Кирхгофа, Ламберта, Голицына, Вина в области теплового излучения.

Практическому применению тепловидения дало мощный толчок развитие полупроводниковой электроники в 1960–1970 годах.

Сейчас тепловизор — доступное устройство. Это произошло из-за того, что появились электронные матричные системы, неохлаждаемые болометрические матрицы, улучшены метрологические характеристики тепловизоров.

Используя закон Кирхгофа, получено основное уравнение ИК термографирования [3]. Посколь-

ку объект контроля всегда находится в окружении других физических тел, также испускающих и отражающих ИК (тепловое) излучение, то суммарное излучение тела, регистрируемое, например, тепловизором, складывается из собственного, прошедшего и отраженного излучения. С учетом того, что обычно мы имеем дело с непрозрачными объектами, и того, что при дальности контроля до 50 м можно пренебречь поглощением в атмосфере, уравнение термографирования показывает связь между истинной и радиационной температурами:

$$T_{ap}^n = \varepsilon T^n + (1 - \varepsilon) T_{amb}^n,$$

где T_{ap} — кажущаяся (apparent) или радиационная температура;

T — истинная температура;

T_{amb} — температура среды (ambient), в нашем случае температура воздуха;

ε — коэффициент излучения (или степень черноты), характеризует свойства поверхности объекта, температуру которого измеряет направленный на него пирометр. Этот коэффициент определяется как отношение энергии, излучаемой данной поверхностью при определенной температуре, к энергии излучения абсолютно черного тела при той же температуре. Коэффициент излучения может принимать значения от 0,1 до близких к 1;

n — параметр, зависящий от длины волны, для длины волны 7...14 мкм $n = 5$.

ИК тепловизор измеряет радиационную температуру. Значит, получив T_{ap} , зная T_{amb} и ε , можно рассчитать истинную температуру T поверхности, излучающую в инфракрасном диапазоне.

Зная истинную температуру, можно выделить критическое состояние объекта.

Критическое состояние — это предельное состояние объекта, выход из которого приводит к повреждению или возгоранию объекта.

Критическое состояние характеризуется абсолютной температурой объекта, относительной температурой по сравнению с температурой воздуха или скоростью приращения абсолютной температуры объекта.

Конструкции тепловизоров

Типовая конструкция тепловизора хорошо описана в Википедии²: тепловизор (тепло + лат. visio — видение) — устройство для наблюдения за распределением температуры исследуемой поверхности. Распределение температуры отображается на дисплее как цветная картинка, где разным температурам соответствуют разные цвета.

¹Основные положения методики инфракрасной диагностики электрооборудования и ВЛ: (РД 153-34.0-20.363-99) : утвержден и введен в действие РАО ЕЭС России 14 декабря 1999 г.

²Тепловизор : Википедия. Свободная энциклопедия. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Тепловизор> (дата обращения: 03.09.2020).

Такое устройство может быть применимо для эпизодических осмотров с участием оператора, но не подойдет для непрерывного контроля с целью сверххранного обнаружения пожара или перегрева оборудования.

Нужен другой способ контроля — устройство, которое использует тепловизионную матрицу и принимает решение о тревожной ситуации автоматически, без участия оператора, работает в режиме 24/7. Такие устройства существуют и делятся на два типа.

1. Тепловизор, который интегрируется в систему видеомониторинга и передает термограммы без анализа тепловизором. На основе анализа видеокadra тревожную ситуацию выделяет программное обеспечение, размещенное на сервере системы видеонаблюдения.

Примером может служить система Opgal Optronic Industries Ltd., США [4], предназначенная для предприятий по переработке отходов. На этих предприятиях перерабатываемый материал складывается в большие кучи, представляющие собой смесь тканей, пластика, металла и резины, часто промасленные. Эта смесь материалов очень чувствительна к воспламенению и горению.

2. Автоматический аналитический тепловизор — измерительное бесконтактное тепловизионное устройство, которое автоматически анализирует термограмму, определяет тревожную ситуацию по критериям, устанавливаемым пользователем при инсталляции устройства, и передает на верхний уровень факт обнаружения тревожной ситуации.

Для таких устройств сервер, специальное программное обеспечение для обработки телевизионных изображений или внешние видеоинтерфейсы больше не нужны. Аналитические тепловизионные камеры предлагают полное, законченное решение. Это значительно снижает сложность системы, затраты на установку, эксплуатацию и передачу на верхний уровень системы, в то время как стабильность системы значительно улучшается.

Такие устройства выпускает, например, FLIR Systems, США, — тепловизионные камеры FLIR FC-серии S с функцией измерения температуры и программируемым предупреждением об опасности [5]. При превышении или уменьшении температуры объекта контроля срабатывает сигнализация, которая информирует оператора по электронной почте, подает цифровой сигнал по TCP/IP или VMS сигнализацию.

Также Automation Technology GmbH, Германия, в серии IRSX предлагает интеллектуальные автономные тепловизионные системы, предназначенные для промышленного использования [6]. Камеры IRSX реализует подход «все-в-одном»: объединяют калиброванный тепловизионный датчик с мощным процессором обработки данных и различные про-

мышленные интерфейсы в компактном прочном корпусе класса защиты IP67, который можно разместить даже в ограниченном пространстве.

Тепловизионный индикатор критических состояний «Снегирь» (ООО «ЭТРА-спецавтоматика», Новосибирск, Россия)

Тепловизионный индикатор критических состояний «Снегирь» относится к автоматическим аналитическим тепловизорам.

Для упрощения применения прибор отнесен к категории индикаторов. Индикаторные устройства не подвергаются поверке, поэтому нет необходимости для периодического демонтажа, поверки и повторного монтажа. Достаточно (и необходимо) осуществлять контроль над исправностью устройства, чтобы использовать средства измерения для контроля технологических параметров, для которых не нормируется точность измерений.

Назначение устройства — автоматический контроль критического состояния объекта, которое характеризуется установленным порогом абсолютной температуры.

Исходя из назначения и конструктивных особенностей, устройство именуется «тепловизионный индикатор критических состояний (ТИКС) «Снегирь»».

ТИКС «Снегирь» — это **стационарный прибор**, который обеспечивает **непрерывное автоматическое тепловизионное наблюдение** за объектом на протяжении нескольких лет.

Естественно, что при таком режиме наблюдения никакой оператор не может длительно контролировать тепловизионную картинку (термограмму).

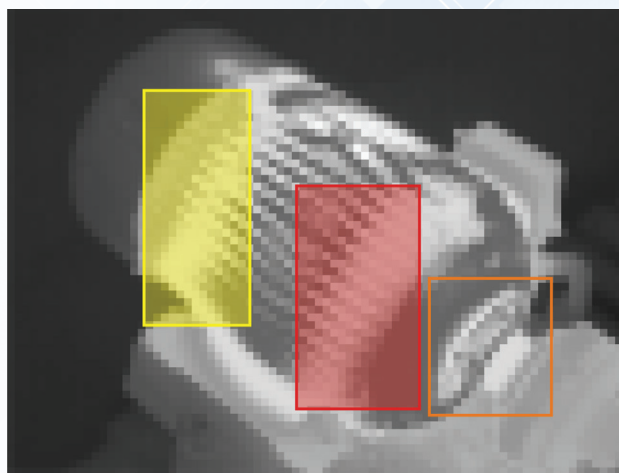


Рис. 1. Термограмма ТИКС «Снегирь». В контуре 1 (красный) найдено превышение пороговой температуры 80 °С, в контуре 2 (желтый) — превышение пороговой температуры 80 °С. Превышение в контурах 1 и 2 соответствует перегреву статора. В контуре 3 (оранжевый) отсутствует превышение пороговой температуры 110 °С подшипником ротора



Рис. 2. Термограмма ТИКС «Снегирь» кабелей, подключенных к силовым электрическим автоматам. В контуре 2 (оранжевый) зафиксировано превышение пороговой температуры 60 °С. В контурах 1 и 3 (синий и красный) превышение пороговой температуры отсутствует

ТИКС «Снегирь» с интервалом 1,3 с автоматически получает и анализирует термограмму: алгоритм оценки высокого риска возгорания (часто называемый алгоритмом поиска горячих точек) исследует термограмму и определяет пиксели, в которых превышен температурный порог, заданный пользователем. Если будут найдены признаки критического состояния, то прибор передает сигнал о тревоге.

Признаком критического состояния является абсолютный порог температуры, превышение которого означает тревогу. Порог температуры устанавливается при установке ТИКС.

При настройке ТИКС можно указать до восьми зон, очертив их контур на термограмме сервисной программы, для каждой из которой можно указать свой порог критической температуры. Зоной может быть площадь как внутри контура (контур включения), так и за пределами контура (контур исключения) (рис. 1, 2).

Для предыдущего примера можно исключить чайник из анализа, не реагировать при любой его температуре, а для розетки установить порог критического состояния 40 °С.

Поскольку ТИКС ищет критическое состояние, то анализируемая температура критического состояния цели составляет от 20 до 230 °С.

Так как тревожный сигнал формируется автоматически, то ТИКС должен иметь очень малую частоту ложных тревог. Для этого используется алгоритм, который в термограмме выделяет пиксели с температурой не ниже установленного порога критического состояния, в последующих кадрах анализирует их поведение (сохранились, расширились, исчезли) и, на основании этого, ТИКС принимает решение о выдаче тревожного сигнала.

Индикатор ТИКС может быть установлен в различных местах, в том числе труднодоступных. Поэтому необходимость поверки может вызывать серьезные проблемы доступа и замены на время поверки. Поэтому ТИКС не имеет метрологических параметров точности измерения температуры и не подлежит поверке за все время службы.

По этим же причинам компьютер со служебной программой может подключаться к ТИКС по беспроводному каналу. Собственно канал обмена нужен весьма редко: при наладке или при считывании кадра тревожной термограммы из памяти устройства. Беспроводной канал связи позволяет не прокладывать кабель для столь редких нужд.

Для повышения точности измерения тепловизионными приборами нужно учитывать меняющиеся параметры, такие как солнечная радиация, резкие перепады температуры окружающего воздуха, порывы ветра. ТИКС предназначен для работы внутри строительных конструкций, в которых относительно медленно меняются температура воздуха, сила воздушных потоков, отсутствует прямое солнечное излучение.

На рис. 3 представлен ТИКС «Снегирь», полностью готовый к установке.

Системная интеграция ТИКС «Снегирь»

Средством передачи сигналов тревоги являются сухие контакты восьми реле (по количеству контуров), которые коммутируются при обнаружении или исчезновении критического состояния, а также отдельные сухие контакты реле, которые коммутируются при обнаружении неисправности устройства.

Предусмотрено подключение по интерфейсу RS422.

Для получения термограммы используется компьютер с установленной сервисной программой.



Рис. 3. Общепромышленный вариант ТИКС «Снегирь»

Технические характеристики ТИКС «Снегирь»

Наименование	Значение
Напряжение питания, В	12 ± 1,2
Максимальный потребляемый ток, А	0,16
Спектральная чувствительность	Длинноволновое инфракрасное излучение с длиной волны 8...14 мкм
Количество чувствительных элементов (пикселей), горизонталь × вертикаль	80 × 60
Угол обзора горизонтальный, град. FOV – horizontal	51
Угол обзора диагональный, град. FOV – diagonal	63,5
Мгновенный угол поля зрения iFOV, мрад	11,127
Коэффициент излучения контролируемых объектов ε	От 0,7 до 1,0
Дальность до контролируемых объектов L , м, не более	50
Максимальная скорость приближающегося объекта, м/с	15,6
Выходные интерфейсы	Реле «сухой контакт»/RS422
Интерфейсы установок ТИКС	Проводной RS422/беспроводной WiFi
Устойчивость к электромагнитной обстановке	3-я степень
Степень защиты оболочкой	IP65
Эксплуатационная температура, °C	От 5 до 50

мой, который подключается к ТИКС по интерфейсу RS422 или по беспроводному интерфейсу WiFi.

Для определения тревожной ситуации ТИКС непрерывно не передает визуальную термограмму оператору, поскольку выделение критического состояния происходит автоматически.

Визуальная термограмма является вспомогательным средством. Она нужна при настройке индикатора на объекте, когда можно увидеть, что находится в поле зрения ТИКС, указать контурами зоны контроля и пороги температуры.

Кроме этого, если есть необходимость увидеть, что и в каком месте поля зрения послужило причиной тревоги, можно получить фиксированный кадр, который сохраняется в памяти ТИКС при тревоге. В фиксированном кадре отмечается контур зоны, в которой было выделено критическое состояние.

Технические характеристики ТИКС «Снегирь»

В индикаторе ТИКС используется модуль инфракрасной матричной камеры разрешением 80 × 60 пикселей. Это гораздо более эффективно, чем использование одноточечного болометра, поскольку в этом случае можно контролировать большую пло-

щадь и несколько объектов, а также использовать алгоритмы защиты от ложных тревог.

Вместе с тем, по сравнению с ИК камерами большого разрешения такой модуль при меньших затратах решает задачу обнаружения критического состояния оборудования и помещений.

ТИКС «Снегирь» (Exd) — взрывозащищенный вариант индикатора (рис. 4), относится к взрывозащищенному электрооборудованию групп I, II и III по ГОСТ 31610.0–2014 (IEC 60079-0:2011)³ и предназначен для применения во взрывоопасных зонах в соответствии с установленной маркировкой взрывозащиты,

Маркировка взрывозащиты:

- оболочка из алюминиевого сплава IEx d [ia Ga] II C T6 Gb X / Ex tb [ia Da] III C T85°C Db X;
- оболочка из нержавеющей стали IEx d [ia Ga] II C T6 Gb X / PB Ex d [ia Ma] I Mb X / Ex tb [ia Da] III C T85°C Db X.

Технические характеристики ТИКС «Снегирь» приведены в таблице.

³ ГОСТ 31610.0–2014. Взрывоопасные среды. Часть 0. Оборудование. Общие требования: принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 14 ноября 2014 г. № 72-П).

Особенности ТИКС «Снегирь»:

- устройство ТИКС обеспечивает непрерывное измерение, анализ температуры поверхностей физических тел и определение критического состояния автономно, в том числе без участия оператора;
- устройство ТИКС обеспечивает безопасность оператора. Оператору нет необходимости находиться рядом с прибором при измерениях. Особенно это важно, если измерения проводятся при высокой температуре и влажности или в атмосфере опасных газов;
- устройство ТИКС обеспечивает контроль в труднодоступных местах. Есть поверхности и устройства, расположенные в труднодоступных и даже недоступных местах, температуру которых необходимо контролировать. Устройство, заранее размещенное в таких местах, будет осуществлять автоматический контроль;
- устройство ТИКС показательно. Термограмма позволяет увидеть причину тревоги. При срабатывании в тревожной ситуации термограмма, сделанная в этот момент, сохраняется в памяти прибора, что позволяет впоследствии увидеть причину и опасное место, которое было обнаружено устройством;
- устройство ТИКС определяет с высокой точностью месторасположение аномального повышения температуры, что позволяет не тратить время на поиски места перегрева;
- устройство ТИКС малоинерционно;
- устройство ТИКС позволяет контролировать движущиеся объекты;

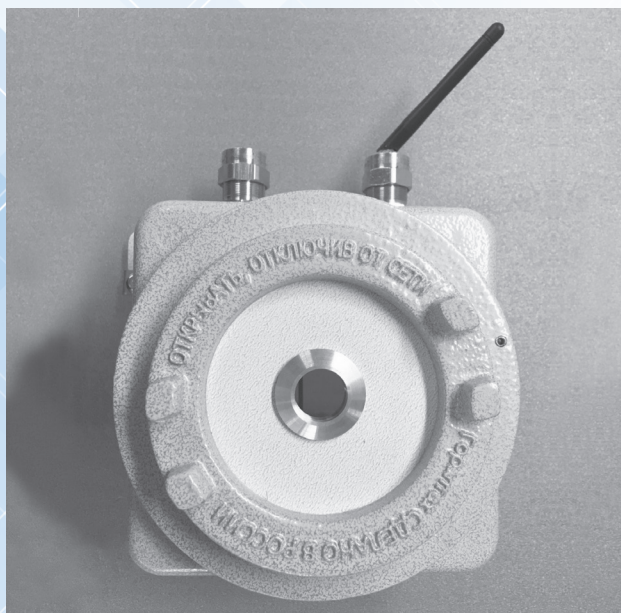


Рис. 4. Взрывозащищенный вариант ТИКС «Снегирь» (Exd) в оболочке из алюминиевого сплава



Рис. 5. ТИКС «Снегирь» в автомобильном тоннеле. Зафиксировано превышение пороговой температуры 80 °C в контуре (красный) в верхней части кузова грузового автомобиля

- устройство ТИКС не требует периодической метрологической проверки.

Возможное использование ТИКС «Снегирь»:

- мониторинг технологического оборудования: контроль над узлами и устройствами производственных линий или другого технологического оборудования, у которых существует риск разрушения или возгорания в результате перегрева или неправильной работы [7];
- мониторинг мест хранения материалов: контроль пожарной опасности, предотвращение самовозгорания или загрузки горячего материала в угольных складах, отвалах, объектах нефтяной и химической промышленности, складах древесины;
- противопожарный контроль, обеспечивающий сверхраннее обнаружение пожара: обнаружение истинной температуры объекта на расстоянии с малым временем реакции на превышение порога температуры;
- использование в энергетике и электротехнике: обнаружение перегрева токоведущих частей, вызванное увеличением сопротивления контакта, обнаружение предаварийного и аварийного режима высоковольтных устройств, трансформаторов, электродвигателей и др. [2];
- мониторинг в транспортных тоннелях (рис. 5): контроль возгорания в тоннеле. Система из ТИКС может быть организована так, чтобы определять место возгорания;
- мониторинг теплового режима технологического процесса: в этом случае критическим состоянием является нарушение технологического процесса в результате выхода температуры за пределы допустимого диапазона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артамонов В.С., Поляков А.С., Иванов А.Н. Сверхраннее и раннее обнаружение загораний: понятия, границы применения и единство // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2016. Т. 25. № 4. С. 78–83. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.09.78-83
2. Нестерук Д.А., Вавилов В.П. Тепловой контроль и диагностика : учебное пособие для подготовки специалистов I, II, III уровня. Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2007. 111 с.
3. Назаров А.А., Пехотиков В.А., Грузинова О.И., Рябинов А.И. Проверка пожарной опасности электрооборудования жилых и общественных зданий с помощью тепловизора : методические рекомендации. М. : 2004.
4. Thermal cameras spare recyclers from fire damage. URL: <https://www.opgal.com/wp-content/uploads/2016/04/Recycling-Facility.pdf> (дата обращения: 04.10.2020).
5. FLIR. Fixed Network Thermal Cameras FLIR FC-Series R (Automation) Model: FLIR FC-324R. URL: <https://www.flir.eu/products/fc-series-r-automation/> (дата обращения: 04.10.2020).
6. Automation Technology. IRSX Series. Smart Infrared Cameras for Industry 4.0. URL: <https://www.automationtechnology.de/cms/en/irsx-i-self-contained-thermal-imaging-systems/> (дата обращения: 04.10.2020).
7. Лунегов М.В., Кузин Е.Г. Возможности инфракрасной термографии при оценке технического состояния элементов ленточных конвейеров // IX Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых «Россия молодая». Кемерово, 18–21 апреля 2017 г. Кемерово, 2017. Ст. 14006. URL: <http://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/RM/2017/RM17/pages/Articles/0104006-.pdf> (дата обращения: 04.10.2020).

© **Е.Г. САЙДУЛИН,**

директор ООО «ЭТРА-спецавтоматика», г. Новосибирск

© **В.А. ШАТОХИН,**

ведущий инженер ООО «ЭТРА-спецавтоматика», г. Новосибирск

© **М.В. РУКИН,**

член Комитета по безопасности Торгово-промышленной палаты РФ,
генеральный директор ООО «Компания ЭРВИСТ», г. Москва

Учет механизма тушения пламени в интегральных и зонных моделях расчета динамики опасных факторов пожара в помещении

© Д.А. Корольченко¹ ✉, С.В. Пузач²

- ¹ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26)
- ² 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 обоснования соответствия объемно-планировочных решений зданий и сооружений требованиям пожарной безопасности проводится расчет пожарного риска. Расчет времени блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара (ОФП) выполняется при условии свободного развития пожара. Единственной системой, работа которой принимается во внимание при превышении нормативной величины пожарного риска, является система противодымной вентиляции. Действие остальных систем пожарной безопасности не учитывается из-за отсутствия надежных инженерных методов расчета их влияния на развитие пожара. Проблема разработки модифицированных математических моделей расчета динамики распространения ОФП, учитывающих влияние процесса тушения на развитие пожара, является актуальной. Цель исследования — разработка общих принципов учета механизма тушения твердых материалов и горючих жидкостей огнетушащими веществами различной природы и степени дисперсности в интегральных и зонных моделях расчета динамики ОФП.

Методика расчета. Расчеты выполнены на основе уравнения законов сохранения массы и энергии в пламенной зоне, образующейся над поверхностью горючего материала.

Результаты исследования. Предложены общие принципы учета механизма тушения пламени в математических моделях расчета динамики ОФП. Представлены основные положения и параметры, необходимые для модификации существующих интегральной и зонной моделей при различных методах пожаротушения. Проведен расчет динамики ОФП с учетом механизма тушения пламени.

Выводы. На основании результатов исследования разработаны модифицированные интегральная и зонная модели, которые позволяют проводить расчет динамики ОФП с учетом механизма тушения твердых материалов и горючих жидкостей огнетушащими веществами различной природы и дисперсности.

Ключевые слова: горение; флегматизация; огнетушащие вещества; массовый расход; дисперсность

Для цитирования: Корольченко Д.А., Пузач С.В. Учет механизма тушения пламени в интегральных и зонных моделях расчета динамики опасных факторов пожара в помещении // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2021. Т. 30. № 2. С. 78–87. DOI: 10.22227/PVB.2021.30.02.78-87

✉ Корольченко Дмитрий Александрович, e-mail: KorolchenkoDA@mgsu.ru

Introduction of a flame suppression pattern into integrated and zone models used to analyze the dynamics of hazardous factors of indoor fires

© Dmitriy A. Korolchenko¹ ✉, Sergey V. Puzach²

- ¹ Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (Yaroslavskoe Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation)
- ² 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. Fire risk calculation is performed to substantiate the compliance of space planning solutions of buildings and structures with fire safety requirements. The calculation of time needed for hazardous factors of fire to block evacuation routes is performed with account for unlimited fire propagation. The only system, whose operation is taken into account if the fire risk value is exceeded, is the smoke ventilation system. The operation

of other fire safety systems is disregarded due to the unavailability of reliable engineering methods of analysis of their influence on fire escalation. The problem of development of modified mathematical models, used to analyze the fire escalation pattern, with account to be taken of the process of fire extinguishing and its influence on fire propagation, is relevant. The purpose of this research is to develop common principles that allow to take account of the pattern of fire suppression in solid materials and combustible liquids by fire extinguishing substances having various origins and degrees of dispersion, if the fire extinguishing substances are added to integrated and zone models of development of hazardous factors of fire escalation.

Calculation methodology. The calculations are based on the equation compiled in furtherance of principles of conservation of mass and energy in the flame zone above the surface of the combustible material.

Research results. The co-authors suggest general principles for the introduction of a flame suppression pattern into integrated and zone models used to analyze the evolution of hazardous factors of indoor fires. The co-authors present the main provisions and parameters needed to modify integrated and zone models in case of different methods of fire extinguishing. The co-authors have analyzed hazardous factors of fire with account for the flame suppression pattern.

Conclusions. The co-authors applied the research findings to develop the modified integrated and zone models that allow to analyze the dynamics of hazardous factors of fire with account for the extinguishing of solid materials and combustible fluids by fire extinguishing substances having various origins and degrees of dispersion.

Keywords: combustion; oxygen reduction; fire extinguishing substances; mass flow; dispersiveness

For citation: Korolchenko D.A., Puzach S.V. Introduction of a flame suppression pattern into integrated and zone models used to analyze the dynamics of hazardous factors of indoor fires. *Pozharovzrybobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2021; 30(2):78-87. DOI: 10.22227/PVB.2021.30.02.78-87 (rus).

✉ Dmitriy Aleksandrovich Korolchenko, e-mail: KorolchenkoDA@mgsu.ru

Введение

Несмотря на применение передовых систем пожаротушения и новых огнетушащих веществ (ОТВ), пожары в жилом секторе и в производственных зданиях и сооружениях происходят регулярно, приводя к катастрофическим последствиям. Так, в последние годы произошли крупномасштабные пожары в Великобритании, Мексике и России, которые привели к жертвам среди обслуживающего персонала и пожарных [1–3].

Для обоснования соответствия объемно-планировочных решений зданий и сооружений требованиям пожарной безопасности проводится расчет пожарного риска [4–7]. В соответствии со ст. 79 Технического регламента о требованиях пожарной безопасности¹ риск гибели людей в результате воздействия опасных факторов пожара (ОФП) должен определяться с учетом функционирования систем обеспечения пожарной безопасности зданий, сооружений и строений.

В Методике определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности (далее — Методика)² при расчете пожарных рисков действие систем пожарной безопасности учитывается заданием вероятностей эффективной работы каждой из них. Однако расчет времени бло-

кирования путей эвакуации опасными факторами пожара как составная часть расчета риска выполняется при условии свободного развития пожара [8, 9]. Единственной системой, работа которой принимается во внимание при превышении нормативной величины пожарного риска, является система противодымной вентиляции. Действие остальных систем пожарной безопасности не учитывается, в первую очередь, из-за отсутствия надежных инженерных методов расчета их влияния на развитие пожара.

В связи с вышеизложенным проблема разработки модифицированных математических моделей расчета динамики распространения ОФП (далее — динамики ОФП), учитывающих влияние процесса тушения на развитие пожара, является весьма актуальной.

В отечественных [10–13] и зарубежных [14] работах, посвященных моделированию динамики ОФП, рассматривается только один способ тушения пламени — объемное тушение инертным газом.

Исследованию закономерностей тушения пламени различными способами посвящено большое количество работ [15–18]. Однако их авторы, как правило, занимались изучением только одного типа из всех известных ОТВ, поэтому вопрос о выявлении общих принципов, сопровождающих процесс тушения пламени, не возникал.

Целью настоящего исследования является разработка общих принципов учета механизма тушения твердых материалов и горючих жидкостей огнетушащими веществами различной природы и дисперсности в интегральных и зонных моделях расчета динамики ОФП. Для этого внесем параметры, учитывающие механизм тушения пламени, в интегральную и зонную модели пожара.

¹ Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федеральный закон № 123-ФЗ от 22 июля 2008 г. (ст. 3579): принят Государственной Думой 4 июля 2008 г.; одобрен Советом Федерации 11 июля 2008 г.

² 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.

Расчет динамики опасных факторов пожара с учетом механизма тушения пламени

В интегральной и зонной моделях расчета динамики ОФП [19] параметры процесса тушения пламени в общем случае должны учитываться при решении основных уравнений моделей и определении входящих в них параметров:

- тепловыделение при пожаре $Q_{\text{пож}}$, Вт: $Q_{\text{пож}} = \eta \Psi Q_{\text{н}}^{\text{р}}$
- полнота сгорания η ;
- массовая скорость выгорания горючего материала (ГМ) Ψ , кг/с: $\Psi = \Psi_{\text{уд}} F_{\text{ГМ}}$;
- удельная массовая скорость выгорания ГМ $\Psi_{\text{уд}}$, кг/(с·м²);
- площадь поверхности горения ГМ $F_{\text{ГМ}}$, м²;
- низшая рабочая теплота сгорания горючего материала $Q_{\text{н}}^{\text{р}}$ Дж/кг;
- массовый расход ОТВ $G_{\text{ОТВ}}$, кг/с;
- коэффициент теплопотерь за счет фазовых переходов и нагрева ОТВ $\varphi_{\text{т}}$.

В таблице и на рис. 1 представлены основные положения моделей расчета динамики ОФП и параметры, необходимые для модификации существующих интегральной и зонной моделей при различных методах пожаротушения.

Модификация интегральной модели пожара с учетом механизма тушения пламени

Уравнение закона сохранения массы для газовой среды помещения имеет вид [20, 21]:

$$V \frac{dp_m}{d\tau} = \psi + G_a + \rho_a W_a + G_{\text{ОТВ}} - G_m - \rho_m W_m, \quad (1)$$

где V — объем помещения, м³;

ρ_m — среднееобъемная плотность газовой среды, кг/м³;

τ — время, с;

G_a, G_m — массовый расход соответственно поступающего воздуха и вытекающих наружу газов при естественном газообмене через открытые проемы, кг/с;

ρ_a — плотность наружного воздуха, кг/м³;

W_a, W_m — объемный расход систем соответственно приточной вентиляции и дымоудаления, м³/с.

Уравнение закона сохранения энергии для газовой среды помещения можно записать как:

$$\begin{aligned} \frac{V}{k_m - 1} \frac{dp_m}{d\tau} = & \eta \Psi Q_{\text{н}}^{\text{р}} (1 - \varphi - \varphi_{\text{т}}) + \\ & + c_{pa} T_a (G_a + \rho_a W_a) + c_{p\text{ОТВ}} T_{\text{ОТВ}} G_{\text{ОТВ}} - \\ & - c_{pm} T_m (G_m + \rho_m W_m) - Q_{\Sigma} - Q_{\text{пр}}, \end{aligned} \quad (2)$$

где k_m — отношение изобарной и изохорной теплоемкостей идеального газа;

φ — коэффициент теплопотерь, $j = (Q_s + Q_{\text{пр}})/Q_{\text{пож}}$;

Q_{Σ} — суммарный тепловой поток, отводимый в ограждающие конструкции от газовой среды,

Вт, $Q_{\Sigma} = Q_c + Q_w + Q_f$;

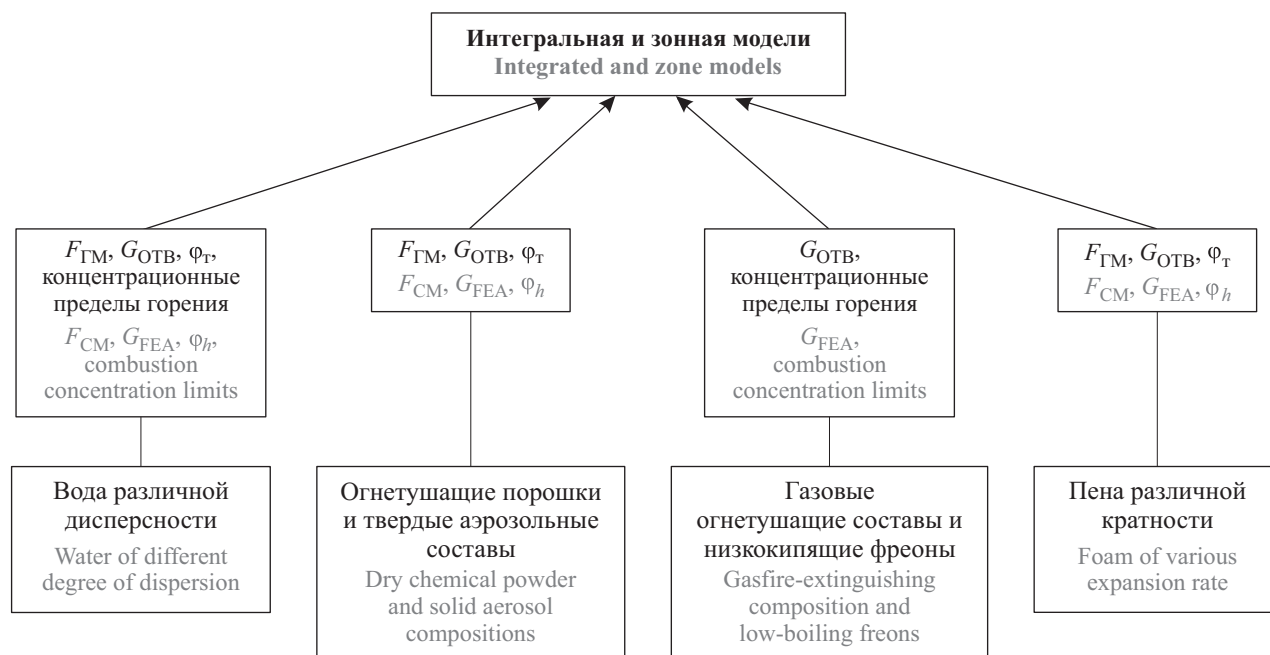


Рис. 1. Основные параметры, необходимые для модификации интегральной и зонной моделей расчета динамики ОФП при различных методах пожаротушения

Fig. 1. The main parameters required for modifying the integral and zone models used to calculate the dynamics of hazardous fire factors for various fire extinguishment methods

Основные положения моделей расчета динамики ОФП и параметры, необходимые для модификации существующих интегральной и зонной моделей расчета динамики ОФП при различных методах пожаротушения / The fundamental principles of the models for calculating the dynamics of hazardous fire factors and the parameters necessary for modifying the existing integral and zone models for calculating the dynamics of hazardous fire factors for various fire extinguishment methods

Положение Situation	Интегральная модель Integrated model				Зонная модель Zone model			
	Вода различной дисперсности Water of different degree of dispersion	Огнетушащие порошки и твердые аэрозольные составы Dry chemical powder and solid aerosol compositions	Газовые огнетушащие составы и низкотеплостойкие фреоны Gas fire-extinguishing composition and low-boiling freons	Пена различной кратности Foam of various expansion rate	Вода различной дисперсности Water of different degree of dispersion	Огнетушащие порошки и твердые аэрозольные составы Dry chemical powder and solid aerosol compositions	Газовые огнетушащие составы и низкотеплостойкие фреоны Gas fire-extinguishing composition and low-boiling freons	Пена различной кратности Foam of various expansion rate
Уравнения, в которых учитываются параметры, характеризующие процесс тушения What equations take into account the parameters characterizing the extinguishing process	1. Уравнение закона сохранения массы газовой среды 2. Уравнение энергии 3. Уравнение закона сохранения массы ОТВ 1. Equation of the law of conservation of mass of atmosphere 2. Energy equation 3. Equation of mass conservation of the extinguishing medium	Уравнение энергии (твердые частицы быстро оседают, отсутствуют в газовой среде помещения) Energy equation (solid particles settle quickly, they are absent in the atmosphere of the room)	1. Уравнение закона сохранения массы газовой среды 2. Уравнение энергии 3. Уравнение закона сохранения массы ОТВ 1. Equation of the law of conservation of mass of atmosphere 2. Energy equation. 3. Equation of mass conservation of the extinguishing medium	Уравнение энергии Energy equation	1. Уравнение расхода по высоте конвективной колонки 2. Уравнение скорости опускания припотолочного слоя 1. The equation of the flow distribution along the height of the convective column 2. Equation describing the pace of lowering the layer beneath a ceiling	Уравнение расхода по высоте конвективной колонки The equation of the flow distribution along the height of the convective column 1. The equation of the flow distribution along the height of the convective column 2. Equation of lowering the rate of lowering a layer beneath a ceiling	1. Уравнение расхода по высоте конвективной колонки 2. Уравнение скорости опускания припотолочного слоя 1. The equation of the flow distribution along the height of the convective column 2. Equation of the rate distribution along the height of the convective column	Уравнение распределения расхода по высоте конвективной колонки The equation of the rate distribution along the height of the convective column The equation of the rate distribution along the height of the convective column
Параметры, характеризующие процесс тушения Parameters characterizing the extinguishing process	$G_{\text{отв}}, F_{\text{ГМ}}, \varphi_{\text{т}}$ $G_{\text{FEA}}, F_{\text{CM}}, \varphi_{\text{h}}$	$G_{\text{отв}}, F_{\text{ГМ}}, \varphi_{\text{т}}$ $G_{\text{FEA}}, F_{\text{CM}}, \varphi_{\text{h}}$	$G_{\text{отв}}$ G_{FEA}	$G_{\text{отв}}, F_{\text{ГМ}}, \varphi_{\text{т}}$ $G_{\text{FEA}}, F_{\text{CM}}, \varphi_{\text{h}}$	$G_{\text{отв}}, F_{\text{ГМ}}, \varphi_{\text{т}}$ $G_{\text{FEA}}, F_{\text{CM}}, \varphi_{\text{h}}$	$G_{\text{отв}}$ G_{FEA}	$G_{\text{отв}}, F_{\text{ГМ}}, \varphi_{\text{т}}$ $G_{\text{FEA}}, F_{\text{CM}}, \varphi_{\text{h}}$	$G_{\text{отв}}, F_{\text{ГМ}}, \varphi_{\text{т}}$ $G_{\text{FEA}}, F_{\text{CM}}, \varphi_{\text{h}}$
Дополнительные соотношения Additional correlations	Концентрационные пределы горения Combustion concentration limits	—	Концентрационные пределы горения Combustion concentration limits	—	Концентрационные пределы горения Combustion concentration limits	—	Концентрационные пределы горения Combustion concentration limits	—

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

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

c_{pa}, c_{pm}, c_{pOTB} — удельная изобарная теплоемкость соответственно воздуха, газовой среды и огнетушащего вещества, Дж/(кг·К);

T_a, T_{OTB} — температура соответственно наружного воздуха и огнетушащего вещества, К.

Уравнение закона сохранения массы кислорода можно записать как [20, 21]:

$$V \frac{d(X_{O_2m} \rho_m)}{d\tau} = X_{O_2a} G_a + X_{O_2a} \rho_a W_a - \eta L_{O_2} \Psi - X_{O_2m} G_m - X_{O_2m} \rho_m W_m, \quad (3)$$

где X_{O_2m} — среднеобъемная массовая концентрация кислорода в помещении;

X_{O_2a} — среднеобъемная массовая концентрация кислорода в наружном воздухе;

L_{O_2} — удельный массовый коэффициент потребления кислорода при сгорании 1 кг горючего материала.

Уравнение закона сохранения массы i -го продукта горения имеет вид:

$$V \frac{d(X_{im} \rho_m)}{d\tau} = \eta L_i \Psi - X_{im} G_m - X_{im} \rho_m W_m, \quad (4)$$

где X_{im} — среднеобъемная массовая концентрация i -го продукта горения;

L_i — удельный массовый коэффициент образования i -го продукта горения при сгорании 1 кг горючего материала.

Уравнение закона сохранения оптической плотности дыма:

$$V \frac{d\mu_{sm}}{d\tau} = D_s \Psi - \mu_{sm} \frac{G_m + \rho_m W_m}{\rho_m}, \quad (5)$$

где μ_{sm} — среднеобъемная оптическая плотность дыма, Нп/м;

D_s — дымообразующая способность горючего материала по оптической плотности дыма, Нп·м²/кг.

Уравнение баланса массы инертного газа, используемого в качестве ОТВ (газовые огнетушащие составы и низкокипящие фреоны), имеет вид [20, 21]:

$$V \frac{d(X_{OTBm} \rho_m)}{d\tau} = G_{OTB} + X_{OTBa} G_a + X_{OTBa} \rho_a W_a - X_{OTBm} G_m - X_{OTBm} \rho_m W_m, \quad (6)$$

где X_{OTBm}, X_{OTBa} — среднеобъемная массовая концентрация ОТВ соответственно в помещении и в наружном воздухе.

Массовый расход продуктов газификации горючего материала Ψ в уравнениях (1) и (2), поступающих в пламенную зону, при постоянной величине удельной массовой скорости выгорания ГМ в зависимости от вида ОТВ в соответствии с таблицей определяется площадью открытой поверхности горения $F_{ГМ}$, м²:

- огнетушащие порошки и твердые аэрозольные составы, пена различной кратности: $F_{ГМ} = f_1(\tau)$;
- вода различной дисперсности: $F_{ГМ} = f_2(\tau)$;
- газовые огнетушащие составы и низкокипящие фреоны: $F_{ГМ} = F_{ГМ.0}$ (где $F_{ГМ.0}$ — площадь поверхности горения ГМ в отсутствие слоя ОТВ на ее поверхности, м²).

Массовый расход ОТВ G_{OTB} в уравнениях (7)–(11) в зависимости от его вида в соответствии с таблицей составляет:

- огнетушащие порошки и твердые аэрозольные составы, пена различной кратности: $G_{OTB} = 0$;
- вода различной дисперсности: $G_{OTB} = G_{fw} + \beta G_{sw}$;
- газовые огнетушащие составы и низкокипящие фреоны: $G_{OTB} = G_{sum}$ (где G_{fw} — массовый расход воды, поступающей в пламенную зону, кг/с; G_{sw} — массовый расход воды, попадающей на поверхность ГМ и образующей на ней пленку пара, кг/с; β — доля массового расхода воды G_{sw} , поступающей в пламенную зону под воздействием продуктов газификации ГМ на его поверхности; G_{sum} — массовый расход ОТВ, поступающего в зоны конвективной колонки и припотолочного слоя, кг/с).

Система дифференциальных уравнений (1)–(6) учитывает конкретный механизм тушения пламени через величины $F_{ГМ}$, G_{OTB} и φ_τ , которые получены в работах [22–26].

Модификация зонной модели пожара с учетом механизма тушения пламени

Зонные математические модели в основном используются для исследования динамики ОФП на начальной стадии пожара.

Схема тепломассообмена в зонной модели с учетом механизма тушения пламени представлена на рис. 2.

В соответствии с таблицей параметры процесса тушения учитываются в уравнениях распределения расхода по высоте конвективной колонки и скорости опускания припотолочного слоя.

Эмпирические и полуэмпирические формулы для расчета массового расхода по высоте конвективной колонки имеют вид соответственно [17, 22, 23]:

$$G = 0,21 \left[\frac{g \rho_0^2 Q_{\text{пож}}}{c_p T_0} - (1 - \varphi_1) \right]^{\frac{1}{3}} (z + z_0)^{\frac{5}{3}}; \quad (7)$$

$$\frac{dG}{dz} = \frac{B_{\text{кк}} z (r_{\text{экв}} + z \operatorname{tg} \gamma)^4}{T_0 G A_{\text{кк}} (B_{\text{кк}} z + G T_0)} + \frac{2G \operatorname{tg} \gamma}{r_{\text{экв}} + z \operatorname{tg} \gamma} - \frac{B_{\text{кк}}}{T_0} \left(1 - \frac{2z \operatorname{tg} \gamma}{r_{\text{экв}} + z \operatorname{tg} \gamma} \right); \quad (8)$$

при $z \leq z_{\text{пл}}$:

$$G = 0,071 \left(\frac{Q_{\text{пож}} (1 - \varphi_1)}{1000} \right)^{\frac{1}{3}} z^{\frac{5}{3}} + 1,8 \cdot 10^{-6} Q_{\text{пож}} (1 - \varphi_1); \quad (9)$$

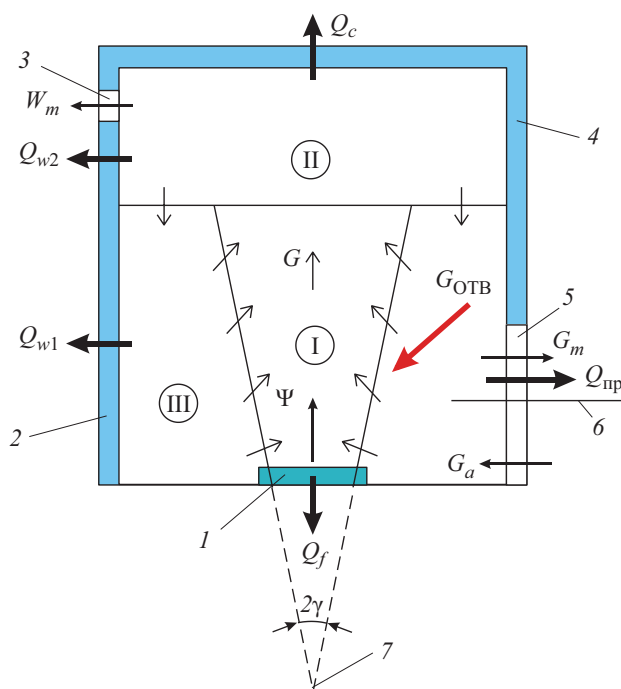


Рис. 2. Схема тепломассообмена в помещении при использовании зонной модели: 1 — горючий материал; 2 — стены; 3 — система дымоудаления; 4 — перекрытие; 5 — открытый проем; 6 — нейтральная плоскость; 7 — фиктивный источник теплоты; γ — угол полуоткрытия конвективной колонки; I — зона конвективной колонки; II — зона нагретого задымленного припотолочного слоя; III — зона холодного воздуха

Fig. 2. The flow diagram describing heat and mass transfer inside a room if the zone model is used: 1 — combustible material; 2 — walls; 3 — smoke exhaust system; 4 — floor; 5 — open doorway; 6 — neutral plane; 7 — fictitious thermal source; γ — the half-opening angle of the convective column; I — convection column zone; II — zone of heated smoke layer beneath a ceiling; III — cold air zone

при $z > z_{\text{пл}}$:

$$G = 0,032 \left(\frac{Q_{\text{пож}} (1 - \varphi_1)}{1000} \right)^{\frac{3}{5}} z, \quad (10)$$

где G — расход газов через поперечное сечение струи, отстоящее по высоте от поверхности горения на расстояние z , кг/с;

g — ускорение свободного падения, м/с²;

ρ_0 — плотность холодного (окружающего) воздуха, кг/м³;

c_p — изобарная теплоемкость газа, Дж/(кг·К);

T_0 — температура окружающего воздуха, К;

φ_1 — коэффициент теплопотерь в конвективной колонке; $\varphi_1 = Q_{\Sigma I} / Q_{\text{пож}} + \varphi_T$;

$Q_{\Sigma I}$ — суммарный тепловой поток, отводимый из конвективной колонки в ограждающие конструкции, Вт;

z — координата сечения колонки, отсчитываемая от поверхности горения, м;

z_0 — расстояние от фиктивного источника тепла до поверхности горения, м;

$A_{\text{кк}}$ — размерный параметр, с²·м⁵/(кг²·К),

$$A_{\text{кк}} = A_{\text{кк}2} \operatorname{tg}^4 \gamma = \frac{R_0^2 T_0}{g \rho_0^2 \pi^2};$$

$B_{\text{кк}}$ — размерный параметр, кг·К/(м·с),

$$B_{\text{кк}} = \frac{Q_{\text{пож}} (1 - \varphi_1)}{z_{\text{пл}} c_p};$$

$z_{\text{пл}}$ — высота пламенной зоны, м,

$$z_{\text{пл}} = 0,166 \left(\frac{Q_{\text{пож}} (1 - \varphi_1)}{1000} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$r_{\text{экв}}$ — радиус поверхности горючего материала, м.

Уравнение для определения зависимости высоты нижней границы припотолочного слоя от времени с момента начала пожара имеет вид:

$$-F_{\text{пот}} \rho_0 \frac{dz_k}{d\tau} = \left[(1 - \varphi - \varphi_T) \frac{Q_{\text{пож}}}{c_p T_0} + G_k + G_{\text{отв}} \right], \quad (11)$$

где $F_{\text{пот}}$ — площадь потолка, м²;

ρ_0 — плотность воздуха в помещении перед пожаром, кг/м³;

z_k — координата нижнего края припотолочного слоя газов, м;

φ — коэффициент теплопотерь во всем помещении;

G_k — расход газовой смеси в поперечном сечении конвективной колонки на высоте z_k , кг/с.

Массовый расход огнетушащего вещества в уравнениях (7)–(11) в зависимости от его вида в соответствии с таблицей составит:

- огнетушащие порошки и твердые аэрозольные составы, пена различной кратности: $G_{\text{отв}} = 0$;

- вода различной дисперсности: $G_{\text{OTB}} = G_{\text{fw}} + \beta G_{\text{sw}}$;
- газовые огнетушащие составы и низкокипящие фреоны: $G_{\text{OTB}} = G_{\text{sum}}$.

Массовый расход продуктов газификации ГМ Ψ в уравнениях (7)–(11), поступающих в пламенную зону, при постоянной величине удельной массовой скорости выгорания ГМ в зависимости от вида ОТВ в соответствии с таблицей определяется площадью открытой поверхности горения:

- огнетушащие порошки и твердые аэрозольные составы, пена различной кратности: $F_{\text{ГМ}} = f_1(\tau)$;
- вода различной дисперсности: $F_{\text{ГМ}} = f_2(\tau)$;
- газовые огнетушащие составы и низкокипящие фреоны: $F_{\text{ГМ}} = F_{\text{ГМ.о}}$.

Система уравнений (7)–(11) учитывает конкретный механизм тушения пламени через величины $F_{\text{ГМ}}$, G_{OTB} и φ , которые получены в работах [20, 21].

Выводы

Таким образом, разработанные модифицированные интегральная и зонная модели позволяют проводить расчет динамики опасных факторов пожара с учетом механизма тушения твердых материалов и горючих жидкостей огнетушащими веществами различной природы и дисперсности (огнетушащими порошками, твердыми аэрозольными составами, пенами различной кратности, водой различной дисперсности, газовыми огнетушащими составами и низкокипящими фреонами).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Halloul Y., Chiban S., Awad A. Adapted fuzzy fault tree analysis for oil storage tank fire // Energy Sources. Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects. 2019. Vol. 41. No. 8. Pp. 948–958. DOI: 10.1080/15567036.2018.1522393
2. Chettouh S., Hamzi R., Benaroua K. Examination of fire and related accidents in Skikda oil refinery for the period 2002–2013 // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2016. Vol. 41. Pp. 186–193. DOI: 10.1016/j.jlp.2016.03.014
3. Краснов А.В., Садыкова З.Х., Пережогин Д.Ю., Мухин И.А. Статистика чрезвычайных происшествий на объектах нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности за 2007–2016 гг. // Нефтегазовое дело. 2017. № 6. С. 179–191. DOI: 10.17122/ogbus-2017-6-179-191
4. Парфененко А.П. Проблемы эвакуации детей и подростков при пожарах // Технологии технологической безопасности. 2010. № 5(33). С. 48–52. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_16322624_45477273.pdf
5. Парфененко А.П. Методология моделирования людских потоков и практика программирования их движения при эвакуации // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2014. Т. 23. № 12. С. 46–55. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25866632>
6. Lyapin A., Korolchenko A., Meshalkin E. Expediency of application of explosion-relief constructions to ensure explosion resistance of production buildings // MATEC Web of Conferences. 2016. Vol. 86. P. 04029. DOI: 10.1051/mateconf/20168604029
7. Корольченко О.Н. Дымообразование при горении огнезащитенной древесины // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2008. Т. 17. № 1. С. 20–22. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=12510577>
8. Komarov A.A., Gromov N.V., Korolchenko O.N. Ensuring blast resistance of critically important buildings and constructions in case of air crash // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021. Vol. 1066. No. 1. P. 012005. DOI: 10.1088/1757-899x/1066/1/012005
9. Василенко В.В., Леликов Г.Д., Жердев К.В. Влияние растворов кислот на остаточную прочность страховочно-спасательных веревок // Безопасность труда в промышленности. 2020. № 2. С. 38–44. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-2-38-44
10. Корольченко Д.А., Шароварников А.Ф., Дегаев Е.Н., Власов Н.А., Мельников А.И. Тушение пламени горючих жидкостей химически активным ингибитором // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2015. Т. 24. № 11. С. 70–76. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.11.70-76
11. Sharovarnikov A.F., Korol'chenko D.A. Fighting fires of carbon dioxide in the closed buildings // Applied Mechanics and Materials. 2013. Vol. 475–476. Pp. 1344–1350. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amm.475-476.1344
12. Bolodian I.A., Shebeko Yu.N., Molchanov V.P., Deshevih Yu.I. et al. An estimation of fire and explosion hazard of large tanks for liquefied natural gas // Proceedings of the 9th International Conference on Fire Science and Engineering. Edinburgh. 2001. Vol. 2. Pp. 1309–1314.
13. Корольченко А.Я., Шилина Е.Н. Газовое пожаротушение // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2016. Т. 25. № 5. С. 57–65. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.05.57-65

14. Kuligowski E.D. NIST Technical Note 1644. Compilation of data on the sublethal effects of fire effluent. Gaithersburg : National Institute of Standards and Technology, 2009. 47 p.
15. Шароварников А.Ф., Корольченко Д.А. Тушение горючих жидкостей распыленной водой // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2013. Т. 22. № 11. С. 70–74. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20655296>
16. Шароварников А.Ф., Корольченко Д.А. Влияние дисперсности капель воды на эффективность тушения пожаров горючей жидкостью // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2013. Т. 22. № 12. С. 69–74. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21009234&>
17. Корольченко Д.А., Дегаев Е.Н., Шароварников А.Ф. Горение гептана в модельном резервуаре // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2015. Т. 24. № 2. С. 67–70. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23417404>
18. Снегирев А.Ю., Сажин С.С., Талалов В.А. Модель и алгоритм расчета теплообмена и испарения капель диспергированной жидкости // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Физико-математические науки. 2011. № 1. С. 44–55. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/model-i-algorithm-rascheta-teploobmena-i-ispareniiya-kapel-dispergirovannoy-zhidkosti/viewer>
19. Кошмаров Ю.А., Пузач С.В., Андреев В.В., Козлов Ю.И. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении : учебное пособие. М. : Академия ГПС МВД России, 2012. 126 с.
20. Моделирование пожаров и взрывов / под ред. Н.Н. Брушлинского, А.Я. Корольченко. М. : Пожнаука, 2000. 482 с.
21. Пузач С.В. Математическое моделирование газодинамики и теплообмена при решении задач пожаровзрывобезопасности. М. : Академия ГПС МЧС России, 2002. 150 с.
22. Пузач С.В., Колодяжный С.А., Колосова Н.В. Модифицированная зонная модель расчета термогазодинамики пожара в помещении, учитывающая форму конвективной колонки // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2015. Т. 24. № 12. С. 33–39. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.12.33-39
23. Startseva N.A., Kolodyazhny S.A. Fire safety in designing pump stations and compressor houses // Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture. 2008; 2:155.
24. NFPA 92B. 1990 NFPA Technical Committee Reports — Technical Guide for Smoke Management Systems in Malls, Atria and Large Areas. Quincy, MA : National Fire Protection Association, 1990.
25. Barrazo C.L., Bula A.J., Palencia A. Modeling and numerical solution of coal and natural gas combustion in a rotary kiln // Combustion Science and Technology. 2012. Vol. 184. No. 1. Pp. 26–43. DOI: 10.1080/00102202.2011.615769
26. Xiaoni Qi, Yongqi Liu, Hongqin Xu, Zeyan Liu, Ruixiang Liu. Modeling thermal oxidation of coal mine methane in a non-catalytic reverse-flow reactor // Strojniški vestnik — Journal of Mechanical Engineering. 2014. Vol. 60. No. 7–8. Pp. 495–505. DOI: 10.5545/sv-jme.2013.1393

REFERENCES

1. Halloul Y., Chiban S., Awad A. Adapted fuzzy fault tree analysis for oil storage tank fire. *Energy Sources. Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*. 2019; 41(8):948-958. DOI: 10.1080/15567036.2018.1522393
2. Chettouh S., Hamzi R., Benaroua K. Examination of fire and related accidents in Skikda oil refinery for the period 2002-2013. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2016; 41:186-193. DOI: 10.1016/j.jlp.2016.03.014
3. Krasnov A.V., Sadykova Z.Kh., Perezhogin D.Yu., Mukhin I.A. Statistics of emergency accidents in the refining and petrochemical industry for the 2007-2016 years. *Oil and Gas Business*: 2017; 6:179-191. DOI: 10.17122/ogbus-2017-6-179-191 (rus).
4. Parfenenko A.P. Problems of evacuation of children and teenagers under fire. *Technology of Technosphere Safety*. 2010; 5(33):48-52. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_16322624_45477273.pdf (rus).
5. Parfenenko A.P. Methodology for modeling human movements and practice of programming their movement during evacuation. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2014; 23(12):46-55. (rus).
6. Lyapin A., Korolchenko A., Meshalkin E. Expediency of application of explosion-relief constructions to ensure explosion resistance of production buildings. *MATEC Web of Conferences*. 2016; 86:04029. DOI: 10.1051/mateconf/20168604029

7. Korolchenko O.N. Smoke formation when burning fire-resistant wood. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2008; 17(1):20-22. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=12510577> (rus).
8. Komarov A.A., Gromov N.V., Korolchenko O.N. Ensuring blast resistance of critically important buildings and constructions in case of air crash. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021; 1066(1):012005. DOI: 10.1088/1757-899x/1066/1/012005
9. Vasilenko V.V., Lelikov G.D., Zherdev K.V. Effect of acid solutions on the residual strength of safety and rescue ropes. *Occupational Safety in Industry*. 2020; 2:38-44. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-2-38-44 (rus).
10. Korolchenko D.A., Sharovarnikov A.F., Degaev E.N., Vlasov N.A., Mel'nikov A.I. Suppression of a flame of combustible liquids by reaction inhibitor. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2015; 24(11):70-76. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.11.70-76 (rus).
11. Sharovarnikov A.F., Korolchenko D.A. Fighting fires of carbon dioxide in the closed buildings. *Applied Mechanics and Materials*. 2013; 475-476:1344-1350. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amm.475-476.1344
12. Bolodian I.A., Shebeko Yu.N., Molchanov V.P., Deshevii Yu.I. et al. An estimation of fire and explosion hazard of large tanks for liquefied natural gas. *Proceedings of the 9th International Conference on Fire Science and Engineering*. Edinburgh. 2001; 2:1309-1314.
13. Korolchenko A. Ya., Shilina E. N. Gas extinguishing. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2016; 25(5):57-65. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.05.57-65 (rus).
14. Kuligowski E.D. *NIST Technical Note 1644. Compilation of data on the sublethal effects of fire effluent*. Gaithersburg, National Institute of Standards and Technology, 2009; 47.
15. Sharovarnikov S.A., Korolchenko D.A. Extinguishing of combustible liquid by atomized water. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2013; 22(11):70-74. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20655296> (rus).
16. Sharovarnikov A.F., Korolchenko D.A. Impact of dispersion of water drops on the efficiency of fire extinguishing of combustible liquid. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2013; 22(12):69-74. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21009234&> (rus).
17. Korol'chenko D.A., Degaev E.N., Sharovarnikov A.F. Combustion of heptane in a model tank. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2015; 24(2):67-70. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23417404> (rus).
18. Snegirev A.Yu., Sazhin S.S., Talalov V.A., Snegirev A.Yu., Sazhin S.S., Talalov V.A. Model and algorithm of estimate of heat transfer and evaporation of dispersed liquid's drops. *St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Physics and Mathematics*. 2011; 1:44-55. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/model-i-algoritm-rascheta-teploobmena-i-ispareniya-kapel-dispergirovannoy-zhidkosti/viewer> (rus).
19. Koshmarov Yu.A., Puzach S.V., Andreev V.V., Kozlov Yu.I. *The prediction of dangerous fire factors in the room*. Moscow, Academy of State Fire Service of Ministry of Internal Affairs of Russia Publ., 2012; 126. (rus).
20. *Modeling of fires and explosions*. Brushlinskiy N.N., Korolchenko A.Ya. (eds). Moscow, Pozhnauka Publ., 2000; 482. (rus).
21. Puzach S.V. *Mathematical modeling of gas dynamics and heat transfer in solving problems of fire and explosion safety*. Moscow, Academy of State Fire Service of Emercom of Russia, 2002; 150. (rus).
22. Puzach S.V., Kolodyazhnyy S.A., Kolosova N.V. Modified zonal model for calculating of the fire gas dynamics in the room taking into account the form of convective column. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2015; 24(12):33-39. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.12.33-39 (rus).
23. Startseva N.A., Kolodyazhny S.A. Fire safety in designing pump stations and compressor houses. *Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture*, 2008; 2:155.
24. NFPA 92B. 1990 NFPA Technical Committee Reports — *Technical Guide for Smoke Management Systems in Malls, Atria and Large Areas*. Quincy, MA, National Fire Protection Association, 1990.
25. Barrazo C.L., Bula A.J., Palencia A. Modeling and numerical solution of coal and natural gas combustion in a rotary kiln. *Combustion Science and Technology*. 2012; 184(1):26-43. DOI: 10.1080/00102202.2011.615769
26. Xiaoni Qi, Yongqi Liu, Hongqin Xu, Zeyan Liu, Ruixiang Liu. Modeling thermal oxidation of coal mine methane in a non-catalytic reverse-flow reactor. *Strojniški vestnik — Journal of Mechanical Engineering*. 2014; 60(7-8):495-505. DOI: 10.5545/sv-jme.2013.1393

Поступила 15.03.2021, после доработки 30.03.2021; принята к публикации 12.04.2021
Received March 15, 2021; Received in revised form March 30, 2021; Accepted April 12, 2021

Информация об авторах

КОРОЛЬЧЕНКО Дмитрий Александрович, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой комплексной безопасности в строительстве, директор Института комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Российская Федерация; РИНЦ ID: 352067; Scopus Author ID: 55946060600; ResearcherID: E-1862-2017; ORCID: 0000-0002-2361-6428; e-mail: KorolchenkoDA@mgsu.ru

ПУЗАЧ Сергей Викторович, д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, начальник 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: 18265; Scopus Author ID: 7003537835; ResearcherID: U-2907-2019; ORCID: 0000-0001-7234-1339; e-mail: puzachsv@mail.ru

Information about the authors

Dmitriy A. KOROLCHENKO Cand. Sci. (Eng.), Docent, Head of Department of Integrated Safety in Civil Engineering, Head of Institute of Integrated Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation; ID RISC: 352067; Scopus Author ID: 55946060600; ResearcherID: E-1862-2017; ORCID: 0000-0002-2361-6428; e-mail: KorolchenkoDA@mgsu.ru

Sergey V. PUZACH Dr. Sci. (Eng.), Professor, Honoured Scientist of the Russian Federation, Head 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: 18265; Scopus Author ID: 7003537835; ResearcherID: U-2907-2019; ORCID: 0000-0001-7234-1339; e-mail: puzachsv@mail.ru

О точности и достоверности сравнительной оценки эффективности переносных огнетушителей при пожаротушении конструкционных и отделочных материалов автомобилей

© Д.С. Куприн¹ ✉, А.С. Поляков²

- ¹ ООО НПО «СОПОТ» (Россия, 196641, г. Санкт-Петербург, дор. на Металлострой, 5А)
² 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. Актуальность настоящей работы состоит в необходимости обеспечения объективной сравнительной оценки огнетушителей. При этом особое внимание должно быть уделено эффективности огнетушащего вещества (заряда огнетушителя), поскольку именно оно наибольшим образом влияет на процесс тушения пожара. Целью настоящей работы является подтверждение применимости сформированного безразмерного показателя эффективности переносных огнетушителей, оценка точности (правильности и прецизионности) измерений и их статистической значимости.

Материалы и методы. Использована методика ГОСТ Р 51057–2001 по тушению модельных очагов пожара класса А. Модельный очаг пожара дополнительно оснащен прикрепленными к его верхней грани образцами материалов под углами, значения которых получены на специальном экспериментальном стенде. Испытания проводились на специальном экспериментальном стенде для определения углов наклона образцов из различных материалов, при котором огнетушащее вещество, нанесенное на их поверхности, не стекает или не осыпается. Оценка точности (правильности и прецизионности) измерений проведена по методикам ГОСТ Р ИСО 5725-1–2002 и ГОСТ Р ИСО 5725-6–2002. Оценка статистической значимости измерений выполнена по *t*-критерию Стьюдента.

Результаты и их обсуждение. Приведены результаты экспериментов по определению угла наклона поверхности очага пожара, при котором на ней удерживается наносимое при пожаре огнетушащее вещество. Приведены результаты сравнительных огневых испытаний огнетушителей с быстротвердеющей пеной и огнетушителей порошковых. Представлена формула безразмерного показателя эффективности переносных огнетушителей, и доказана ее применимость.

Выводы. Оценка точности измерений, проведенная в соответствии с методиками нормативных документов, показала правомочность использования среднеарифметических значений всех показателей для расчета показателя эффективности P_{30} . Оценка статистической значимости с помощью *t*-критерия Стьюдента полученных в результате экспериментов значений всех показателей продемонстрировала, что различия их среднеарифметических значений являются достоверными и не носят случайный характер. Экспериментально доказано превосходство огнетушителя с быстротвердеющей пеной над огнетушителем порошковым по показателю P_{30} более чем в 50 раз, что обусловлено комплексным воздействием огнетушащего вещества и конструкции огнетушителя.

Ключевые слова: комплексный показатель эффективности; огнетушитель; быстротвердеющая пена; огнетушащий порошок; тушение пожара; испытания

Для цитирования: Куприн Д. С., Поляков А. С. О точности и достоверности сравнительной оценки эффективности переносных огнетушителей при пожаротушении конструкционных и отделочных материалов автомобилей // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2021. Т. 30. № 2. С. 88–97. DOI: 10.22227/PVB.2021.30.02.88-97

✉ Куприн Денис Сергеевич, e-mail: dskuprin@mail.ru

The accuracy and reliability of comparative efficiency assessment of portable fire extinguishers used in the process of fire extinguishing of structural components of motor vehicles and automotive finishing

© Denis S. Kuprin¹ ✉, Aleksandr S. Polyakov²

- ¹ LLC RPA "SOPOT" (Road to Metallostroy, 5A, Saint Petersburg, 196641, Russian Federation)
² Saint-Petersburg University of State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation)

ABSTRACT

Introduction. The relevance of this work resides in the need to perform an unbiased comparative assessment of fire extinguishers. The focus must be placed on the efficiency of a fire-fighting agent, as it has a major impact on the process of fire extinguishing. The purpose of this work is to confirm the applicability of a dimensionless efficiency indicator of portable fire extinguishers, assess the measurement accuracy (correctness and precision) and their statistical values.

Materials and methods. The co-authors used the methodology specified in GOST R 51057–2001 applicable to the fire extinguishing of class A model fire seats. The model fire seat had samples of materials attached to its upper edge at the angles whose values were obtained using a specialized test bed. A specialized test bed was used to perform the testing and identify the sample's inclination angles that prevented the fire extinguishing agent, applied to their surface, from streaming down or crumbling. The accuracy (correctness and precision) was assessed pursuant to the methodologies specified in GOST R ISO 5725-1–2002, GOST R ISO 5725-6–2002. The statistical significance of measurements was assessed using Student's *t*-test.

Results and discussion. The co-authors offer the results of the experiments aimed at the identification of an inclination angle of the fire seat surface that prevents the fire extinguishing agent from streaming down or crumbling. The results of comparative fire testing of fire extinguishers that contain quick setting foam and powder are provided. The formula of a dimensionless efficiency indicator, applicable to portable fire extinguishers, is provided, and its applicability is proven.

Conclusions. The measurement accuracy assessment, performed pursuant to the methodologies, specified in the regulations, has shown the effectiveness of mean arithmetic values of all indicators applied to calculate P_{eo} efficiency indicator. The assessment of the statistical significance of experimentally obtained values of all indicators, performed with the help of Student's *t*-test, has demonstrated that the discrepancy of their mean arithmetic values is reliable and it doesn't have a random nature. The superiority of the quick setting foam extinguisher over the powder one was proven in an experiment. The value of its P_{eo} efficiency indicator exceeds the one of a powder extinguisher 50-fold due to the comprehensive impact made by the extinguishing agent and the construction of a fire extinguisher.

Keywords: comprehensive efficiency indicator; fire extinguisher; quick setting foam; fire extinguishing powder; fire-fighting; tests

For citation: Kuprin D.S., Polyakov A.S. The accuracy and reliability of comparative efficiency assessment of portable fire extinguishers used in the process of fire extinguishing of structural components of motor vehicles and automotive finishing. *Pozharovzrybobezopasnost'/Fire and Explosion Safety*. 2021; 30(2):88-97. DOI: 10.22227/PVB.2021.30.02.88-97 (rus).

✉ Denis Sergeevich Kuprin, e-mail: dskuprin@mail.ru

Введение

Существует большое количество огнетушителей, различающихся по объему, типу огнетушащего вещества (ОТВ), его массе, способу вытеснения и др. [1–6], поэтому необходима методика проведения адекватного сравнения их эффективности. В связи с этим учеными разработаны различные подходы к определению эффективности огнетушителей [7–11].

На основе анализа цитируемых работ и собственного опыта тушения пожаров, в частности, твердых горючих материалов (ТГМ), с помощью огнетушителей авторами сформирован безразмерный комплексный показатель эффективности пожаротушения $\Pi_{\text{эо}}$, включающий в себя, помимо прочих, показатели, которые ранее в научных работах не учитывались [16]:

$$\Pi_{\text{эо}} = \frac{h \Delta t \Delta T F \sin \alpha}{\tau_{\text{лпг}} T_{\text{к}} V_{\text{отв}}}, \quad (1)$$

где h — толщина слоя ОТВ, образовавшегося на поверхности потушенного объекта пожара, м (измеряют с помощью металлической линейки, соответствующей требованиям ГОСТ 427–75¹,

с максимальным относительным отклонением расстояния между делениями 0,03 %);

Δt — время с момента ликвидации пламенного горения до момента полного окончания подачи ОТВ на очаг пожара, с (измеряют с помощью секундомера механического, соответствующего требованиям ГОСТ 8.423–81², с максимальной относительной погрешностью измерения 0,05 %), характеризует временной отрезок, в течение которого на объекте пожара может накапливаться слой ОТВ: чем больше этот временной отрезок, тем больший слой ОТВ может быть создан на поверхности и тем меньше риск повторного воспламенения;

ΔT — разность температур поверхности объекта пожара, °C (рассчитывают после огневого испытания как разность конечной и начальной температур поверхности очага пожара), характеризует степень охлаждения объекта пожара в результате его тушения: чем выше разность температур, тем выше эффективность огнетушителя;

F — площадь свободной поверхности объекта пожара, м² (значение площади свободной поверх-

¹ ГОСТ 427–75. Линейки измерительные металлические. Технические условия : утвержден и введен в действие постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 24 октября 1975 г. № 2690.

² ГОСТ 8.423–81. Государственная система обеспечения единства измерений. Секундомеры механические. Методы и средства поверки : введен в действие постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 14 мая 1981 г. № 2371.

ности модельного очага пожара установлено Приложением В, табл. В.1 ГОСТ Р 51057–2001³, максимальная относительная погрешность значения площади в результате изготовления очагов пожара составляет 2 %);

$\sin \alpha$ – синус угла наклона поверхности объекта пожара (угол измеряют с помощью специального экспериментального стенда, максимальная относительная погрешность измерения составляет 2,5 %), характеризует угол наклона очага пожара, на поверхности которого может удерживаться огнетушащее вещество. С помощью данной характеристики косвенно определяется адгезионная способность огнетушащего вещества к тому или иному материалу. Адгезионная способность имеет высокое значение в процессе тушения пожара, поскольку способность ОТВ удерживаться на поверхности горящего или подвергаемого высокотемпературному воздействию материала, обеспечивая его защиту, значительно повышает эффективность тушения;

$\tau_{\text{лпг}}$ — время ликвидации пламенного горения, с (измеряют с помощью секундомера механического, соответствующего требованиям ГОСТ 8.423–81, с максимальной относительной погрешностью измерения 0,05 %);

$T_{\text{к}}$ — конечная температура поверхности объекта пожара, °С (измеряют бесконтактным методом с помощью пирометра, соответствующего требованиям ГОСТ 28243–96⁴, с максимальной относительной погрешностью измерения 1,5 %); при этом безопасной может считаться температура не выше 240 °С, которая является температурой воспламенения хвойной древесины [17];

$V_{\text{отв}}$ — объем использованного на тушение ОТВ, м³ (рассчитывают после огневого испытания путем вычитания остатка ОТВ в огнетушителе из его начального объема, остаток ОТВ определяют путем заполнения мерной емкости, соответствующей требованиям ГОСТ 1770–74⁵, с максимальной относительной погрешностью измерения 1 %).

Авторами проведено экспериментальное сравнение огнетушителя ОППТ-6 (в качестве заряда приме-

няется быстротвердеющая пена, выбор которой обусловлен ее высокой эффективностью при тушении ТГМ [12–15]), и огнетушителя порошкового ОП-6(з)-АВСЕ, для каждого определен показатель эффективности. У огнетушителя ОППТ-6 он оказался более чем в 50 раз выше, чем у ОП-6(з)-АВСЕ [16].

В настоящей работе приведены результаты проверки приемлемости огнетушителей в целях пожаротушения (по условиям повторяемости и оценки статистической значимости данных по t -критерию Стьюдента).

Материалы и методы

Для определения угла α (с целью сокращения необходимого количества огневых испытаний) разработан экспериментальный стенд (рис. 1), который позволяет использовать образцы основных твердых материалов, применяемых в автомобилях: резина, твердый пластик, натуральная кожа, окрашенная сталь.

На расположенный горизонтально образец материала 1 наносят ОТВ из огнетушителя в количестве, при котором на поверхности создается слой ОТВ толщиной 3 мм. Образец крепят на платформе 3, после чего ее плавно поднимают со скоростью не более 2 град./с и следят за углом наклона по шкале 2. Платформу поднимают до тех пор, пока с поверхности образца не начнет стекать или осыпаться ОТВ. Искомым углом наклона является максимальный угол наклона платформы, при котором ОТВ не стекает или не осыпается с поверхности образца. Для каждого вида ОТВ и материала образца проводят четыре параллельных испытания и вычисляют среднее значение угла.

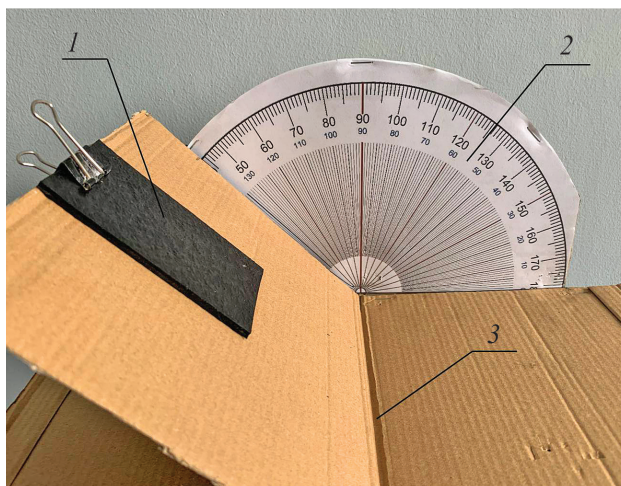


Рис. 1. Экспериментальный стенд для определения угла наклона защищаемой поверхности: 1 — образец защищаемой поверхности; 2 — шкала угла наклона; 3 — наклоняемая платформа

Fig. 1. An experimental test bed designated for the identification of an inclination angle of the protected surface: 1 — sample protected surface; 2 — inclination angle scale; 3 — sloping platform

³ ГОСТ Р 51057–2001. Техника пожарная. Огнетушители переносные. Общие технические требования. Методы испытаний: принят постановлением Госстандарта РФ от 25 октября 2001 г. № 435-ст.

⁴ ГОСТ 28243–96. Пирометры. Общие технические требования: принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол № 9 от 12 апреля 1996 г.).

⁵ ГОСТ 1770–74. Посуда мерная лабораторная стеклянная. Цилиндры, мензурки, колбы, пробирки. Общие технические условия: утвержден и введен в действие постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 18 ноября 1974 г. № 2547.

Следующий этап определения угла α состоял в подтверждении значений углов результатами огневых испытаний.

Для этого образцы материалов крепили на верхней грани модельного очага пожара (рис. 2) под углами наклона, значения которых были получены в результате предыдущего этапа экспериментов.

Остальные величины формулы (1) также определяли в ходе огневых испытаний по методике ГОСТ Р 51057–2001 на модельном очаге пожара ранга 1А. Возможность использования древесины в качестве горючего материала обусловлена несущественным различием пожароопасных свойств древесины и других твердых материалов, используемых в автомобилях [17–18].

Результаты и их обсуждение

Результаты экспериментов по определению значений углов наклона образцов на экспериментальном стенде (см. рис. 1), а также оценка их приемлемости по условиям повторяемости по ГОСТ Р ИСО 5725-1–2002⁶, ГОСТ Р ИСО 5725-6–2002⁷ приведены в табл. 1 и 2.

Во всех измерениях значение диапазона (размаха) измерений не превышает своего критического значения. Следовательно, для дальнейших расчетов формулы (1) правомерно использовать среднеарифметические значения.

Среднеарифметическое значение угла наклона образцов разных материалов с нанесенной на их по-

⁶ ГОСТ Р ИСО 5725-1–2002. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 1. Основные положения и определения : принят и введен в действие постановлением Госстандарта России от 23 апреля 2002 г. № 161-ст.

⁷ ГОСТ Р ИСО 5725-6–2002. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 6. Использование значений точности на практике : принят и введен в действие постановлением Госстандарта России от 23 апреля 2002 г. № 161-ст.

Таблица 1. Проверка приемлемости измерений по условиям повторяемости (для ОТПТ-6)

Table 1. Measurements suitability check by repeatability conditions (for ОТПТ-6)

Материал образца Sample of the material	Номер эксперимента Experiment number				Диапазон (размах) измерений $x_{\max} - x_{\min}$ Measurement range (span) $x_{\max} - x_{\min}$	Критическое значение диапазона при $n = 4$ и доверительной вероятности 0,95 Critical range value at $n = 4$ and confidence probability 0.95
	1	2	3	4		
Окрашенная сталь Painted steel	50°	60°	55°	60°	10°	19°
Твердый пластик Hard plastic	55°	65°	70°	70°	15°	28°
Резина Rubber	70°	80°	90°	90°	20°	38°
Натуральная кожа Natural leather	80°	80°	85°	85°	5°	11°



Рис. 2. Образцы твердых горючих материалов, закрепленные на модельном очаге пожара ранга 1А: 1 — модельный очаг пожара 1А; 2 — резина; 3 — окрашенная сталь; 4 — натуральная кожа; 5 — твердый пластик

Fig. 2. Samples of solid combustible materials attached to 1A model fire seat: 1 — 1A model fire seat; 2 — rubber; 3 — painted steel; 4 — natural leather; 5 — hard plastic

верхности быстротвердеющей пеной составляет 72° против 38° с огнетушащим порошком.

Значения показателей формулы (1), полученные в результате огневых испытаний на модельном очаге пожара ранга 1А, а также оценка их приемлемости по условиям повторяемости по ГОСТ Р ИСО 5725-1–2002, ГОСТ Р ИСО 5725-6–2002 приведены в табл. 3 и 4.

В процессе огневых испытаний слои ОТВ с поверхностей образцов не стекали и не осыпались. Таким образом, значения углов, указанных в табл. 1 и 2, подтверждены.

Во всех измерениях значение диапазона (размаха) измерений не превышает своего критического

Таблица 2. Проверка приемлемости измерений по условиям повторяемости (для ОП-6(з)-ABCE)

Table 2. Measurement acceptability check performed using repeatability conditions (for OP-6(z)-ABCE fire extinguisher)

Материал образца Sample of the material	Номер эксперимента Experiment number				Диапазон (размах) измерений $x_{\max} - x_{\min}$ Measurement range (span) $x_{\max} - x_{\min}$	Критическое значение диапазона при $n = 4$ и доверительной вероятности 0,95 Critical range value at $n = 4$ and confidence probability 0.95
	1	2	3	4		
Окрашенная сталь Painted steel	45°	35°	35°	40°	10°	19°
Твердый пластик Hard plastic	35°	35°	30°	30°	5°	11°
Резина Rubber	40°	40°	40°	35°	5°	10°
Натуральная кожа Natural leather	40°	40°	45°	40°	5°	10°

Таблица 3. Проверка приемлемости измерений по условиям повторяемости (для огнетушителя ОТПТ-6)

Table 3. Measurement acceptability check performed using repeatability conditions (for OTPT-6 fire extinguisher)

Показатель Indicator	Номер эксперимента Experiment number				Диапазон (размах) измерений $x_{\max} - x_{\min}$ Measurement range (span) $x_{\max} - x_{\min}$	Критическое значение диапазона при $n = 4$ и доверительной вероятности 0,95 Critical range value at $n = 4$ and confidence probability 0.95
	1	2	3	4		
$T_k, ^\circ\text{C}$	52	47	68	54	21	35
$\Delta T, ^\circ\text{C}$	596	565	597	635	70	112
$h, \text{м} / \text{м}$	$2,1 \cdot 10^{-3}$	$1,9 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-3}$	$0,6 \cdot 10^{-3}$	10^{-3}
$\tau_{\text{лпг}}, \text{с}$ $\tau_{\text{лпг}}, \text{с}$	18	21	23	16	7	12
$\Delta \tau, \text{с} / \text{с}$	54	51	45	57	12	20
$V_{\text{отв}}, \text{м}^3$ $V_{\text{сет}}, \text{м}^3$	$5,9 \cdot 10^{-3}$	$5,8 \cdot 10^{-3}$	$5,7 \cdot 10^{-3}$	$6,0 \cdot 10^{-3}$	$0,3 \cdot 10^{-3}$	$0,5 \cdot 10^{-3}$

Таблица 4. Проверка приемлемости измерений по условиям повторяемости (для огнетушителя ОП-6(з)-ABCE)

Table 4. Measurement acceptability check performed using repeatability conditions (for OP-6(z)-ABCE fire extinguisher)

Показатель Indicator	Номер эксперимента Experiment number				Диапазон (размах) измерений $x_{\max} - x_{\min}$ Measurement range (span) $x_{\max} - x_{\min}$	Критическое значение диапазона при $n = 4$ и доверительной вероятности 0,95 Critical range value at $n = 4$ and confidence probability 0.95
	1	2	3	4		
$T_k, ^\circ\text{C}$	126	157	143	185	59	98
$\Delta T, ^\circ\text{C}$	526	521	518	508	18	30
$h, \text{м} / \text{м}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$0,9 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$0,8 \cdot 10^{-3}$	$0,3 \cdot 10^{-3}$	$0,5 \cdot 10^{-3}$
$\tau_{\text{лпг}}, \text{с}$ $\tau_{\text{лпг}}, \text{с}$	45	51	48	53	6	14
$\Delta \tau, \text{с}$	22	17	17	11	11	18
$V_{\text{отв}}, \text{м}^3$ $V_{\text{сет}}, \text{м}^3$	$4,8 \cdot 10^{-3}$	$4,5 \cdot 10^{-3}$	$4,6 \cdot 10^{-3}$	$4,5 \cdot 10^{-3}$	$0,3 \cdot 10^{-3}$	$0,6 \cdot 10^{-3}$

Примечание. Объем огнетушащего порошка в огнетушителе ОП-6 определен с помощью заполнения им мерной емкости и уплотнения порошка путем постукивания емкости о твердую поверхность в течение 5 мин.

значения. Следовательно, для дальнейших расчетов показателя эффективности (1) правомерно использовать среднеарифметические значения.

Для определения достоверности различий среднеарифметических значений полученных результатов по каждому из показателей для ОТПТ-6 и ОП-6(з)-АВСЕ использовали t -критерий Стьюдента. Так, для каждого показателя вычислили эмпирическое значение t -критерия по формуле [19]:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}, \quad (2)$$

где $\bar{x}_1$ и $\bar{x}_2$ — среднеарифметические значения соответствующих показателей ($\bar{x}_1 > \bar{x}_2$);

s_1^2 — дисперсии соответствующих показателей;
 s_2^2 — количество параллельных измерений соответствующих показателей.

Затем сравнили полученное значение t с табличным значением при 5%-ном уровне значимости и числе степеней свободы, вычисленном по формуле $f = n_1 + n_2 - 2$. В случае, если оно больше или равно табличному, то различие между среднеарифметическими одного и того же показателя для ОТПТ-6 и ОП-6(з)-АВСЕ принимают статистически достоверным при уровне значимости 5 %. В противном случае считают, что различие носит случайный характер. Табличное значение t составляет 2,45.

Результаты определения достоверности различий среднеарифметических значений каждого из по-

Таблица 5. Эмпирические значения t -критерия Стьюдента для показателей ОТПТ-6 и ОП-6(з)-АВСЕ

Table 5. Empirical values of indicators obtained for OTPT-6 and OP-6(z)-ABCE fire extinguishers in the course of Student's t -testing

Огнетушитель Fire extinguisher	Номер эксперимента Experiment number				$\bar{x}$	s^2	t
	1	2	3	4			
Угол наклона окрашенной стали с нанесенным на ее поверхность ОТВ, α, град. Inclination angle of a painted steel sample with the fire extinguishing agent on its surface, α, degrees							
ОТПТ-6 OTPT-6 fire extinguisher	50	60	55	60	56	22,92	5,17
ОП-6(з)-ABCE OP-6(z)-ABCE fire extinguisher	45	35	35	40	39	22,92	
Угол наклона твердого пластика с нанесенным на его поверхность ОТВ, α, град. Inclination angle of a hard plastic sample with the fire extinguishing agent on its surface, α, degrees							
ОТПТ-6 OTPT-6 fire extinguisher	55	65	70	70	65	50,00	8,51
ОП-6(з)-ABCE OP-6(z)-ABCE fire extinguisher	35	35	30	30	33	8,33	
Угол наклона резины с нанесенным на ее поверхность ОТВ, α, град. Inclination angle of the rubber sample with the fire extinguishing agent on its surface, α, degrees							
ОТПТ-6 / OTPT-6 fire extinguisher	70	80	90	90	83	91,67	8,84
ОП-6(з)-ABCE / OP-6(z)-ABCE fire extinguisher	40	40	40	35	39	6,25	
Угол наклона натуральной кожи с нанесенным на ее поверхность ОТВ, α, град. Inclination angle of the natural leather sample with the fire extinguishing agent on its surface, α, degrees							
ОТПТ-6 OTPT-6 fire extinguisher	80	80	85	85	83	8,33	21,60
ОП-6(з)-ABCE OP-6(z)-ABCE fire extinguisher	40	40	45	40	41	6,25	
Конечная температура поверхности объекта пожара T_k , °C Final surface temperature of the fire seat T_k , °C							
ОТПТ-6 OTPT-6 fire extinguisher	52	47	68	54	55	80,92	7,35
ОП-6(з)-ABCE OP-6(z)-ABCE fire extinguisher	126	157	143	185	153	622,92	

Огнетушитель Fire extinguisher	Номер эксперимента Experiment number				$\bar{x}$	s^2	t
	1	2	3	4			
Разность температур поверхности объекта пожара, ΔT , °C Temperature difference of the fire seat surface, ΔT , °C							
ОТПТ-6 O TPT-6 fire extinguisher	596	565	597	635	598	820,92	5,40
ОП-6(з)-ABCE OP-6(z)-ABCE fire extinguisher	526	521	518	508	518	57,58	
Толщина слоя ОТВ на поверхности потушенного объекта пожара, h , м Fire extinguishing agent layer on the surface of the fire seat, h , m							
ОТПТ-6 OTPT-6 fire extinguisher	$2,1 \cdot 10^{-3}$	$1,9 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	10^{-7}	5,06
ОП-6(з)-ABCE OP-6(z)-ABCE fire extinguisher	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$0,9 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$0,8 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$0,2 \cdot 10^{-7}$	
Время ликвидации пламенного горения, $\tau_{\text{лпг}}$, с Time of the flame combustion elimination $\tau_{\text{лпг}}$, s							
ОТПТ-6 OTPT-6 fire extinguisher	18	21	23	16	20	9,67	12,71
ОП-6(з)-ABCE OP-6(z)-ABCE fire extinguisher	45	51	48	53	49	12,25	
Время с момента ликвидации пламенного горения до момента полного окончания подачи ОТВ на очаг пожара, $\Delta\tau$, с Time period from the flame combustion elimination till the end of the fire extinguishing agent feed, $\Delta\tau$, s							
ОТПТ-6 OTPT-6 fire extinguisher	54	51	45	57	52	26,25	10,27
ОП-6(з)-ABCE OP-6(z)-ABCE fire extinguisher	22	17	17	11	17	20,25	
Объем использованного на тушение ОТВ, $V_{\text{отв}}$, м ³ Amount of the fire extinguishing agent used to extinguish the fire, $V_{\text{отв}}$, m ³							
ОТПТ-6 OTPT-6 fire extinguisher	$5,9 \cdot 10^{-3}$	$5,8 \cdot 10^{-3}$	$5,7 \cdot 10^{-3}$	$6,0 \cdot 10^{-3}$	$5,9 \cdot 10^{-3}$	$0,2 \cdot 10^{-7}$	13,06
ОП-6(з)-ABCE OP-6(z)-ABCE fire extinguisher	$4,8 \cdot 10^{-3}$	$4,5 \cdot 10^{-3}$	$4,6 \cdot 10^{-3}$	$4,5 \cdot 10^{-3}$	$4,6 \cdot 10^{-3}$	$0,2 \cdot 10^{-7}$	

казателей для ОТПТ-6 и ОП-6(з)-ABCE с использованием t -критерия Стьюдента приведены в табл. 5.

Во всех случаях рассчитанное значение показателя α выше табличного, что свидетельствует о достоверности различия среднеарифметических значений всех показателей для ОТПТ-6 и ОП-6(з)-ABCE.

Исходя из результатов статистических проверок, представленных выше, для расчета показателя эффективности огнетушителя по формуле (1) правомерно использовать среднеарифметические значения всех показателей, полученных в резуль-

тате экспериментов. Таким образом, ОТПТ-6 имеет $\Pi_{30} = 38,43$; у ОП-6(з)-ABCE – $\Pi_{30} = 0,69$. Их соотношение друг к другу превышает 50 раз.

Оценка относительной погрешности расчета показателя (1) проведена по формуле [20]:

$$\delta\Pi_{30} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\delta x_i)^2}, \quad (3)$$

где n — количество показателей в формуле;

δ_{xi} — относительная погрешность показателя x_i .

Тогда

$$\delta\Pi_{30} = \sqrt{(\delta h)^2 + (\delta(\Delta\tau))^2 + (\delta(\Delta T))^2 + (\delta F)^2 + (\delta \sin \alpha)^2 + (\delta \tau_{\text{лпг}})^2 + (\delta T_{\kappa})^2 + (\delta V_{\text{отв}})^2}.$$

Таким образом, для Π_{30} значение относительной погрешности составляет 3,97 %, т.е.

$$\Pi_{30}^{\text{ОПТ-6}} = 38,43 \pm 1,53; \quad \Pi_{30}^{\text{ОП-6(3)-ABCE}} = 0,69 \pm 0,03.$$

Выводы

Оценка точности измерений, проведенная в соответствии с методиками нормативных документов, показала правомочность использования среднеарифметических значений всех показателей для расчета показателя эффективности Π_{30} .

Оценка статистической значимости с помощью t -критерия Стьюдента полученных в результате экспериментов значений всех показателей показала, что различия их среднеарифметических значений являются достоверными и не носят случайный характер.

Экспериментально доказано превосходство огнетушителя с быстротвердеющей пеной над огнетушителем порошковым по показателю Π_{30} более чем в 50 раз, что обусловлено комплексным воздействием огнетушащего вещества и конструкции огнетушителя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Собурь С.В.* Огнетушители : справочник. 2-е изд., доп. (с изм.). М. : Спецтехника, 2003. 96 с.
2. *Собурь С.В.* Огнетушители : учеб.-справ. пособие. 11-е изд., с изм. М. : ПожКнига, 2018. 80 с.
3. *Robin M.L., Anderson E.H.* Portable fire extinguishers: Selection and distribution // International Fire Protection. 2004. No. 20. Pp. 32–34.
4. *Walker S.* Portable extinguishers — training is the key to safe and effective use // International Fire Protection. 2008. No. 34. Pp. 67–71.
5. *Collins G.* Portables, the first line of defense // International Fire Protection. 2011. No. 46. Pp. 39–30.
6. *Bristow M.* Servicing fire extinguishers // International Fire Protection. 2019. No. 77. Pp. 34–35.
7. *Пивоваров В.В.* Разработка тактико-технических показателей и оценка эффективности огнетушителей : автореф. дис. ... канд. техн. наук. М. : ВИПТШ, 1988. 22 с.
8. *Сытдыков М.Р.* Методика оценки эффективности порошкового огнетушителя со встроенной пористой емкостью (применительно к пожароопасным производственным объектам нефтебаз) : дис. ... канд. тех. наук. СПб. : С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России, 2013. 115 с.
9. *Кожевин Д.Ф.* Методика комплексной оценки эффективности огнетушителей : дис. ... канд. тех. наук. СПб. : С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России, 2011. 120 с.
10. *Сорокин И.А., Поляков А.С., Кожевин Д.Ф.* Методика оценки эффективности конструкции порошковых огнетушителей // Научно-аналитический журнал Вестник Санкт-Петербургского университета государственной противопожарной службы МЧС России. 2020. № 2. С. 16–23.
11. *Абдурегимов И.М., Говоров В.Ю., Макаров В.Е.* Физико-химические основы развития и тушения пожаров. М. : ВИПТШ МВД СССР, 1980.
12. *Vinogradov A.V., Kuprin D.S., Abduragimov I.M., Kuprin G.N., Serebriyakov E., Vinogradov V.V.* Silica foams for fire prevention and firefighting // ACS Applied Materials & Interfaces. 2016. Vol. 8 (1). Pp. 294–301. DOI: 10.1021/acsami.5b08653
13. *Kuprin D.S.* Physical-chemical explanation of fire-fighting efficiency of FHF (fast-hardening foam) based on structured silica particles // Journal of Sol-Gel Science and Technology. 2017. Vol. 81 (1). Pp. 36–41. DOI: 10.1007/s10971-016-4285-8
14. *Kuprin G.N., Kuprin D.S., Cabanzon Z.S.* Las modernas tecnologías de extincion de incendios de la Compania RSL USP “SOPOT” // “24/7”. Edicion № 4. Enero. 2018. Pp. 36–38.
15. *Kuprin G.N., Kuprin D.S.* Fast-hardening foam: Fire and explosion prevention at facilities with hazardous chemicals. Journal of Materials Science Research. 2017; 6(4):56–61. DOI 10.5539/jmsr.v6n4p56
16. *Куприн Д.С., Поляков А.С.* Об эффективности переносных огнетушителей при тушении твердых горючих материалов автомобилей // Научно-аналитический журнал Вестник Санкт-Петербургского университета государственной противопожарной службы МЧС России. 2020. № 4. С. 32–39.
17. *Корольченко А.Я., Корольченко Д.А.* Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник. Ч. 1. М. : Ассоциация «Пожнаука», 2004. 713 с.

18. Корольченко А.Я., Корольченко Д.А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник. Ч. 2. М. : Ассоциация «Пожнаука», 2004. 774 с.
19. Елисеева И.И., Юзбашев М.М. Общая теория статистики : учебник / под ред. И.И. Елисеевой. 5-е изд., перераб. и доп. М. : Финансы и статистика, 2004. 656 с.
20. Голицына О.М., Меремьянин А.В., Рисин В.Е. Математическая обработка результатов измерений в лабораторном практикуме по курсу общей физики : учеб.-метод. пособие. Издательский дом ВГУ, 2015. 20 с.

REFERENCES

1. Sobur' S.V. *Fire-extinguishers : handbook*. 2nd edition. Moscow, Spectehnika Publ., 2003; 96. (rus).
2. Sobur' S.V. *Fire-extinguishers : learning manual*. 11th edition. Moscow, PozhKniga Publ., 2018; 80. (rus).
3. Robin M.L., Anderson E.H. Portable fire extinguishers: Selection and distribution. *International Fire Protection*. 2004; 20:32-34.
4. Walker S. Portable extinguishers — training is the key to safe and effective use. *International Fire Protection*. 2008; 34:67-71.
5. Graham Collins. Portables, the first line of defense. *International Fire Protection*. 2011; 46:39-30.
6. Mark Bristow. Servicing fire extinguishers. *International Fire Protection*. 2019; 77:34-35.
7. Pivovarov V.V. *Development of tactical and technical indicators and fire-extinguishers efficiency assessment : dissertation abstract ... candidate of technical sciences*. Moscow, 1988; 22. (rus).
8. Sytdykov M.R. *Efficiency assessment method for the powder fire-extinguisher with built-in porous container (applicable to fire dangerous production oil assets) : dissertation of the candidate of technical sciences*. St. Petersburg, 2013; 115. (rus).
9. Kozhevin D.F. *Method of the complex efficiency assessment of fire-extinguishers : dissertation of the candidate of technical sciences*. St. Petersburg, 2011; 120. (rus).
10. Sorokin I.A., Polyakov A.S., Kozhevin D.F. Method for evaluating the effectiveness of powder fire extinguishers. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo Universiteta GPS MCHS Rossii*. 2020; 2:16-23. (rus).
11. Abduragimov I.M., Govorov V.Yu., Makarov V.E. *Physicochemical foundations of the development and extinguishing of fires*. Moscow, VIPTSh Ministry of Internal Affairs of the USSR, 1980. (rus).
12. Vinogradov A.V., Kuprin D.S., Abduragimov I.M., Kuprin G.N., Serebriyakov E., Vinogradov V.V. Silica foams for fire prevention and firefighting. *ACS Applied Materials & Interfaces*. 2016; 8(1):294-301. DOI: 10.1021/acsami.5b08653
13. Kuprin D.S. Physical-chemical explanation of fire-fighting efficiency of FHF (fast-hardening foam) based on structured silica particles. *Journal of sol-gel science and technology*. 2016; 81(1):36-41. DOI: 10.1007/s10971-016-4285-8.
14. Kuprin G.N., Kuprin D.S., Sergio Zubizarreta Cabanzon. Las modernas tecnologias de extincion de incendios de la Compania RSL USP "SOPOT". "24/7". *Edicion No 4 Enero*. 2018; 36-38.
15. Kuprin G.N., Kuprin D.S. Fast-hardening foam: Fire and explosion prevention at facilities with hazardous chemicals. *Journal of Materials Science Research*. 2017; 6(4):56-61. DOI: 10.5539/jmsr.v6n4p56
16. Kuprin D.S., Polyakov A.S. *About efficiency of the handle fire-extinguishers for the automobile solid combustible materials fire-extinguishing*. St. Petersburg, St. Petersburg State Fire University of Emercom of Russia Publ., 2020; 4; 32-39. (rus).
17. Korol'shenko A.Ya., Korol'shenko D.A. *Fire and explosion danger of substances and materials and fire-extinguishing means for them : handbook*. Part. 1. Moscow, Association "Pozhnauka", 2004; 713. (rus).
18. Korol'shenko A.Ya., Korol'shenko D.A. *Fire and explosion danger of substances and materials and fire-extinguishing means for them : handbook*. Part. 2. Moscow, Association "Pozhnauka", 2004; 7774. (rus).
19. Eliseeva I.I., Uzbashiev M.M. General theory of statistics ; I.I. Eliseeva (ed.). 5th ed., refined and supplemented. Moscow, Finance and statistics Publ., 2004; 656. (rus).
20. Golicina O.M., Meremyanin A.V., Risin V.E. *Mathematical processing of the measurements results in the lab practice of the general physics studying: Studying and methodical edition*. Voronezh, VGU Publ., 2015; 20. (rus).

Поступила 25.01.2021, после доработки 11.02.2021;

принята к публикации 02.03.2021

Received January 25, 2021; Received in revised form February 11, 2021;

Accepted March 2, 2021

Информация об авторах

КУПРИН Денис Сергеевич, начальник лаборатории пожаровзрывопредотвращения, ООО НПО «СОПОТ», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; ORCID: 0000-0003-3087-4895; e-mail: dskuprin@mail.ru

ПОЛЯКОВ Александр Степанович, д-р техн. наук, заслуженный деятель науки Российской Федерации, профессор кафедры физико-технических основ обеспечения пожарной безопасности, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; РИНЦ ID: 554236; ORCID: 0000-0002-4743-3941; e-mail: poljakov_as@mail.ru

Information about the authors

Denis S. KUPRIN, Head of Fire and Explosion Prevention Laboratory, LLC RPA "SOPOT", St. Petersburg, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-3087-4895; e-mail: dskuprin@mail.ru

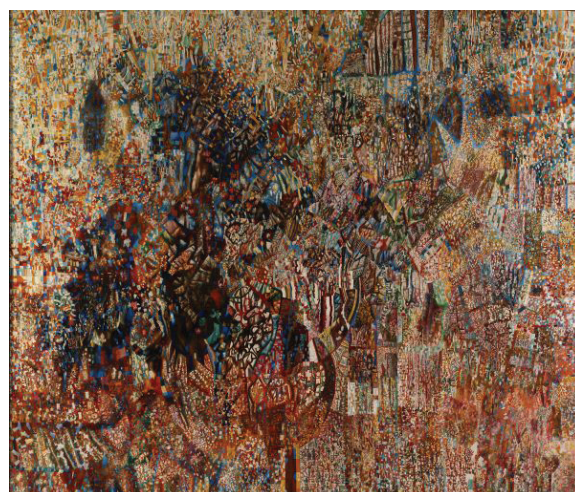
Aleksandr S. POLYAKOV, Dr. Sci. (Eng.), Honored Scientist of Russian Federation, Professor of Physical and Technical Basics for Fire-Fighting Safety, Saint-Petersburg University of State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters; ID RISC: 554236; ORCID: 0000-0002-4743-3941; e-mail: poljakov_as@mail.ru

О проблеме перехода государственного управления в техносфере на новую риск-ориентированную модель на примере обеспечения пожарной безопасности*

© 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)

*От активного хаоса частных
к объединяющему обоснованному выбору решения*



П.Н. Филонов «Формула весны и действующие силы» (1927–1928)

АННОТАЦИЯ

Данная статья посвящена изучению проблемы перехода государственного управления в техносфере с устаревшей типовой модели на новую расчетно-сценарную (риск-ориентированную, адресную, целевую) объединяющую модель в условиях резкого повышения динамики социокультурных процессов. Проблемная социокультурная ситуация раскрыта на примере обеспечения пожарной безопасности.

Прежняя типовая модель, созданная на основе жестко стандартизированных типовых решений в условиях достижения высоких уровней индустриализации и урбанизации, уже в конце XX в. перестала обеспечивать государственное регулирование (государственное управление) решениями, качество которых должно быть нацелено на создание высокого уровня защиты охраняемых федеральным законодательством общественных ценностей: конституционных прав граждан на безопасные условия труда, свободу распоряжения собственным имуществом (которым собственник имеет право рисковать, в том числе в предпринимательских целях), права самостоятельного выбора вариантов противопожарной защиты людей, собственного и чужого имущества. Это привело к значительному снижению уровня доверия к государственной контрольно-надзорной и разрешительной деятельности (КНД) со стороны главных бенефициаров: граждан и организаторов производства (предпринимателей, прежде всего малого и среднего бизнеса).

Современные технологические уклады уже создали новые и более точные по сравнению с типовыми технические решения для инструментов измерения проблемных ситуаций в техносфере, в основе которых лежат методы расчетно-сценарного моделирования и прогнозирования опасных факторов, что требует безусловного и скорейшего внедрения этих новых инструментов в практику регулирования общественных отношений.

Несмотря на то что уже сложились обстоятельства объективного характера по переходу государственного управления в техносфере на новую риск-ориентированную модель регулирования отношений, в конце XX – начале XXI вв. обозначились тенденции по сохранению государственного регулирования в техносфере на основе морально и физически устаревшей типовой модели, что уже привело к резкому обозначению нарастания противоречия между производительными силами и производственными отношениями.

* Продолжение. Начало см. журнал «Пожаровзрывобезопасность» № 1 за 2021 г., С. 75–85.

Настоящая работа не имеет своей целью производить измерение уровня такого противоречия и его динамики, а нацелена, прежде всего, на фиксацию фактов и поиск максимально ламинарного способа (пути, логистики) преодоления данной проблемной ситуации. Такое авторское решение основано на том факте, что мировая практика последних 100 лет показывает, что «лечение» застарелых (препятствующих развитию) общественных противоречий путем резких общественных преобразований не приводит к защите охраняемых общественных ценностей (прежде всего, жизни и здоровья людей, а также их благосостояния), а как раз наоборот.

В Учебно-научном комплексе организации надзорной деятельности Академии ГПС МЧС России накоплен успешный опыт применения риск-ориентированной модели регулирования отношений в техносфере (на примере обеспечения пожарной безопасности для решения разных проблемных ситуаций при проектировании, эксплуатации, организации КНД, расследовании пожаров, в рамках судебной экспертизы, при совершенствовании нормативного правового регулирования), который позволяет сформулировать общественно значимые выводы, главным из которых является вывод о превращении современного нормативного правового поля регулирования общественных отношений в техносфере в поле яркого и активного хаоса. Понять и соразмерно применить весь объем современной нормативной базы специалисты, подготовленные на основе типовой модели государственной КНД, уже не в состоянии.

В рамках настоящей работы сформулирована гипотеза о том, что для перевода государственной КНД на риск-ориентированную модель требуется переформатирование профессионального сознания (профессиональной культуры) лиц, регулирующих отношения в области обеспечения техносферной (пожарной) безопасности (сотрудников отделов лицензионно-разрешительной работы (ЛРО)).

Ключевые слова: социокультурная динамика; типовая модель управления; расчетно-сценарные методы; моделирование и прогнозирование опасных факторов; контрольно-надзорная и разрешительная деятельность; регулирования общественных отношений

Для цитирования: Ершов А.В., Коробко В.Б. О проблеме перехода государственного управления в техносфере на новую риск-ориентированную модель на примере обеспечения пожарной безопасности // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2021. Т. 30. № 2. С. 98–116. DOI: 10.22227/PVB.2021.30.02.98-116

✉ Ершов Александр Владимирович, e-mail: ave72@mail.ru

The problem of state governance in the technosphere and its transition to a new risk-oriented model: the case of fire safety assurance

© 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)

The purpose of this work has nothing to do with the measurement of this contradiction or its pace; rather, it is aimed at the observation of facts and identification of the smoothest way (means, logistics) to resolve this problematic situation. This approach stems from the fact that the recent international centennial practice has shown that the “relief” of years-long social tensions (that hamper any further development) by means of revolutionary public changes does not lead to protection of safeguarded public values (primarily, human health and lives, as well as human welfare); everything happens the other way round.

The Centre for Education and Research into the Management of Supervisory Activities of the Academy of State Fire Service of Emercom of Russia has accumulated successful experience in application of the risk-oriented model of regulation of relations in the technosphere (the case of fire safety assurance aimed at the resolution of problematic situations in the process of design, operation, and organization of supervisory activities, fire investigations performed within the framework of court-appointed examinations, in the process of revising the legal and regulatory framework). This experience enables actors to make conclusions of public significance. The main conclusion deals with conversion of the present-day legal and regulatory framework focused on public relations in the field of the technosphere into the framework full of striking and proactive chaos. Specialists, trained to apply the standard model of state supervision, are unable to comprehend and adequately apply the effective legislation.

The co-authors have formulated the assumption that the introduction of a risk-oriented model into the system of state supervision requires a drastic change in the professional mindset (professional culture) of executives responsible for governing the relations dealing with the technosphere, or (fire) safety assurance (employees of licensing and authorization departments)).

Keywords: pace of sociocultural changes; standard management model; computational and scenario-based methods; modeling and prognostication of hazardous factors; supervisory and permitting activities; governance of public relations

For citation: Ershov A.V., Korobko V.B. The problem of state governance in the technosphere and its transition to a new risk-oriented model: the case of fire safety assurance. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2021; 30(2):98-116. DOI: 10.22227/PVB.2021.30.02.98-116 (rus).

✉ Aleksandr Vladimirovich Ershov, e-mail: ave72@mail.ru

Введение

В конце XX в. в мире сложились обстоятельства для ускорения социокультурных процессов (обусловленные повышением темпов индустриализации и урбанизации, а также усложнением техносферы), темпы которых стали резко превосходить темпы освоения профессиональной информации в рамках традиционализма и консерватизма.

В общественном и профессиональном сознании сформировалась напряженная ситуация, которая во многом определяется противоречием между средним уровнем профессионального образования, которое, как правило, построено на консервативном положительном опыте, и резко возросшим уровнем сложности техносферы, который в разы превосходит консервативный положительный опыт. В этой связи государственное управление техносферой (в области обеспечения технической безопасности), организованное на основе прежней типовой модели, больше не может гарантировать обществу результативных и эффективных управленческих решений в самом широком смысле этого слова, что, по сути, означает, что государственное управление техносферой на основе прежней типовой модели больше не может удовлетворять резко возросшие общественные потребности в области технической безопасности: уровень защиты жизни и здоровья людей, право самостоятельного выбора вариантов защиты, право самостоятельно, под свою ответственность защищать собственное имущество, в том числе рисковать им, на что собственник имеет законное право.

Особое значение данная проблемная ситуация имеет для профессионалов — лиц, принимающих решения, в том числе для государственных служащих, организаторов и исполнителей контрольно-надзорной и разрешительной деятельности (КНД), выполняющих роль формальных общественных лидеров, на доверии к деятельности которых формируются общественные правосознание и правопорядок.

Для создания необходимых условий адаптации профессионального сознания и деятельности отделов лицензионно-разрешительной работы (ЛРО) в техносфере в Российской Федерации с июля 2003 г. введена в деловой оборот новая модель технического регулирования (ТР)¹, именуемая специалистами как расчетно-сценарная, или риск-ориентированная, или просто риск-модель. Некоторые специалисты применяют к ней название из смежных сред: объектно-ориентированная или параметрическая.

Суть риск-ориентированной модели заключается в управлении обеспечением технической без-

опасности на основе расчетно-прогнозной оценки рисков причинения вреда охраняемым федеральным законодательством ценностям. Ее принципиальное отличие от типовой модели — отказ от прямого применения (без оценки рисков, без производства прогнозных расчетных оценок) стандартизированных технических решений (набора технических решений), исполнение которых в рамках типовой модели принято считать выполнением условий обеспечения пожарной безопасности.

Риск-ориентированная модель технического регулирования (РОМТР) обеспечивает более четкое и однозначное формулирование целевой функции обеспечения технической безопасности и меняет условия соответствия с сопоставления с некоторым типовым набором стандартизированных технических решений на сопоставление с порядком разработки, утверждения, применения и исполнения обязательных требований технической безопасности, в основе которого лежит природный критерий недопустимого вреда, введенный в деловой оборот в рамках целевого общественного договора.

Основная часть

Методологическую и методическую основы перехода на риск-модель технического регулирования начали активно разрабатываться около 50 лет назад, однако переход на эту новую модель администрирования пока еще представляет собой существенную, по сути, экзистенциальную, общественную мировую проблему.

Авторы полагают, что отставание практики организации государственного администрирования в техносфере от достижений самой техносферы не менее чем на 30 лет не стоит объяснять только банальной нерасторопностью либо небрежностью. По всей видимости, этот дисбаланс имеет более глубокие основания, которые подлежат рассмотрению в качестве научно-практической проблемы. Представляем некоторые соображения по этому поводу.

Назначение современной науки не только фиксировать и изучать объективные параметры природной и социальной материй, а также их динамику, но и формировать нормы социального поведения в бытовой и профессиональной среде.

Наука всегда вплетена в социально-культурный процесс. Уровень научно-технического прогресса оказывает существенное влияние на уровень общественной и профессиональной культуры и, наоборот.

Наука является особым социокультурным феноменом, который имеет особые закономерности, знание и реализация которых позволяет решать практические задачи внедрения новых достижений науки и техники с минимизацией затрат, т.е. максимально эффективно.

¹ 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.

Техническое регулирование (в том числе в области обеспечения пожарной безопасности) — это новая комплексная (синергетическая) наука, вобравшая в себя самые современные достижения теорий права, социологии, психологии, управления, экономики, противопожарных техники и технологий, а также физики (в самом широком смысле этого слова), включая теоретические положения, описывающие процессы динамики пожара и процессы противодействия его опасным проявлениям в целях защиты охраняемых законом ценностей (люди, чужое имущество, окружающая среда).

Опыт авторов в области ТР позволяет отметить, что на сегодняшний день лишь отдельные специалисты воспринимают ТР с позиций комплексной правовой, управленческой и технико-технологической науки, а большинство ошибочно полагают, что ТР — это разработка и утверждение разного рода стандартов технических решений из области обеспечения пожарной безопасности.

Данный факт создает соразмерные трудности для извлечения выгоды для государства и общества из полученного нового знания.

Существенная перестройка либо формирование нового профессионального сознания на основе преобразованного нового технического знания требует значительных затрат времени, психических сил и иных ресурсов, которыми часто не располагают не только отдельные граждане и специалисты, но и государственные структуры, что приводит к естественному сдерживанию темпов необходимой адаптации профессионального сознания для удовлетворения потребности развития национальной экономики.

Темпы развития профессионального сознания могут существенно замедляться в периоды экономических кризисов по причине экономии средств на эти цели, что приводит к еще большему отставанию профессионального сознания от потребностей экономики и к еще большему повышению напряженности.

Авторы полагают, что эффективное разрешение этого противоречия возможно на основе целенаправленной деятельности по внедрению нового знания, необходимого экономике, в профессиональное сознание, прежде всего в профессиональное сознание лиц, принимающих решения (ЛПР), и ЛРО.

Главным сдерживающим фактором по всеобщему внедрению риск-модели принятия решений в техносфере является факт более чем 2000-летней мировой практики по применению типовой модели государственного администрирования, что естественным образом не предполагает автоматическую (по факту появления нового знания) смену типовой модели на риск-ориентированную для решения широкого спектра техносферных проблем.

В этой связи самым практичным объяснением невозможности замены типовой модели государственного администрирования на риск-ориентированную выступает фактор низкой квалификации специалистов-практиков, ориентированных на самый низкий уровень массового общественного сознания.

Такая парадоксальная ситуация с переходом на риск-ориентированную модель сложилась уже более 100 лет назад (в период массового внедрения машинного производства), но особую остроту приобрела в начальный период смены общественных формаций с индустриальной на постиндустриальную (информационную), который начался около 50 лет назад.

Как полагают авторы, разрыв между общепринятым образом технической безопасности и самой безопасностью уже превратился в пропасть, которую пока еще не замечают широкие слои населения в отличие от наиболее чувствительных руководителей и специалистов, которые, несмотря на прилагаемые добросовестные усилия по исполнению нормативной базы типовой модели ТР, не могут защитить людей от гибели и причинения тяжкого вреда их здоровью.

При этом основная масса специалистов и руководителей в области технической безопасности, по всей видимости, сориентирована, прежде всего, на традиционалистскую цель сохранения стабильности в общественном сознании и производит искусственное сдерживание внедрения современных достижений науки в практику государственного управления обществом и экономикой, в том числе по вопросам широкого информирования населения об уже сложившейся проблемной ситуации между простыми и привычными техническим решениями в области пожарной безопасности и невозможностью с помощью такой простоты обеспечить защиту общественных ценностей в резко усложнившейся техносфере (в новых условиях индустриализации и урбанизации).

Для такого сдерживания (осознанно либо нет) используются методы формирования эрзац-информации (неестественные разделения, упрощения, объединения, унификация, политизация, отрицательная идеологизация, манипуляция и другие методы), что приводит к значительному искажению современного и достоверного научного знания в обыденном сознании.

Также применение методов упрощения и унификации достижений науки часто обусловлено объективной необходимостью осуществления социализации широких масс (низший уровень социализации) под уже внедренные (либо под предполагаемые к внедрению, что значительно реже) в экономику массовые технику и технологии, включая технологии социального управления.

При этом упрощение и унификация (искажение) достижений науки на высших этапах социализации под уже внедренные в экономику массовые технологии (что в последнее время приобрело тотальный характер) приводит к формированию искаженного профессионального сознания, а именно: к подготовке специалистов, относительно хорошо знающих типовые способы решения типовых задач, но не обладающих точными и доказательными знаниями о целевом предназначении таких типовых решений. Таким образом, высшая профессиональная деятельность и высшая профессиональная культура формируются на основе массовых типовых упрощений и искажений, которые даже не предполагают наличие причинно-следственной связи между решением и вредом, на предотвращение которого направлено решение.

Такая профессиональная деятельность (и профессиональная культура) может обеспечить требуемый уровень надежности государственного управления техносферой только в условиях низкой социокультурной динамики, но в условиях ускорения социокультурных процессов такая деятельность превращается в непрофессиональную, в рудимент, отягощает общество и экономику необходимостью тратить весомый общественный ресурс на меры, которые не обеспечивают защиту охраняемых общественных ценностей.

В условиях высокой социокультурной динамики профессионалы, подготовленные под типовую модель КНД, разом (т.е. тотально) превращаются в «прежнюю гвардию», которая обладает высокой выправкой по прежнему образцу для прежней организации жизнедеятельности, но в новых условиях (при новых уровнях индустриализации и урбанизации) применение прежней выправки уже не способно приносить общественной пользы. Следовательно, любая активность «прежней гвардии» в новых социокультурных обстоятельствах, к сожалению для нее и для общества, способна причинять обществу только вред в форме необоснованных затрат денежных средств, времени, других ресурсов, что в конечном итоге выражается в форме упущенной выгоды для национальной экономики и сдерживании ее интенсивного развития.

По сути, доминирование «прежней гвардии» в профессиональной деятельности по обеспечению техносферной безопасности во многом формирует общую стратегию отстающего социально-экономического развития любого национального государства.

Попробуем показать это на примере. Так, в современной профессиональной практике обеспечения пожарной безопасности при противопожарном инструктаже каждому сотруднику любого предприятия или организации устанавливается правило:

«В случае пожара звонить по номеру 01 (112)», которое у большинства обывателей и даже у профессионалов не вызовет никаких сомнений. При этом данное правило не содержит всех обстоятельств, характеризующих необходимость, возможность и достаточность этого правила для обеспечения пожарной безопасности. Из данного правила не следует, как это правило связано с охраняемыми федеральным законодательством ценностями: жизнью и здоровьем людей, сохранностью имущества, защитой окружающей среды. На эти рассуждения условный «бывалый» профессионал ответит примерно так: «Это не наше дело. Правило государственное, вот пусть за последствия его применения отвечает государство. Наше дело только требовать исполнение этого правила. А если не будем требовать, то будем виноваты во всем: в гибели людей, ущербе, самом факте пожара, в том, что приехали без воды, в том, что поздно приехали, в том, что не того и не так спасли, и т.д.». И, на первый взгляд, этот условный «бывалый» профессионал прав. Однако, когда дело касается уголовного разбирательства, необходимо правильно квалифицировать не только объект правонарушения, но и объективную, и субъективную стороны правонарушения.

Следует также отметить, что только сам факт введения в деловой оборот института квалификации преступления по критериям объективной и субъективной сторон указывает на несовершенство административного порядка, включая материальные и процессуальные нормы, которые, как правило, не учитывают связи нормы с предотвращаемым вредом и возможности субъекта предотвратить причинение вреда путем применения вменяемой либо иной нормы.

Так, применительно к рассматриваемому правилу («В случае пожара звонить по номеру 01 (112)»), правилоприменителю следует знать порядок его применения, например:

- сначала звонить, затем начать эвакуацию;
- звонить после завершения эвакуации;
- звонить в процессе эвакуации;
- позвонить (сообщить о пожаре) и не осуществлять эвакуацию;
- действовать иначе.

«Бывалый» назовет такую постановку демагогией (рассуждениями с целью запутать) и будет прав, но в рамках типовой модели, которая не предусматривает саму возможность наличия причинно-следственных связей между мерой, вредом и возможностью.

Из самого правила также не следует, как данное правило связано с тушением пожара на начальном этапе первичными средствами пожаротушения и тушением пожара пожарными подразделениями,

которым необходимо организовать и осуществить транспортную логистику.

Отсутствие важных причинно-следственных связей, оказывающих существенное влияние на установление порядка применения этого правила, можно перечислять долго. Важно другое — этих связей нет в порядке прямого применения типовой нормы, а сам факт их отсутствия в порядке применения типовой нормы становится, по всей видимости, преступным деянием, поскольку, установив сотруднику предприятия данное правило в качестве обязательной поведенческой нормы, мы можем ввести его в заблуждение относительно ее необходимости, достаточности и возможности реализации в условиях реального пожара, что может привести к гибели этого и других сотрудников. В описанных обстоятельствах, при их практической реализации действия лиц, установивших такую норму в качестве обязательного требования для конкретных должностных лиц, могут быть квалифицированы по 293 статье Уголовного кодекса Российской Федерации (УК РФ)² как халатность.

Однако в настоящее время в обстоятельствах тотального применения типовой модели КНД и связанной с этим практикой применения типовых технических норм (технических решений) в качестве обязательных вина по статье 293 УК РФ будет, скорее всего, вменена не разработчику такой неполноценной нормы, а ее «неудачливому» применителю (в случае гибели людей) с формулировкой типа «имел возможность», «понимал», «знал, но не принял достаточных усилий» или похожей.

В практике организации КНД в области обеспечения пожарной безопасности по типовой модели рассмотренный частный случай уже трансформировался в четкое правило: «Инспектор Федерального государственного пожарного надзора (ФГПН) виноват всегда, если на закрепленном за ним объекте погибли люди. Не имеет никакого значения, что и как он проверял либо не проверял, какие нормы и как применял».

В рамках такого правила следственным органам остается только найти сколько-нибудь подходящее техническое решение из документа по стандартизации, чтобы обосновать такое обвинение. При этом таких стандартизированных типовых технических решений (норм пожарной безопасности), по оценкам Всероссийского научно-исследовательского института противопожарной обороны МЧС России (ВНИИПО), уже накопилось не менее 100 тыс. (по оценкам авторов, не менее 250 тыс.), собранных в более чем 1700 документах, представляющих не менее чем 20 нормативных баз пожарной безопасности (которые по-разному

регулируют отношения по обеспечению пожарной безопасности), что, как правило, не создает особых трудностей для следствия.

В связи с вышесказанным представляется полезным рассмотреть аспекты истинной (научно обоснованной) и ложной (субъективной) идеологизации массового и профессионального сознания, выявленные фундаментальной наукой.

Основоположниками так называемой истинной (научной) идеологизации считаются французский философ и аббат Этьенн де Кондильяк (1714–1780) [1] и французский философ А. Дестют де Траси (1754–1836) [2]. Последний ввел термин «идеология» в качестве знака науки об общих закономерностях происхождения идей из содержания чувственного опыта реализуемой в виде принципов организации деятельности в науке и в социальной жизни. Следует отметить, что эти научные доводы были противопоставлены установленному Наполеоном режиму императорской власти, что, по всей видимости, было актуально для того периода развития французского государства, поскольку такая власть осуществлялась на основе жестких типовых решений, обеспечивающих государственное единство, но при этом, видимо, такие решения часто были плохо связаны с реальностью, что отрывало это единство от действительного времени и пространства [3, с. 30]. Бытие того времени, определяемое политическим классом, бюрократическим аппаратом и уровнем социально-экономического развития общества, не смогло полноценно воспринять науку об идеях как основу общественного развития и по этой причине ошибочно присвоило ей статус умозрительных рассуждений, не имеющих ничего общего с практикой жизни. Последствия не заставили себя ждать. Презрительное, негативистское толкование этого термина стало общепринятым.

Отдельные представители современной бюрократии нередко используют этот демагогический прием для очернения реформы ТР на основе современных достижений науки и техники (на основе расчетно-сценарного, компьютерного, аналитического и имитационного моделирования): «слишком сложно», «слишком много мороки», «все правильно, но все равно непонятно», «это не запишешь в техническое решение, которое можно проверить с помощью рулетки», «а как это будет делать обыватель?», «он просто считать не умеет, не то, что делать расчетно-сценарные оценки пожарных рисков». Такие и им подобные рассуждения приходится слышать авторам настоящей публикации в дискуссиях о путях развития КНД в области обеспечения пожарной безопасности с представителями «прежней гвардии».

Марксисты продолжили этот негативный тренд трактовки понятия «идеология». Так называемую

² Уголовный кодекс Российской Федерации : Федеральный закон от 13 июня 1996 г. № 63-ФЗ: принят Государственной Думой 24 мая 1996 г., одобрен Советом Федерации 5 июня 1996 г.

иллюзорную, превращенную, частную в форме всеобщности, ложную форму сознания, которая искажает, идеологизирует научное знание и, как следствие, бытие, выявили К. Маркс и Ф. Энгельс, определившие идеологию как ложное сознание, превратное мировоззрение, сформировавшиеся вследствие материальных противоречий в производственной основе общества, и как философию буржуазии [4, 5].

К. Маркс в своей докторской диссертации утверждал: «Не в идеологии и пустых гипотезах нуждается наша жизнь, а в том, чтобы мы жили, не зная смятения» [6, с. 60], таким образом не отрицая идеологию как науку об идеях, обеспечивающих бытие необходимыми знаниями.

Представляется справедливым отметить, что и сегодня термин «идеология» чаще всего используется не в его первоначальном общем смысле (как науки об идеях), а в качестве обозначения (знака) инструмента манипулирования общественным сознанием в целях извлечения выгоды для участников доминирующей социальной группы.

Также справедливым будет отметить, что человеческое общество пока не может обойтись без производства идей, предназначение которых — трансформировать сознание и менять бытие. Эти идеи приобретают первостепенный смысл в периоды крушения старых идеалов и поиска новых в целях адаптации практики жизнедеятельности к меняющимся реальностям.

Комплексный, на наш взгляд, сбалансированный подход к описанию показанной выше дихотомии идеологии представлен в учебнике по политологии МГИМО [7, с. 519]: «Идеология — это процесс производства смыслов, знаков и ценностей в социальной жизни; совокупность идей, характерных для конкретной социальной группы или класса; «ложные» идеи, способствующие легитимизации господствующей системы власти; постоянно искажаемая коммуникация; формы мышления, мотивированные социальными интересами; тип идентификации; социально необходимые иллюзии; совпадение установок власти с преобладающим общественно-политическим дискурсом; деятельно-ориентированная группа убеждений; и так далее.

Наука, подвергшаяся так называемой «ложной» (субъективной) идеологизации (объявлению частного всеобщим либо низкому упрощению), имеет следующие признаки:

- намеренное искажение реальности;
- догматизм;
- нетерпимость к инакомыслию;
- активное противодействие продвижению научно-обоснованных (объективных) решений;
- информационное манипулирование (информационная маскировка, информационные шумы,

информационные перегрузки, информационное доминирование/прессинг) [8];

- применение любых средств и технологий для сохранения доминирования, вплоть до человеконенавистнических, сопоставимых по уровню агрессии с фашизмом (пример — тюремное заточение и сожжение живьем на костре священника и философа Джордано Бруно 17 февраля 1600 г.).

Также следует отметить, что истинная идеологизация науки на основе ее концептуализации (высоко научной систематизации знаний) имеет важнейшее значение для разработки и освоения социальных норм широкими массами, надлежащее образование которых является залогом устойчивого и успешного национального развития, обеспечивая государство более высокими ценностями: более высоким уровнем доходов, свободой самореализации, повышением уровня правосознания и правопорядка [9].

Внедрение самых современных достижений науки в жизнь простых людей является приоритетной задачей ООН: «Бедняки получают знания как нужно жить, слабые станут сильными»³.

В обзоре Хорста Рутша также отмечается, что в последнее время темпы роста грамотности во всем мире заметно замедлились, автор полагает, что привычные методы социализации на основе всеобщей начальной грамотности, сформированной на упрощениях, которая показывала хорошие результаты в обстоятельствах начальной урбанизации, с увеличением объемов и темпов индустриализации и урбанизации стала превращаться из истинной в ложную. Это происходит по той причине, что высокий уровень индустриализации и урбанизации приводит к тому, что для организации системы управления обществом уже не достаточно возведения частных решений до уровня всеобщих, требуется более глубокое и широкое разнообразие управленческих решений на основе учета местных потребностей и особенностей, которое можно обеспечить делегированием права принятия научно-обоснованных управленческих решений на местах, а не только в столичных кабинетах. В рамках риск-модели из столичных кабинетов можно и нужно контролировать соблюдение порядка научного обоснования принимаемых решений и достижения уровня защиты охраняемых ценностей, который установлен в рамках высокого общественного договора.

Возвеличивание частных решений до категории всеобщности и символов начальной (бытовой) культуры формирует не только массовое, но и профессиональное сознание в категориях догм и мифов, значительно и ложно упрощающих реальность, обрезая

³Рутш Х. Грамотность — источник свободы. Хроники ООН 2003–2012 гг. URL: <https://www.un.org/ru/events/literacy/literacy.htm> (дата обращения: 20.09.2020).

профессиональное сознание до уровня бытового. Причина в том, что символическая культура имеет высокую степень освоения в период получения начальной грамотности, закрепляясь в подсознании в виде устойчивой нейронной сети — системы ориентиров принятия решений, которая потом со значительными трудностями может видоизменяться у небольшого количества современных людей.

Такой тренд не позволяет обеспечить устойчивое национальное развитие, поскольку создает экзистенциальное противоречие как внутри отдельного индивидуума, так и в социуме, лишая конкретного человека и общество высоких целей бытия, опуская их до банальных потребительских «хлеба и зрелищ».

Типизация (догматизм, символичность и мифологичность) профессионального сознания по образу и подобию массового общественного сознания, ориентированного на банальные человеческие потребности, резко меняет контекст любой профессиональной деятельности на потребительский, что представляет высокую общественную опасность при укоренении типизации профессионального сознания у ЛПР по причине того, что административный аппарат, организованный на принципах массового потребительского сознания, не способен обеспечить удовлетворение даже первичных потребностей массового потребительского общества, что создает естественные предпосылки для смены организационной модели и повышения квалификации ЛПР.

В Российской Федерации около 30 лет проводится административная реформа, направленная на изменение поведенческой модели и профессиональной культуры государственного администрирования с безразличного (отчужденного/отделенного от общества) на ориентированное на оказание максимальной пользы для общества в проблемных ситуациях, которых люди не способны преодолеть самостоятельно. Специалисты выделяют четыре этапа по четырем концепциям административной реформы (1996–1999, 2004–2005, 2006–2010, 2010–2020 гг.), в основу каждой из которых положены высокие ценности: законность, организационные простота и единство, прозрачность и доступность процедур, борьба с коррупцией, повышение результативности и эффективности государственного управления. Однако достигнутые практические результаты, к сожалению, пока во многом не отвечают установленным целям и задачам.

В области обеспечения пожарной безопасности административная реформа, несмотря на значительные административные и организационные усилия, пока имеет фрагментарные практические успехи, достигнутые, как полагают авторы, прежде всего, за счет незначительных практических внедрений результатов глубоких научных изысканий, проведен-

ных бессменным научным руководителем этого направления и талантливым практиком (защитившим от необоснованных обвинений более 200 должностных лиц ГПН и хозяйствующих субъектов), академиком Международной академии информатизации, доктором философских наук, профессором Василием Ивановичем Козлачковым, совместно с его учениками, создавшими, среди прочего, необходимые обслуживающие риск-модель рабочие редакции регулирующих документов и рекомендаций по их применению:

- идентификация объектов технического регулирования при применении «Технического регламента о требованиях пожарной безопасности» [10];
- Правила идентификации обязательных требований пожарной безопасности при осуществлении контрольно-надзорной и разрешительной деятельности (для юристов) [11, Приложение 12];
- Правила применения требований пожарной безопасности при осуществлении контрольно-надзорной и разрешительной деятельности (для инженеров).

К сожалению, Василий Иванович Козлачков не успел опубликовать данную научно-практическую работу, что затрудняет ее применение для заинтересованных специалистов. В этой статье авторы решили исправить эту ситуацию, ниже приведен текст Правил применения требований пожарной безопасности при осуществлении контрольно-надзорной и разрешительной деятельности (для инженеров).

«1. При документарных и выездных проверках в системном порядке выявляются нарушения всех требований пожарной безопасности, содержащихся в технических регламентах и нормативных документах по пожарной безопасности:

- требования, направленные на предотвращение возникновения пожара;
- требования, направленные на своевременное обнаружение и сообщение о пожаре;
- требования, направленные на ликвидацию пожара в его начальной стадии;
- требования, направленные на своевременную и безопасную эвакуацию людей при пожаре;
- требования, направленные на ограничение распространения пожара;
- требования, направленные на повышение огнестойкости зданий и сооружений;
- требования, направленные на обеспечение успешного тушения пожара подразделениями местных гарнизонов пожарной охраны;
- требования, направленные на поддержание режима безопасной эксплуатации объекта защиты и готовности к действиям при пожаре.

Выявленные нарушения оформляются актом проверки.

2. В предписания (заключения) включаются только обязательные требования пожарной безопасности, которые определяются посредством расчетной оценки пожарных рисков:

- для людей — по динамике наступления предельно допустимых значений опасных факторов пожара и возможности своевременной эвакуации в безопасную зону;
- для имущества и конструкций зданий (сооружений) — по значениям среднеобъемной температуры, критической для пределов огнестойкости несущих и ограждающих конструкций зданий (сооружений);
- для окружающей среды — по расчетным характеристикам, превышающим пределы допустимых рисков, установленные законодательством об охране окружающей среды.

При этом по расчетным сценариям (планам пожаротушения) определяются возможности тушения пожара силами городских пожарных подразделений.

Оценка пожарных рисков производится для всех объектов защиты независимо от форм собственности и группы риска.

Оценка пожарных рисков производится собственником объекта защиты самостоятельно или по договорам со специализированными организациями по нормативно установленным методикам.

Ответственность за качество пожарного аудита и оценки пожарных рисков несет исполнитель.

Оценка пожарных рисков не производится на объектах защиты, на которые разработаны проверочные листы с обязательными требованиями пожарной безопасности, обоснованными расчетной оценкой пожарных рисков.

3. Для объектов защиты частной собственности, за исключением объектов, входящих в высокую, значительную и среднюю группы рисков:

а) в случае, если эвакуация людей возможна до наступления предельно допустимых значений опасных факторов пожара, обязательными являются только требования пожарной безопасности, направленные на предотвращение возникновения пожара, на своевременное обнаружение и сообщение о пожаре, на своевременную (беспрепятственную) эвакуацию людей и требования противопожарного режима;

б) в случае, если эвакуация людей невозможна до наступления предельно допустимых значений опасных факторов пожара, обязательными являются требования пожарной безопасности или технические (организационно-технические) решения, изменяющие сложившуюся ситуацию и направленные на обеспечение своевременной эвакуации людей, а также требования пожарной безопасности, перечисленные в пункте а;

в) в случае, если эвакуация людей невозможна до наступления предельно допустимых значений опасных факторов пожара, и меры пожарной безопасности, перечисленные в пункте б, неэффективны, обязательными являются требования (меры) пожарной безопасности, направленные на защиту людей в объекте и (или) их спасение, а также требования пожарной безопасности, перечисленные в пункте а.

Технические решения, в том числе решения, установленные требованиями пожарной безопасности, изменяющие ситуацию, могут быть заменены на другие решения, если они соответствуют требованиям п. б и в.

При выборе варианта противопожарной защиты, обеспечивающего только безопасность людей, собственник имущества, которым он рискует, должен официально подтвердить свое согласие на риск уничтожения собственного имущества возможным пожаром.

Риск уничтожения чужого имущества возможным пожаром может быть застрахован, в противном случае обязательными являются требования пожарной безопасности, направленные на защиту чужого имущества.

4. Для объектов государственной и муниципальной собственности, а также для объектов, входящих в высокую, значительную и среднюю группы рисков, обязательным является весь комплекс (система) требований пожарной безопасности, перечисленных в п. 1, в части соответствия мер пожарной безопасности размеру и характеру вреда, устанавливаемым при оценке пожарных рисков.

5. При отсутствии расчетной оценки пожарных рисков применяется весь комплекс (система) требований пожарной безопасности, содержащихся в технических регламентах и нормативных документах по пожарной безопасности.

6. При проверке объектов, на которые разрабатывались специальные технические условия (СТУ), оценивается соответствие противопожарного состояния проверяемого объекта требованиям СТУ, которые являются обязательными.

7. При проектировании объектов защиты требования пожарной безопасности применяются в соответствии с п. 1–4 настоящих Правил.

8. При наличии проверочных листов, содержащих обязательные требования пожарной безопасности, обоснованные расчетной оценкой пожарных рисков, применяются требования проверочных листов.

9. При аренде (субаренде) зданий (сооружений) и помещений:

- обязательные требования пожарной безопасности, установленные проектными решениями,

применяются к арендодателю (собственнику арендуемого имущества);

- обязательные требования пожарной безопасности, направленные на поддержание противопожарного режима и состояния арендуемого имущества, применяются к арендаторам (субарендаторам).

10. Меры административного воздействия за нарушения обязательных требований пожарной безопасности применяются при наличии оценки пожарных рисков, подтверждающих (доказывающих) факты таких нарушений.

Материалы на административное приостановление эксплуатации объекта могут направляться в суды только при наличии угрозы людям.

Наличие угрозы людям должно быть доказано расчетами, подтверждающими невозможность эвакуации людей в безопасную зону до наступления предельно допустимых значений опасных факторов пожара.

В качестве доказательств наличия угрозы людям могут быть использованы расчеты, произведенные специализированными организациями либо экспертами, либо должностными лицами контрольно-надзорных органов.

11. При выявлении несоответствия требований пожарной безопасности Конституции Российской Федерации, кодексам и законодательству о техническом регулировании, а также при выявлении дублирования требований пожарной безопасности и нормативных коллизий доклад о выявлении таких несоответствий направляется в вышестоящий надзорный орган.

12. При несоответствии требований пожарной безопасности Конституции Российской Федерации, кодексам и законодательству о техническом регулировании применяются положения Конституции Российской Федерации, кодексов и законодательства о техническом регулировании.

13. При наличии нормативных коллизий, вызывающих неустраняемые сомнения в необходимости выполнения тех или иных требований пожарной безопасности, выбор, сделанный хозяйствующим субъектом, признается правильным».

Следует отметить, что различные управленческие, организационные и экономические аспекты в области обеспечения пожарной безопасности, которые имеют непосредственное отношение к формированию научно-методической основы для производства административной реформы в области обеспечения пожарной безопасности, были созданы другими учеными, которые внесли значительный научный и практический вклад в совершенствование регулирования отношений в области пожарной безопасности, среди которых, по мнению авторов,

особо выделяются труды академика Российской академии естественных наук (РАЕН), доктора технических наук, профессора Н.Н. Брушлинского, доктора технических наук, профессора А.Я. Корольченко, доктора экономических наук, профессора Ю.И. Аболенцева.

Интересно, что для современной ситуации решающее значение имеют результаты, полученные сравнительно давно, более 30 лет назад внедрением в подготовку ЛПР экономических критериев для обоснования принимаемых решений. Это стало возможно после создания и формирования научной и образовательной дисциплины «Экономика противопожарной защиты», в основу которой положены правила управления противопожарной защитой как экономическими отношениями по созданию, внедрению и эксплуатации технических решений на основе прогнозно-сценарных оценок, построения информационных и математических моделей проблемных ситуаций, оценок социальной и экономической эффективности средств противопожарной защиты, применение которых обеспечивает исполнение методологического принципа многовариантности противопожарной защиты и принципа оптимальности варианта противопожарной защиты по критерию экономической эффективности [12].

Также следует отметить, что и многие другие ведущие ученые-практики не имеют возражений по внедрению риск-модели в принятие управленческих решений и сами обосновывают эту необходимость, например, в [13–15], что не помешало некоторым из них на деле реализовывать типовую модель организации государственного регулирования отношений по обеспечению пожарной безопасности.

Все вышесказанное позволяет выдвинуть гипотезу о том, что реальной практической проблемой является не отсутствие современных достижений научно-технического прогресса в области технической, в частности, пожарной безопасности, не отсутствие передовой мысли в головах лидеров науки и практики пожарного дела, а общий уровень профессиональной культуры ЛПР, включая современный уровень нормативно-правовой (нормотворческой и правоприменительной) культуры, который не отвечает уровню проблемной ситуации с регулированием отношений в техносфере.

Такое несоответствие между важными государственными задачами и квалификацией лиц, которые обязаны эти задачи решать, является, как правило, следствием проблем в подготовке, переподготовке и повышении квалификации исполнителей.

Данное обстоятельство создает необходимость поиска решений этих проблем в системе подготовки, переподготовки и повышения квалификации кадров, в том числе педагогических.

Изучение этой проблемы показало, что типовая и риск-ориентированные модели содержат сильно различные практические (алгоритмические) правила, некоторые из которых диаметрально противоположны друг другу, что, несомненно, вызывает чувство смятения (конфуз) не только у ЛПП, но и у преподавателей, подготовленных только под типовую модель, сворачивая их поведение под условную модель *Homo confusus* (человек растерянный)⁴.

Приведем некоторые из известных правил (принципов) типовой модели КНД (на фоне риск-ориентированной модели, что упрощает их сопоставление):

- предметом надзора/контроля у лиц, осуществляющих КНД, является максимально жесткая абстрактная конструкция открытого (!) набора технических решений, временно (по итогам конкретной проверки) закрываемого проверяющим, т.е. единственный вариант от проверяющего, и возможность выбора разных вариантов противопожарной защиты не предусмотрена. В риск-модели вариантов множество, выбор и обоснование осуществляет собственник и разработчик, в свою очередь, проверяющий осуществляет проверку надлежащего исполнения установленного порядка разработки, утверждения, применения и исполнения обязательных требований;
- прямое (без оценки рисков причинения вреда, как в риск-модели) применение любых технических решений, которым по неизвестным и не объявленным правилам присвоен правовой статус «требования пожарной безопасности»;
- некоторым техническим решениям путем включения в технические стандарты присваивается правовой статус норм (стандартов) обязательного социального поведения, за неисполнение которых полагается наказание, при этом в рамках риск-ориентированной модели технические решения, включенные в нормативные документы по стандартизации, имеют по определению правовой статус добровольного применения на основе обязательной оценки рисков причинения вреда (в целях предотвращения возможного вреда охраняемым федеральным законодательством ценностей);
- возможность рисковать собственным имуществом (право, закрепленное в Конституции Российской Федерации и Гражданском Кодексе)
- не предусмотрена (в риск-модели такая возможность предусмотрена);
- страхование ответственности за возможное причинение вреда чужому имуществу в случае пожара вместо исполнения технических требований по его защите не предусмотрено (в риск-модели такая возможность предусмотрена);
- завышенные объемы работ КНД за счет прямого управления обеспечением пожарной безопасности на проверяемых объектах, в том числе в интересах недобросовестных производителей товаров и услуг в области пожарной безопасности и их посредников (в риск-модели все основные объемы работ по выбору и обоснованию мер пожарной безопасности осуществляет проверяемый, что резко снижает объемы работ КНД и уровень вовлечения государственных служащих в реализацию не присущих государственной службе функций);
- возложение ответственности за обеспечение пожарной безопасности проверяемых субъектов на проверяющих, т.е. на государство и государственных служащих (в риск-модели ответственность лежит на проверяемых, проверяющие отвечают за проверку надлежащего порядка разработки, утверждения, применения и исполнения обязательных требований пожарной безопасности);
- исходя из объемов нормативной правовой базы, которую необходимо применить, и сроков, отведенных на проверку, исполнить надзорную функцию должностное лицо фактически не имеет возможности (в риск-модели делегирование полномочий и ответственности проверяемым (его обязанность по закону) резко снижает объемы работы проверяющих до уровня физиологических возможностей и имеющейся (определенной государством) штатной численности);
- в случае гибели людей на проверяемых объектах, главным виновным должностным лицом безапелляционно назначаются сотрудники Государственного противопожарного надзора (ГПН) (а в последнее время и сотрудники службы пожаротушения), не обладающие возможностью предвидеть и учитывать опасные последствия на проверяемом объекте в рамках административных процедур типовой модели, т.е. виновным назначается невиновный, по определению, проверяющий, к которому «добавляют» в зависимости от ситуации по тем же не прозрачным (странным) основаниям представителя хозяйствующего субъекта.

Приведенные выше правила типовой модели, включая их несоответствие современному уровню экономики и права, нашли отражение в выводах доклада

⁴Черниговская Т. Человек растерянный — *Homo confusus* и новая цифровая реальность. Научный доклад на заседании Ученого совета Санкт-Петербургского государственного университета 23.12.2019. URL: <https://www.youtube.com/playlist?list=PLXV9J9QKISLc7OFcu4ee9pdvIRvN0vJX0> (дата обращения: 20.09.2020).

Рабочего центра экономических реформ Правительства Российской Федерации «К проблеме дерегулирования российской экономики», составленного еще в далеком 2000 г.⁵, о котором многие уже, возможно, забыли. Ниже авторы приводят некоторые выдержки из этого доклада без купюр в целях избежать необоснованных обвинений в искажении информации:

«Некоторые государственные органы независимо от их официального предназначения и теоретически предполагаемой пользы реально превратились в организации, единственной функцией которых является вымогание взяток. Проще всего это показать на примере Государственного противопожарного надзора — организации, занятой профилактикой пожаров. Эффективность работы этой службы общество может оценить по пожарам в центре Москвы и Санкт-Петербурга, по трагедии в Самарском УВД и др. При этом организация обладает полномочиями исключительной силы — она может просто прекратить работу любой коммерческой структуры под предлогом «неисправностей», что и используется для вымогательства взяток.

Эту организацию необходимо ликвидировать, и ввести обязательное страхование имущества от пожаров. К числу органов, целесообразность существования которых в их нынешнем виде необходимо проверить, относятся санитарно-эпидемиологическая служба РФ, экологическая милиция, ГИБДД, система медицинских вытрезвителей и многие др. В каких-то случаях необходимо выделить из этих структур службы, занимающиеся разрешением конфликтных ситуаций, максимально сократить полномочия профилактических служб; систему медвытрезвителей, по-видимому, рациональнее заменить на службу платной доставки домой, в таких же классических случаях, как городские и районные управления народного образования, следует упразднить государственные структуры, передав контрольные полномочия самоуправляющимся общественным организациям (попечительским советам, родительским комитетам и пр.)».

Такое заявление со стороны государственных экспертов звучит определенно резко, даже вызывающе. Авторы не разделяют пафос этого заявления, но считают, что основания (проблемы в организации деятельности ГПН) для такого заявления, безусловно, имеются. Авторы также полагают, что это заявление следует воспринимать как настоятельную рекомендацию руководящей отраслевой элите по внесению существенных изменений в организацию КНД в области пожарной безопасности.

⁵ Доклад Рабочего центра экономических реформ Правительства Российской Федерации «К проблеме дерегулирования российской экономики 2000 году». URL: <http://www.ofdp.ru/hotline/mns/deregul.shtml> (дата обращения: 20.09.2020).

В связи с тем, что должных изменений в тот период не последовало, в конце 2011 г. обсуждался и другой способ разрешения этой проблемной ситуации, который по радикальности формы реализации был похож на вышеописанный, а именно: был подготовлен проект нормативного правового акта (НПА) по реорганизации КНД в области пожарной безопасности путем передачи государственной функции по проверке исполнения требований пожарной безопасности на уровень субъектов Российской Федерации.

Авторы в лице учебно-научного комплекса организации надзорной деятельности Академии ГПС МЧС России в этих двух и других аналогичных проблемных ситуациях (а таких было уже немало, включая предложения по передаче функции ГПН коммерческим организациям) активно отстаивали необходимость сохранения государственной функции по проверке исполнения обязательных требований пожарной безопасности на федеральном уровне государственного управления.

Федеральный статус ГПН чрезвычайно необходим для осуществления интеграции разделенной КНД на основе оценки пожарных рисков и перевода всей КНД в области пожарной безопасности на единую для государства и общества единую риск-ориентированную модель организации КНД в целях повышения уровня надежности защиты охраняемых федеральным законодательством ценностей от пожаров до нормативно установленного уровня недопустимого пожарного риска, что, безусловно, будет способствовать консолидации общества и укреплению правового государства.

Также следует отметить, что в период с 2000 по 2011 гг. вступили в действие важные нормативные правовые акты, которые сначала способствовали значительному снижению социальной напряженности (основанной на общественных ожиданиях повышения уровня ответственности, снижения уровня коррупции и административной неразберихи), но позже, вследствие неисполнения нового порядка, предписанного указанными НПА со стороны практически всех участников отношений, уровень социальной напряженности вернулся на «ранее достигнутые высоты» и даже возрос. В указанный перечень входят:

Федеральный закон «О техническом регулировании»;

Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»⁶;

⁶ Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ: принят Государственной Думой 4 июля 2008 г., одобрен Советом Федерации 11 июля 2008 г.

Федеральный закон «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»⁷;

Федеральный закон «О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при осуществлении государственного контроля (надзора) и муниципального контроля»⁸.

Одной из причин такой социально-научной и административно-управленческой метаморфозы явилось то, что у разных социальных групп были разные цели (разные идеи) и разный потенциал для их реализации, способный оказать влияние на принимаемое решение по реформированию КНД в области пожарной безопасности.

Одной из наиболее влиятельных социальных групп в этом процессе оказалась группа административного управления, включая представителей КНД, которые имели реальную практическую цель обеспечить максимальную преемственность организации КНД в процессе реформ и таким образом сохранить приоритет принятия решений по обеспечению пожарной безопасности за представителем КНД вместо самого хозяйствующего субъекта. Следовательно, с позиции данной социальной группы принятые законы должны были только обозначить реформу КНД по форме, но не затронуть ее содержание. Что, собственно, и происходило.

Другой влиятельной социальной группой, в интересах которой входила реформа КНД на основе риск-ориентированного технического регулирования, была группа высшего государственного управления, политическая воля которой пока реализовалась в провозглашении реформы и нормативно-правовом ее закреплении. Однако должной реализации этих замыслов на практике пока не последовало. Представляется, что главная проблема в данном вопросе — это опора на массовое бессознательное, в основе которого лежат устаревшие упрощенные представления о сути обеспечения пожарной безопасности, в котором не предусмотрено место для риск-ориентированной модели, чем с успехом воспользовались противники внедрения риск-ориентированной модели КНД.

Еще одной социальной группой, по всей видимости, наиболее влиятельной из всех, были предприниматели, интересы которых в данном вопросе сильно дифференцированы в зависимости от размера бизнеса. Крупнейший и крупный бизнес был заинтересован

сохранить свое преимущество и способ хозяйствования (обеспечивающий их доминирующее положение), а значит, в реальности не хотел менять суть КНД, которая была ему понятна, соответствовала его финансовым и материальным возможностям и создавала реальный административный барьер для потенциальных конкурентов из среднего бизнеса. И, что очень важно, этот административный барьер нельзя напрямую связать с данной социальной группой.

Средний и мелкий бизнес по факту не имел сколько-нибудь реального влияния на процесс реформы КНД, подстраивался под более «старший» бизнес и административную власть.

Граждане — самая многочисленная социальная группа — также не имели никакого реального влияния на данный процесс, даже при наличии определенной активности отдельных представителей, прежде всего депутатов разных уровней, экспертов, специалистов.

Этот социальный расклад сформировал пасьянс указанных выше федеральных законов и определил их содержание. В этой связи было бы наивным полагать, что в техническом регулировании в области обеспечения пожарной безопасности как в отрасли права будет преобладать гармония права в целях защиты охраняемых законодательством ценностей. Авторы дали экспертную оценку (в процентах) этим законам с позиции реформы технического регулирования:

Федеральный закон «О техническом регулировании» — от 85 до 90 %;

Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» — не более 10 %;

Федеральный закон «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» — не более 1...2 %.

Результаты оценки отличаются на порядки, что, по мнению авторов, указывает на разные виды и уровни идеологизации, которым подверглись данные федеральные законы. Самой большей положительной (истинной, научной, познавательной) идеологизации подвергся Федеральный закон «О техническом регулировании», однако и в его текст были внесены бациллы антиреформы.

Приведем некоторые из них, которые уместны в контексте настоящей статьи. В Федеральном законе «О техническом регулировании»:

- КНД была отнесена к одной из форм оценки ответственности, что соответствует типовой модели, а не к деятельности по надзору за порядком;
- определение технического регламента противоречит определению технического регулирования как правового регулирования отношений;
- отдельные положения сначала исключают определенные области из сферы регулирования данного закона, а потом снова включают, примени-

⁷Технический 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.

⁸О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при осуществлении государственного контроля (надзора) и муниципального контроля : Федеральный закон от 26 декабря 2008 г. № 294-ФЗ: принят Государственной Думой 19 декабря 2008 г., одобрен Советом Федерации 22 декабря 2008 г.

тельно к КНД (см. часть 4 статьи 1 Федерального закона «О техническом регулировании»).

Самой большой отрицательной (ложной, антиреформаторской) идеологизации подвергся Федеральный закон «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», цель и содержание которого, по своей сути, как полагают авторы, направлены на противопоставление Федеральному закону «О техническом регулировании», при этом заключительные положения части 6 статьи 15 определенно и четко реализуют риск-ориентированную модель. О антиреформаторском противостоянии в вопросе распространения технического регулирования на градостроительную деятельность говорят многочисленные научные и практические публикации и заявления специалистов-градостроителей. Эксперт А. Хурушов собрал некоторые из них в своей работе⁹.

Странным симбиозом самых высоких достижений научно-технического прогресса и не менее высоких отрицательных достижений стал Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

Это — единственный в стране и в мире нормативный документ, который реализует риск-ориентированный порядок разработки обязательных требований пожарной безопасности, но на сегодняшний день, лишь на 10 %. 90 % его текста составлены на основе переписывания технических решений из СНиП 21-01-97*¹⁰ и других аналогичных документов, что естественным образом создает нормативную коллизию с более старшим НПА — Федеральным законом «О техническом регулировании».

Иными словами, в реализацию нового, чрезвычайно важного для развития государства порядка регулирования отношений в области обеспечения

пожарной безопасности на основе расчетно-сценарного моделирования (общая часть которого представлена в Федеральном законе «О техническом регулировании», а особенная часть предполагалась к размещению в Федеральном законе «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»), была удивительным образом встроена устаревшая типовая модель регулирования отношений. Данный факт привел в смятение всех участников, ожидавших новое и понятное, а получивших старое и еще более непонятное, судя по реакции специалистов и главных потребителей (застройщиков). Определенные надежды возлагались на Правила идентификации объектов технического регулирования, которые необходимо было разработать в качестве навигатора с целью снижения большого числа ошибок при применении Федерального закона «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности». Но на официальном уровне этого пока не произошло¹¹.

Многие специалисты понимали, что новый «пожарный» закон принимается в целях установления нового порядка регулирования отношений между субъектами хозяйственной деятельности, гражданами и властью на основе расчетно-сценарной модели. К сожалению, в Федеральном законе «О техническом регулировании» прямо не указан этот контекст — контекст смены парадигм и моделей регулирования отношений с типовой на риск-ориентированную (сначала оцениваются риски в конкретных обстоятельствах, затем разрабатываются адекватные меры по их предотвращению/снижению), что создало эффект загадочности сути и цели реформ и, как следствие, предпосылки для завихрений в реформе ТР.

Прошло около 20 лет, а понятных разъяснений того, что происходит с реформой ТР, специалисты и общество пока не получили. Случился парадокс: от прежнего неудовлетворительного ушли, а к другому удовлетворительному еще не пришли. Опираясь на известные исторические вехи, можно предположить, что при таких темпах информатизации нам еще много лет предстоит плутать по безвременью, а такой роскоши жизнь нам может и не предоставить. Необходимо ускорение темпов реформ. Авторы полагают, что такое ускорение следует осуществлять на основе новых информационных технологий — раскрытия истинных целей, сути и методов новой риск-ориентированной модели регулирования

⁹Хурушов А. Сущность закона «О техническом регулировании» — в добровольном применении стандартов. Агентство нефтегазовой информации. Раздел «Аналитика». 24 мая 2010 г. URL: <https://angi.ru/news/2760527-%D0%90%D0%9B%D0%95%D0%9A%D0%A1%D0%90%D0%9D%D0%94%D0%A0%20%D0%A5%D0%A3%D0%A0%D0%A8%D0%A3%D0%94%D0%9E%D0%92%3A%20%D0%A1%D1%83%D1%89%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C%20%D0%97%D0%B0%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D0%B0%20%C2%AB%D0%9E%20%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%BC%20%D1%80%D0%B5%D0%B3%D1%83%D0%BB%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B8%20%BB%20%20%D0%B2%20%D0%94%D0%9E%D0%91%D0%A0%D0%9E%D0%92%D0%9E%D0%9B%D0%AC%D0%9D%D0%9E%D0%9C%20%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B8%20%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%B4%D0%B0%D1%80%D1%82%D0%BE%D0%B2/> (дата обращения: 03.08.2020).

¹⁰Пожарная безопасность зданий и сооружений (с Изменениями № 1, 2): (СНиП 21-01-97*) : приняты и введены в действие с 1 января 1998 г. постановлением Минстроя России от 13 февраля 1997 г. № 18-7.

¹¹Информация о Конференции «Вопросы практического применения Федерального закона «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» и реализации реформы технического регулирования в РФ», состоявшейся 16 октября 2009 г., Москва. URL: https://olimpoks.ru/company/news/index.php?ELEMENT_ID=54293 и <https://www.mchs.gov.ru/deyatelnost/press-centr/novosti/1442896> (дата обращения: 03.08.2020).

отношений и, прежде всего, в сфере подготовки кадров. Последние 10 лет такая подготовка проводится в МЧС России для лиц, назначаемых на высшие должности. Как показывает практика, этого явно недостаточно, необходима более широкая подготовка специалистов по риск-модели, чему и посвящено настоящее исследование.

Проблемы разработки и исполнения обязательных требований на основе типовой нормативной базы, результаты пожаров с тяжкими последствиями на таких объектах наглядно демонстрируют неотвратимую необходимость перевода государственного регулирования отношений на риск-ориентированную модель, которая зафиксирована нормативными документами (статья 8.1 Федерального закона № 294-ФЗ, Постановление Правительства Российской Федерации от 17 августа 2017 г. № 806¹²) и в публикациях ведущих специалистов в разных сферах: в гражданской авиации [16], в здравоохранении (МР 5.1.0116-17¹³) и [17], в образовании¹⁴, в цифровой экономике¹⁵.

Риск-ориентированная модель содержит иные, отличные от типовой модели, методологические основы, позволяющие в рамках КНД значительно более результативно и эффективно профилировать нарушения обязательных требований пожарной безопасности, которые напрямую связаны с охраняемыми федеральным законодательством ценностями.

Суть новой риск-ориентированной модели КНД составляют базовые смысловые ориентиры «объективная оценка возможного вреда от пожара» и «индивидуальная (адресная) совокупность мер, адекватных возможному вреду от пожара», практически реализуемых через оценку рисков причинения вреда охраняемым ценностям, результаты которой (оценки рисков) являются доказательной базой минимальной необходимости и обязательности выпол-

нения конкретных технических и организационных решений и требований.

Правовую основу новой риск-ориентированной парадигмы технического регулирования составляют принципы единства и минимизации обязательных требований безопасности в целях защиты охраняемых федеральным законодательством ценностей: людей, чужого имущества и окружающей среды (статьи 3, 7 Федерального закона № 294-ФЗ).

Реализация новой парадигмы технического регулирования требует, прежде всего, соответствующей организации контрольно-надзорной деятельности в области технической безопасности, формирующей информационный «ствол дерева» государственного управления обеспечением пожарной безопасности Российской Федерации, на котором вырастают «живые побеги» региональных, муниципальных, корпоративных и локальных систем обеспечения пожарной безопасности.

В последние 10 лет произведено множество различных изменений в формах реализации КНД в области обеспечения пожарной безопасности, общие положительные результаты которых представлены в Аналитическом докладе Министерства экономического развития Российской Федерации (табл. 1.5) (далее — Аналитический доклад) [18].

Вместе с тем, в Аналитическом докладе (табл. 1.5) зафиксирован вывод о том, что несмотря на изменения форм организации КНД в области пожарной безопасности, исчерпывающий перечень проверяемых требований в области обеспечения пожарной безопасности пока не установлен (значение показателя «0»), что позволяет сделать вывод о том, что направление реформы КНД в сфере пожарной безопасности сместилось в область некоторого изменения форм производства КНД при сохранении прежней сути, основанной на типовой, жесткой, безразмерной и неактуальной современному уровню общественного развития парадигме принятия решений.

Этот вывод настораживает и позволяет выдвигать гипотезу инерции сознания (мышления) у ЛПР в области обеспечения пожарной безопасности, которая создает действенное препятствие в достижении целей, установленных Основами государственной политики Российской Федерации в области пожарной безопасности на период до 2030 года¹⁶ в контексте методологии риск-ориентированного регулирования технической безопасности в соответствии с Федеральным законом № 294-ФЗ, а именно:

а) обеспечение качественного повышения уровня защищенности населения и имущества от пожа-

¹²О применении риск-ориентированного подхода при организации отдельных видов государственного контроля (надзора) и внесения изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации : Постановление Правительства Российской Федерации от 17 августа 2017 г. № 806.

¹³ Риск-ориентированная модель контрольно-надзорной деятельности в сфере санитарно-эпидемиологического благополучия (МР 5.1.0116-17) : утверждены и введены в действие руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации А.Ю. Поповой 11 августа 2017 г.

¹⁴Риск-ориентированная модель: новый раунд реформ // Аккредитация в образовании. № 108 от 24.12.2018. URL: https://akvobr.ru/risk_orientirovannaya_model_novyi_raund_reformy.html (дата обращения: 29.03.2020).

¹⁵Риск-ориентированная модель. Контроль рисков для комфортной и безопасной жизни и эффективного бизнеса. Министерство цифровой экономики и конкуренции Ульяновской области. URL: <https://ekonom73.ru/risk-orientirovannaya-model> (дата обращения: 29.03.2020).

¹⁶Об утверждении Основ государственной политики Российской Федерации в области пожарной безопасности на период до 2030 года : Указ Президента Российской Федерации от 1 января 2018 г. № 2.

ров на основе риск-модели обеспечения пожарной безопасности, включая обязательную защиту людей от пожарных рисков и добровольную защиту имущества, которым собственник имеет право рисковать, в том числе добровольное страхование пожарных рисков;

б) приведение нормативно-правовой и нормативно-технической базы в области пожарной безопасности в соответствие с современными требованиями, гармонизацию и актуализацию требований пожарной безопасности на основе риск-модели организации деятельности по обеспечению пожарной безопасности;

в) формирование новых подходов к организации и осуществлению надзорной деятельности на основе риск-модели организации деятельности по обеспечению пожарной безопасности, развитие системы негосударственного контроля за соблюдением требований пожарной безопасности;

г) внедрение системы комплексной профилактики нарушений обязательных требований пожарной безопасности на основе риск-модели организации деятельности по обеспечению пожарной безопасности;

д) развитие системы органов дознания и судебно-экспертных учреждений на основе риск-модели организации деятельности по обеспечению пожарной безопасности;

е) консолидация усилий федеральных органов государственной власти, органов государственной власти субъектов Российской Федерации, органов местного самоуправления и организаций в целях обеспечения пожарной безопасности на основе риск-модели организации деятельности по обеспечению пожарной безопасности (совершенствование нормативной базы, профилактика правонарушений обязательных требований и новые подходы к организации контрольно-надзорной деятельности);

з) разработка и внедрение современных средств обеспечения пожарной безопасности, координация осуществления основных научных исследований и разработок на основе риск-модели организации деятельности по обеспечению пожарной безопасности.

Выводы

По результатам проведенного исследования проблем, связанных с переходом государственного управления техносферной (пожарной) безопасностью на риск-модель регулирования отношений, были сделаны следующие выводы.

1. Представляется, что типовая модель, именуемая ее апологетами «классической», при современном уровне индустриализации и урбанизации создает благоприятные условия для введения в заблуждение

приобретателей услуг в области технической безопасности относительно минимально необходимого уровня защиты людей и имущества от вреда деструктивных событий технического происхождения, что, как правило, приводит к недостаточным мерам для защиты людей и избыточным, и низкоэффективным затратам по защите имущества.

2. Тотальное применение типовой модели в сфере обеспечения технической безопасности стало весьма заметным фактором, препятствующим интенсивному и устойчивому развитию национальной экономики.

3. Сложились условия для смены концептуальной основы организации процессов обеспечения технической безопасности, принятия управленческих решений и КНД на основе типовой модели на более современную, риск-ориентированную модель.

4. Запаздывание перевода КНД в области обеспечения пожарной безопасности с типовой на риск-модель относительно научно-технического прогресса составляет не менее 30 лет.

5. Сохранение темпов отставания организации КНД от достижений научно-технического прогресса становится экзистенциальной государственной проблемой. В прошлые времена это методологическое несоответствие решалось путем общественных катаклизмов, что недопустимо в современных геополитических условиях.

6. Типовая модель технического регулирования в последнюю треть XX в. стала превращаться из истинной в ложную, с ускорением темпов превращения в начале XXI в.

7. Изменение государственного устройства нашей страны дважды за последние 100 лет напрямую связано с объективным изменением коннотации идеологизации науки технического регулирования с позитивной на негативную (типовое техническое регулирование в начале XX в. являлось достижением, развивающим общество, а в конце XX и в начале XXI вв. — глобальной проблемой, тормозящей общественное развитие).

8. В сознании и в профессиональной культуре ЛПР с конца прошлого века стали доминировать догматизм, волюнтаризм (отсутствие обоснований, доказательств), приоритет коммерческих интересов на сущностными.

9. В основе современной КНД по типовой модели лежит отсутствие возможности самостоятельно и под свою ответственность принимать решения со стороны уполномоченных на это лиц, включая специалистов. Таким образом, вместо хозяйствующих субъектов, уполномоченных на обеспечение пожарной безопасности, все решения принимаются представителями КНД, а ответственность за последствия этих решений наделяются руководители

и специалисты хозяйствующего субъекта, которые эти решения не разрабатывали и не утверждали. Необходимость такого жесткого, если не сказать жестокого, регулирования может быть оправдана только условиями мобилизационной экономики либо дефицитом квалифицированных управленческих кадров, либо господствующей ложной идеологией, подмявшей под себя государственное управление в сфере технической безопасности.

10. Контрольно-надзорная деятельность в области пожарной безопасности на основе типовой модели стала подвержена сильнейшему влиянию со стороны различных групп, в том числе, производителей товаров и услуг, что приводит к разделению (расчленению) КНД и размыванию обеспечивающей ее нормативной базы. Так, в области пожарной безопасности, в настоящее время насчитывается более 28 разных контрольно-надзорных органов и организаций, которые оперируют не менее чем десятью порядками по формированию обязательных требований, по-разному регулируемыми общественные отношения в данной области. Это приводит к значительному ослаблению государственного влияния на процессы регулирования отношений и повышает коррупциогенные риски.

11. Слабое государственное регулирование создает дисбаланс в общественном разделении труда в сторону вторичной (обслуживающей) экономики. По факту реализуется формула «хвост рулит собакой», где единственным значимым практическим результатом становится проникновение недобросовестной конкуренции во все уголки областей обеспечения технической и пожарной безопасности.

12. Нормативная база обеспечения пожарной безопасности является неактуальной, противоречивой, дублирующей, фрагментарной, избыточно жесткой и непрозрачной (не понятной не только для граждан, но и для самих проверяющих).

13. Наука в сфере технического регулирования постепенно насыщается элементами псевдонауки, а образование в области технического регулирования — псевдообразованием.

14. Манипуляторный характер нормативной базы типовой КНД обосновывается бурной псевдонаучной и псевдообразовательной деятельностью, часто лоббируемой со стороны недобросовестных производителей и поставщиков товаров и услуг в области технической безопасности.

15. Лица, принимающие решения, постепенно лишаются основы для принятия обоснованных решений по обеспечению технической безопасности.

16. Представители государственных регуляторов с области технического регулирования теряют способность нести ответственность за регулируемые отношения.

17. В целях скрыть эту проблемную ситуацию к выработке и принятию решений в области технической безопасности допускаются, как правило, только лица, исповедующие типовое техническое регулирование (стандартизацию) как религию.

18. Затраченные ресурсы (материальные, денежные и временные) на меры технической и пожарной безопасности не капитализируются (по факту не становятся основными фондами, не участвуют в производстве, поскольку не создают безопасные условия труда).

19. В любой момент времени любой объект техносферы (например, здание или сооружение) может быть признан не отвечающим требованиям технической безопасности (в рамках отсутствия единого порядка при реализации проблемной типовой нормативной базы), что значительно снижает его ликвидность, в том числе, на мировом рынке, и в конечном итоге может негативно влиять на оценку ликвидности национальной валюты.

20. Государственная система защиты права граждан на безопасные условия жизни (например, Следственный комитет) вынуждена, как представляется, в целях обеспечения единообразия государственного регулирования защищать существующий проблемный порядок реализации недоброкачественной типовой нормативной базы (в том числе, путем привлечения к ответственности лиц, ее применяющих), что в последние годы все чаще вместо урегулирования конфликтов создает дополнительные общественные напряжения и противоречия.

21. Общество, прежде всего граждане, лишаются своего права на защиту жизни, здоровья, имущества, окружающей среды.

22. КНД в области обеспечения пожарной безопасности на основе типовых правил (принципов), отягощенная коррупционными проявлениями, начинает представлять для общества значительно большую опасность, чем вред от пожаров.

23. Создаются предпосылки негативного влияния типового технического регулирования на конституционные основы общественного устройства, что обуславливает реальную и скорую необходимость производства реформы технического регулирования.

24. Объективная необходимость реформы технического регулирования не подвергается сомнению ни одной из групп влияния.

25. Декларируется уверенная тенденция по реализации реформы КНД в области пожарной безопасности, однако в процессе темп этой реформы заметно снизился до уровня практической стагнации.

26. Этот тренд определен соотношением и динамикой интересов групп влияния и указывает на то, что наиболее значительным административным ресурсом пока обладает социальная группа, представ-

ляющая градостроительную отрасль, которая фактически противодействует реформе КНД в сфере обеспечения пожарной безопасности, создавая таким образом доминирующее (покровительственное) влияние на государственное регулирование в области обеспечения пожарной безопасности. Об этом прямо свидетельствует факт использования СНиПов в качестве основы для разработки «Технического регламента о требованиях пожарной безопасности» и раскрывающих его содержание сводов правил.

27. Президентом Российской Федерации утверждены основы государственной политики в области обеспечения пожарной безопасности, которые, в том

числе, направлены на реформу КНД, и по факту на восстановление государственного административного влияния на процессы регулирования отношений в области обеспечения пожарной безопасности. Методологическую и нормативную правовую основы реформы КНД в области обеспечения пожарной безопасности составляет Федеральный закон «О техническом регулировании», который так же, но в значительно меньшей мере, как и принятые в его исполнение технические регламенты, нуждается в очищении от бацилл устаревших и неадекватных потребностей экономики типового регулирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Этьенн Бонно де Кондильяк*: Сочинения : в 3-х тт. Т. 81: Т. 1. / пер. с фр. М. : Институт Философии АН СССР ; Изд-во «Мысль». 1980. 333 с.
2. *Дестют де Траси А.-Л.-К.* Основы идеологии. Идеология в собственном смысле слова / пер. с фр. Д.А. Ланина. М. : Академический проспект; Альма Матер, 2013. 333 с.
3. *Ойзерман Т.И.* Марксизм и утопизм. М. : Прогресс-Традиция, 2003. 566 с.
4. *Маркс К., Энгельс Ф.* Немецкая идеология. М. : Государственное издательство политической литературы, 1955. 650 с. URL: https://www.marxists.org/russkij/marx/1845/german_ideology/index.htm (дата обращения: 20.09.2020).
5. *Eagleton T.* Ideology: An Introduction. L. : Verso, 1991. P. 89.
6. *Маркс К., Энгельс Ф.* Из ранних произведений. М. : Госполитиздат, 1956. Т. VIII, 689 с. (прим.: в русском переводе слово «идеология» заменено словом «мудрствование» см. [4, с. 30]).
7. *Мельвиль А.Ю., Алексеева Т.А., Боршполец К.П., Володин А.Г., Дегтярев А.А., Ильин М.В. и др.* Категории политической науки : учеб. для студентов вузов, обучающихся по специальности «Политология». М. : РОССПЭН, 2002. 655 с.
8. *Козлачков В.И.* Информационная деятельность. Система ориентиров. М. : АГПС МЧС России, 2010. 213 с.
9. *Козлачков В.И.* Освоение профессиональной культуры в современных условиях : дис. ... д-ра филос. наук. М., 1991, 352 с.
10. *Козлачков В.И., Лобаев И.А., Андреев А.О., Ершов А.В., Хохлова А.Ю., Карпенко Д.Г. и др.* Идентификация объектов технического регулирования при применении «Технического регламента о требованиях пожарной безопасности». М. : ВНИТИ РАН, 2008. Деп. № 936-B2008 от 10.12.2008.
11. *Козлачков В.И.* Типовая и риск-ориентированная модели надзорной деятельности. Сравнительный анализ : монография. М. : Академия ГПС МЧС России, 2016. 328 с.
12. *Аболенцев Ю.И.* Экономика противопожарной защиты : учебник для слушателей высших учебных заведений МВД СССР. М. : Высшая инженерная пожарно-техническая школа МВД СССР, 1985. 216 с.
13. *Молчанов В.П.* Пожарная безопасность объектов добычи нефти и газа : дис. ... д-ра техн. наук. М. : ВНИИПО, 2005. 424 с.
14. *Дешевых Ю.И.* Техническое регулирование пожарной безопасности промышленных предприятий : дис. ... д-ра техн. наук. М. : ВНИИПО, 2010. 604 с.
15. *Тагиев Р.М.* Разработка методологии обеспечения безопасности объектов обустройства морских нефтегазовых месторождений : дис. ... д-ра техн. наук. М. : РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2006. 278 с.
16. *Чертюк В.Б.* Риск-ориентированная модель контрольно-надзорной деятельности в сфере гражданской авиации // Транспорт Российской Федерации. 2017. № 6 (73). С. 27–30. URL: <http://www.rostransport.com/transportrf/archiv/730/> (дата обращения 29.03.2020).
17. *Иванов И.В., Шарикадзе Д.Т., Берсенева Е.А., Мирошникова Ю.В.* Методические подходы к формированию риск-ориентированной модели контрольно-надзорной деятельности в сфере здравоохранения // Вестник Росздравнадзора. 2017. № 1. С. 34–36.

18. Аналитический доклад 2017 г. «Контрольно-надзорная и разрешительная деятельность в Российской Федерации». М. : Министерство экономического развития Российской Федерации, Российский союз промышленников и предпринимателей, Высшая школа экономики, 2018.

Поступила 03.11.2020, после доработки 19.02.2021;

принята к публикации 01.03.2021

Received November 3, 2020; Received in revised form February 19, 2021;

Accepted March 1, 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

УДК 614.84/621.3

Целесообразность применения устройств защиты от дугового пробоя

© 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 международные и российские нормативные документы, определяющие порядок применения устройств защиты от дугового пробоя (УЗДП) в электроустановках жилых и общественных зданий. Представлен обзор научных исследований эффективности работы УЗДП. Даны примеры возникновения дуговых пробоев с последующим анализом их пожарной опасности. Показаны случаи возможных ложных срабатываний УЗДП и способы снижения таких отключений. Проведено обобщение исследовательских данных о работе УЗДП и сделаны соответствующие выводы.

Ключевые слова: источник зажигания; короткое замыкание; джоулево тепло; пожарная опасность; кабельные изделия; микропроцессорная техника

Для цитирования: Харламенков А.С. Целесообразность применения устройств защиты от дугового пробоя // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2021. Т. 30. № 2. С. 117-122.

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

The expediency of using arc-fault detection devices

© 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

International and Russian regulatory documents, setting the rules of application of arc-fault detection devices (AFDD) to electrical installations serving residential and public buildings, are considered. An overview of scientific research into the effectiveness of AFDDs is presented. Cases of arcovers are provided, followed by the analysis of their fire hazard. Cases of possible false alarms of AFDDs and methods of reducing the number of such shutdowns are demonstrated. The research data on AFDD operation are generalized and respective conclusions are drawn.

Keywords: ignition source; short circuit; Joule heat; fire hazard; cable products; microprocessor technology

For citation: Kharlamenkov A.S. The expediency of using arc-fault detection devices. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2021; 30(2):117–122 (rus.).

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



ВОПРОС

Последние 5 лет в Российской Федерации пожары от электроустановок занимают лидирующее место и составляют более 34 % от их общего числа¹. Около 90 % этого объема приходится на жилой сектор, где основной причиной пожаров являются неисправности кабельных изделий, электроустановочных устройств (электрические розетки, вилки, выключатели, разветвители и т.п.) и осветительных приборов.

Как известно, к пожароопасным проявлениям электрической энергии можно отнести токовые перегрузки, короткие замыкания и большие переходные сопротивления в местах контактных соединений.

Указанные аварийные режимы работы электриче-

ских сетей сопровождаются появлением искрений и локальными перегревами проводников, способствующих развитию пожара.

Помимо прочего, следует считать пожароопасным процесс перехода искрения в кратковременный дуговой пробой (ДП), возникающий в местах нарушения изоляции или разрыва одной из токоведущих жил. Для предотвращения развития такого процесса разработаны и активно внедряются в эксплуатацию устройства защиты от дугового пробоя (УЗДП) или устройства защиты от искрения (УЗИС).

С 1 июля 2021 г. вводится в действие Изменение № 4 к СП 256.1325800.2016², которое требует

¹ Пожары и пожарная безопасность в 2019 году. Статистический сборник / под общ. ред. Д.М. Гордиенко. М. : ВНИИПО, 2020. 80 с.

² Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа (с Изменениями 1, 2, 3) : (СП 256.1325800.2016) : утвержден Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 29 августа 2016 г. № 602-пр и введен в действие 2 марта 2017 г.

применения УЗДП для защиты распределительных и групповых цепей жилых и общественных зданий от пожара. Аналогичные дополнения планируется внести в обновленную версию вступивших в силу с 1 января 2021 г. Правил противопожарного режима в РФ³ (далее — ППР). До 9 апреля 2021 г. проходит публичное обсуждение вносимых в ППР изменений, среди которых предлагается в п. 35 добавить подпункт «к». Согласно этому пункту, запрещается «эксплуатировать электрические сети и оборудование зданий дошкольных образовательных организаций, специализированных домов престарелых и инвалидов (неквартирные), больниц, спальных корпусов образовательных организаций с наличием интерната и детских организаций, многоквартирных жилых домов, а также зданий общеобразовательных организаций без устройств защиты от дугового пробоя». Следовательно, установка УЗДП станет обязательной для зданий классов функциональной пожарной опасности Ф.1.1 и Ф.4.1.

Насколько обосновано и целесообразно применение УЗДП в электрических сетях жилых и общественных зданий с целью предотвращения возникновения пожара?

ОТВЕТ

Первые модели УЗДП (AFCI, а позднее AFDD) появились на территории США и Канады в 1999–2002 гг. [1] с выходом первых изданий национальных стандартов этих стран на данную продукцию. Но наибольшее распространение AFDD получили только в 2014 г. в США⁴ и с 2015 г. в Канаде⁵, где установка таких устройств требуется на всех ответвлениях, питающих розетки или устройства, установленные в жилых домах и общественных зданиях. Зарубежными нормами предлагается в основном установка устройств комбинированного типа, включающего в себя функции автоматического выключателя и УЗДП. В Великобритании обязательное применение AFDD началось только в 2018 г., а к 2021 г. устройство добралось и до России. Почему не раньше?

Одна из причин — это особенности строительства жилых и общественных зданий в США и Канаде. Ко второй можно отнести отсутствие статистических данных, указывающих на снижение числа пожаров за счет применения УЗДП.

Жилые дома США в основном представляют собой здания с деревянным каркасом, обшитые панелями из фанеры и ориентированно-стружечных плит (ОСБ, ОСП, OSB). Прокладка электропроводки в таких домах

выполняется непосредственно через горючие конструкции каркаса без гофрированных поливинилхлоридных (ПВХ) или металлических труб, за исключением регионов, где обитает значительное количество грызунов. Соединение отдельных проводов между собой осуществляется с помощью колпачков типа СИЗ (соединительный изолирующий зажим). Очевидно, что любое нарушение целостности изоляции и ослабление контактных соединений в рассматриваемых зданиях могут привести к воспламенению окружающей горючей нагрузки. Поэтому установка УЗДП для защиты от пожара строений, возведенных по каркасно-панельной технологии, может считаться целесообразной.

Во многих европейских странах и России наибольшее распространение имеют дома из цельного бруса, кирпича, железобетонных панелей и пеноблоков. В таких зданиях далеко не каждое искрение проводки способно привести к пожару. Это положение дел указывает на неоднозначность применения УЗДП с целью снижения числа пожаров в жилищном строительстве.

Касательно статистических данных о пожарах в результате ДП можно сказать только одно — их нет и, скорее всего, никогда не будет. Такое явление, как электрическое искрение с кратковременным появлением дуги, на фоне тех же коротких замыканий при проведении расследования причин пожаров останется просто незамеченным. Но статистику появления ДП при работе электрических сетей собрать возможно. Например, выполнить подсчет числа срабатываний УЗДП в жилых и общественных зданиях какого-либо региона страны, рассмотренного в качестве пилотного проекта. При этом потребуются решить вопрос об исключении ложных срабатываний из общего количества случаев отключения УЗДП. К сожалению, такая исследовательская работа потребует значительных человеческих и финансовых ресурсов и, вероятно, останется существовать только в теории. Следовательно, необходимость применения УЗДП для предотвращения возникновения пожаров, статистические данные о которых отсутствуют, выглядит неубедительно и беспочвенно [2].

В то же время, появление ДП способствует переходу рабочего режима электрической сети в аварийный. Различают два варианта ДП: параллельный и последовательный (рис. 1).

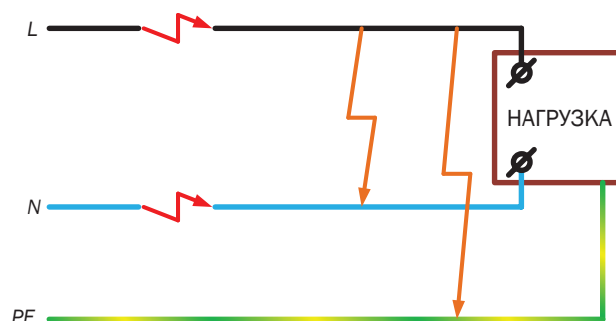


Рис. 1. Разновидности дугового пробоя в однофазной электрической цепи

³Правила противопожарного режима в Российской Федерации (с изм. 31 декабря 2020 г.) : утверждены постановлением Правительства РФ от 16 сентября 2020 г. № 1479.

⁴NFPA 70. National Fire Protection Association. National Electrical Code. Section 210.12. NFPA – 2020.

⁵CSA C22.1-15. Canadian Electrical Code. Part I. Safety Standard for Electrical Installations. CSA – 2015. С. 22. 1–15.

Параллельные пробойи характеризуются большими токами по сравнению с последовательным образованием дуги из-за отсутствия активной нагрузки потребителя. Автоматические выключатели в большинстве случаев способны отключить такое «мини» короткое замыкание между фазным L и нулевым N проводниками до наступления пожароопасного режима. Пробой на заземляющий провод PE с L или N провод эффективно обнаруживается при помощи устройства защитного отключения (УЗО) [3].

Больше всего вопросов возникает при анализе эффективности УЗДП по обнаружению последовательных ДП. Они характеризуются протеканием малых токов по причине наличия в цепи большого сопротивления нагрузки. Существующие аппараты защиты зачастую не способны обнаруживать такие нарушения нормального режима работы сети. Кроме того, часть последовательных ДП, имеющих место при работе электрических машин, размыкании/замыкании электрических аппаратов и подключении/отключении приборов, считаются непожароопасными [4] и учитываются при проектировании электрических сетей. Поэтому появление последовательных ДП следует ожидать в местах повреждения изоляции одной из жил кабеля/провода, соединения проводников, розеток с вилками и т.п., где коммутационный процесс носит нестационарный характер и имеет большую интенсивность [5].

Искрение между проводниками при слабом контакте обычно не происходит и возможно только при подключении к сети потребителей с большим индуктивным и емкостным сопротивлением, которые при работе создают нежелательные помехи. Примером таких потребителей может служить стиральная машина с различными автоматическими режимами работы. Но даже ее негативное влияние на сеть значительно снижено за счет установки практически на всех современных моделях помехоподавляющих фильтров, что значительно снижает вероятность появления последовательных ДП. При длительной эксплуатации проводки в ослабленных контактных соединениях вероятность пожара от локальных перегревов с выделением джоулевого тепла будет намного выше, чем от ДП. Повышенное переходное сопротивление, в свою очередь, может только способствовать ускорению износа изоляционных материалов проводника. Таким образом, наиболее частое появление ДП

можно ожидать в случае повреждения или старения изоляции одной из жил (L или N).

В ГОСТ ИЕС 62606–2016⁶ представлен ряд испытаний, направленных на определение эффективности срабатывания УЗДП. В табл. 1 указывается максимальное время отключения УЗДП при низких токах дуги (2,5...63 А), характерных для последовательного ДП. Они соответствуют выделению в области разряда энергии 3,75 Дж, способной воспламенить изоляцию провода марки NYM 3×2,5. Для других вариантов кабельных изделий значения энергии зажигания могут отличаться [1].

Из табл. 1 следует, что в качестве минимального значения тока дуги принимается 2,5 А, которое способно негативно воздействовать на материал изоляции в течение 1 с. В то же время проведенные исследования [6] показывают, что ДП величиной 0,9...1,7 А способны приводить к перегреву, обугливанию (карбонизации) и дальнейшему воспламенению ПВХ изоляции. Изоляция из сшитого полиэтилена разрушается при более высоких значениях токов [4]. Следовательно, режимы испытаний параметров срабатывания УЗДП по ГОСТ ИЕС 62606–2016 учитывают не все возможные пожароопасные варианты последовательных ДП.

При параллельном пробое стандарт не определяет максимальное время срабатывания для УЗДП, но устанавливает максимальное количество полувольт, на которые должна накладываться дуга за 0,5 с в диапазоне действующих (среднеквадратичных) значений токов 75...500 А (табл. 2). Это объясняется тем, что при синусоидальной форме входного напряжения дуга может загораться не в каждой полувольтне.

Могут возникать параллельные ДП со множеством пропущенных полувольт (рис. 2). При ДП в моменты смены полярности форма идеальной синусоиды изменяется и создает участки (плечи), где ток отсутствует (см. рис. 2). При благоприятных условиях может сформироваться новый ДП, но его возникновение будет носить случайный характер.

⁶ ГОСТ 31565–2012. Кабельные изделия. Требования пожарной безопасности : принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 24 мая 2012 г. № 41) и введен в действие 1 января 2014 г.

Таблица 1. Предельные значения времени отключения для УЗДП на $U_{ном} = 230$ В

Испытательный ток дуги, А (действующее значение)	2,5	5,0	10,0	16,0	32,0	63,0
Максимальное время отключения, с	1,00	0,50	0,25	0,15	0,12	0,12

Таблица 2. Максимально допустимое число полувольт дуги в течение 0,5 с для УЗДП на $U_{ном} = 230$ В

Испытательный ток дуги, А (действующее значение)	75	100	150	200	300	500
Число N полувольт при номинальной частоте 50/60 Гц	12	10	8	8	8	8

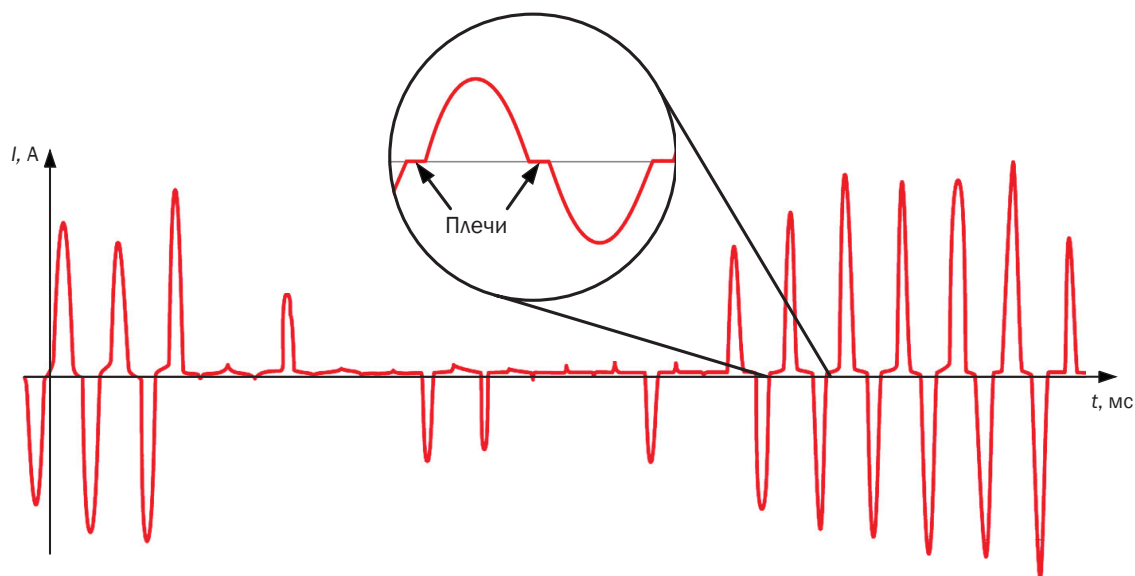


Рис. 2. Форма искаженного синусоидального сигнала с образованием дугового пробоя

На появление ДП оказывает влияние множество факторов. Это — наличие обугленных участков изоляции из-за длительных перегрузок или плохого контакта, температура окружающей среды, наличие/отсутствие теплоизолирующих материалов вокруг электропроводки и, конечно же, фоновые помехи, вызванные работой бытовых приборов. Для исключения ложных срабатываний УЗДП и эффективного обнаружения ДП по ГОСТ IEC 62606–2016 должен выполняться ряд испытаний. Они включают в себя подключение различных видов нагрузки:

- пылесос на 5 – 7 А при $U_{ном} = 230$ В;
- источник питания с электронной коммутацией на ток не менее 2,5 А при $U_{ном} = 230$ В;
- электродвигатель с пусковым конденсатором (например, воздушный компрессор) мощностью 2,2 кВт;
- электронный тиристорный регулятор (диммер) яркости ламп накаливания (вольфрамовая нить) на 600 Вт при $U_{ном} = 230$ В с учетом определенных рабочих циклов;
- две флуоресцентные лампы 40 Вт и дополнительная активная нагрузка с током в 5 А;
- галогеновые лампы по 12 Вт, общей мощностью не менее 300 Вт, питаемые от электронного трансформатора, с дополнительной активной нагрузкой 5 А;
- электрический ручной инструмент (например, дрель) мощностью не менее 600 Вт.

Фоновые помехи данных нагрузок при их работе в штатном режиме могут быть схожи с помехами от ДП. При наложении дополнительного сигнала, получаемого с помощью дугового генератора или экспериментального обугленного кабеля, УЗДП должно отключить цепь за время, указанное в табл. 1. Каждое УЗДП испытывают всего лишь трижды для каждой конфигурации нагрузки. Такой объем выборок не позволяет сделать достоверный статистический вывод о работоспособности испытуемого устройства [3].

Анализ работы вышеперечисленных потребителей показал, что при одних и тех же условиях испытаний два (или более) последовательных ДП могут иметь совершенно разные длительности дугового разряда и, следовательно, разные уровни рассеиваемой энергии [7]. Важно, чтобы стандартные испытания были направлены на получение временно-устойчивых ДП, которые связаны с более высокой вероятностью возгорания в электрической цепи. В качестве критериев, создающих пожарную опасность, для каждого полупериода сети были выбраны:

- минимальное напряжение дуги — более 10 В;
- минимальный ток дуги — более 1 А [6];
- минимальное действующее значение мощности — более 45 Вт.

Результаты исследований [7] показали, что вероятность отключения УЗДП пожароопасной дуги наблюдается практически для всех конфигураций нагрузки, за исключением пылесоса и диммера.

Срабатывание УЗДП происходит после прохождения через микроконтроллер сигнала, обработка которого требует определенного времени. Поэтому наибольшую ценность в конструкции УЗДП представляет программное обеспечение, записанное на чип. Ведь именно метод фильтрации сигналов и скорость их распознавания будут иметь решающее значение при выборе той или иной модели УЗДП. Алгоритмы работы и способы обработки входящих в микроконтроллер данных являются интеллектуальной собственностью фирм-производителей, а значит, сопоставить структуры программного обеспечения не представляется возможным.

На сегодняшний день ведется активный поиск оптимальных способов получения достоверных результатов для надежного обнаружения сигнала при ДП. Наличие фоновой активной (резистивной) нагрузки не создает

проблем в обнаружении ДП. Его можно отфильтровать путем применения метода пик-фактора [8].

Наибольшую проблему представляет обработка сигнала при фоновых помехах от электронных тиристорных регуляторов, формы волн токов которых очень схожи с ДП. Для обнаружения тока ДП при наличии электродвигателей (пылесосы, дрели и т.п.) и нелинейной нагрузки (диммеры) может подойти применение комбинации методов пик-фактора и адаптивного фильтра (сравнение с эталонной моделью) [9, 10]. Аналогичные исследования по поиску надежных методов обнаружения ДП активно ведутся в области оборонной промышленности и авиационной, где ложные срабатывания могут привести к ЧС с гибелью людей.

В практической деятельности встречаются случаи срабатывания УЗДП от нормально работающих пылесосов, преобразователей частоты, лазерных принтеров, ИБП, а также при воздействии высокочастотных радиосигналов (3...30 МГц). При падении напряжения в сети до значений ниже 100 В УЗДП прекращает свою работу, и отдельные модели устройств остаются в отключенном состоянии даже после повышения напряжения до номинальных значений. Вышеуказанные недостатки снижают общую эффективность применения существующих УЗДП.

Подводя итоги, можно сделать следующие выводы:

1. Статистические данные о пожарах по причине возникновения ДП отсутствуют.
2. УЗДП способны частично выполнять функции автоматических выключателей и эффективно отключать параллельные ДП при величинах тока ниже токов срабатывания тепловых расцепителей.
3. В случае ДП на РЕ проводник УЗДП дублирует функции устройства защитного отключения (УЗО).
4. УЗДП способны отключать последовательные ДП, но могут давать ложные срабатывания при подключении нелинейной нагрузки и наличии высокочастотных радиопомех.
5. УЗДП не способны обнаруживать пожароопасные участки электрической цепи с большими переходными сопротивлениями, где ДП отсутствует.
6. Исключение ложных срабатываний УЗДП достигается за счет поиска новых и комбинации уже существующих методов обработки входящих на микроконтроллер данных, которые могут значительно отличаться от вида подключаемой в сеть нагрузки.
7. Частое появление ложных отключений сети скорее приведет к тому, что ее подключение будет выполнено в обход УЗДП, нежели длительного поиска причин его срабатывания, которые могут быть вообще не связаны с появлением ДП.
8. Программное обеспечение, позволяющее анализировать входные сигналы электроприборов и надежно отключать их в случае ДП, является интеллектуальной собственностью фирм-производителей, что не позволяет выполнить анализ эффективности срабатывания УЗДП при различных конфигурациях нагрузки.
9. Требования к испытаниям УЗДП по ГОСТ IEC 62606–2016 охватывают не все возможные пожароопасные режимы работы электрических цепей и варианты подключения нагрузки, создающие фоновые помехи.
10. Введение в нормативную документацию обязательности использования УЗДП должно выполняться на основании большого количества натурных испытаний (пилотных проектов), с учетом специфики строительства жилых и общественных зданий в России. Без этого не следует гнаться за последними тенденциями моды и желанием производителей поскорее внедрить и побольше продать якобы «очень полезных» УЗДП.
11. Установка УЗДП имеет смысл только при защите отдельных групповых сетей небольшой протяженности (в пределах одной квартиры или частного дома) или локальных устройств с возможностью проверки отсутствия ложных срабатываний в течение некоторого (пробного) периода времени.
12. Цена на данные устройства в 2–7 раз превышает стоимость автоматических выключателей, УЗО, стабилизаторов и ограничителей напряжения или их комбинаций, что для рядового пользователя является существенным доводом против приобретения УЗДП. В отличие от США, Канады и европейских стран доля жилищного фонда России, находящегося в частной собственности по состоянию на 2019 г., составляет 90 %. Поэтому собственники неохотно согласятся устанавливать себе УЗДП без убедительных доводов в пользу его эффективности и отсутствия ложных срабатываний.
13. В общественных зданиях применение УЗДП не имеет смысла, так как по нормативным документам^{7,8} вся электропроводка должна выполняться нераспространяющими горения кабелями с пониженной дымообразующей способностью и/или низкой токсичностью продуктов горения (нг-LS/HF/LTx).
14. Более эффективная защита электрических цепей от появления ДП может быть достигнута за счет периодического контроля состояния изоляции проводов и кабелей, а также выполнения качественного монтажа с учетом мест недостаточного теплоотвода и повышенного нагрева контактных соединений.

⁷Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федеральный закон Российской Федерации (в редакции от 27 декабря 2018 г.) от 22 июня 2008 г. № 123-ФЗ : принят Государственной Думой 4 июня 2008 г.; одобрен Советом Федерации 11 июля 2008 г.

⁸ГОСТ 31565–2012. Кабельные изделия. Требования пожарной безопасности: принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 24 мая 2012 г. № 41) и введен в действие 1 января 2014 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Монаков В.К., Кудрявцев Д.Ю., Смирнов В.В. Расчет времятоковой характеристики устройства защиты от дугового замыкания/пробоя на основе модели последовательного дугового замыкания при обрыве проводника кабеля // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2016. Т. 25. № 11. С. 45–50. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.11.45-50
2. Hoare K. Arc Fault Detection Devices (AFDDs) – Are they worth it? // CIBSE Journal. Nov. 2020. Vol. 11.
3. Монаков В.К., Кудрявцев Д.Ю. Электробезопасность: Теория и практика : монография. М. : Инфра-Инженерия, 2017. 184 с.
4. Martel J.-M. Series arc faults in low-voltage AC electrical installations (PhD Thesis). Universitätsverlag Ilmenau, 2018. 192 p.
5. Монаков В.К. Разработка устройства защиты от дуговых замыканий // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2014. Т. 23. № 8. С. 27–31. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22670601>
6. Shea J. Identifying causes for certain types of electrically initiated fires in residential circuits // Fire and Materials. 2011. Vol. 35. Pp. 19–42. DOI: 10.1002/fam.1033
7. Costin V., D'Orchymont V.D., Meunier-Carus J., Rey J.-F., Raisigel H. Arcing persistency measurement for IEC62606 arc-fault detection device certification // 2019 IEEE Symposium on Product Compliance Engineering (SPCE Austin). 2019. DOI: 10.1109/SPCE47297.2019.8950836
8. Kim C., Russell B. Analysis of distribution disturbances and arcing faults using the crest factor // Electric power systems research. 1996. Vol. 35. Pp. 141–148. DOI: 10.1016/0378-7796(96)84602-5
9. Beck J., Nemir D.C. Arc fault detection through model reference estimation // SAE Technical Paper Series. 2006. DOI: 10.4271/2006-01-3090
10. Lezama J., Schweitzer P., Weber S., Tisserand E., Joyeux P. Arc fault detection based on temporal analysis // 2014 IEEE 60th Holm Conference on Electrical Contacts (Holm). 2014. DOI: 10.1109/HOLM.2014.7031017

Материал поступил в редакцию 01.04.2021

Received April 01, 2021

Информация об авторе

ХАРЛАМЕНКОВ Александр Сергеевич, старший преподаватель 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; ПИНЦ ID: 763967; e-mail: h_a_s@live.ru

Information about the author

Aleksandr S. KHARLAMENKOV, Senior Lecturer of Department of Special Electrical Engineering, Automation Systems and Communication, 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.

Статья должна быть ясно и лаконично изложена и подписана всеми авторами (скан страницы с подписями). Основной текст статьи должен содержать в себе четкие, логически взаимосвязанные разделы. Все разделы должны начинаться приведенными ниже заголовками, выделенными полужирным начертанием. Для научной статьи традиционными являются следующие разделы:

- введение;
- материалы и методы (методология) — для научно-эмпирической статьи;
- теоретические основы (теория и расчеты) — для научно-теоретической статьи;
- результаты и их обсуждение;
- заключение (выводы).

Редакция допускает и иную структуру, обусловленную спецификой конкретной статьи (аналитической (обзорной), дискуссионной, рекламной) при условии четкого выделения разделов:

- введение;
- основная (аналитическая) часть;
- заключение (выводы).

Подробную информацию о содержании каждого из обозначенных выше разделов см. на сайте издательства www.fire-smi.ru.

Материал статьи должен излагаться в следующем порядке.

2.1. Номер УДК (универсальная десятичная классификация).

2.2. Заглавие статьи (на русском и английском языках). Заглавия научных статей должны быть точными и лаконичными и в то же время достаточно информативными; в них можно использовать только общепринятые сокращения. В переводе заглавий статей на английский язык недопустима транслитерация с русского языка, кроме непереводаемых названий собственных имен, приборов и других объектов, имеющих собственные названия, а также непереводаемый сленг, известный только русскоговорящим специалистам. Это касается также аннотаций, авторских резюме и ключевых слов.

2.3. Информация об авторах.

2.3.1. Имена, отчества и фамилии всех авторов. Они должны приводиться полностью на русском языке и в транслитерации в соответствии с системой, которая в настоящее время является наиболее распространенной (<http://fotosav.ru/services/transliteration.aspx>).

Авторами являются лица, принимавшие участие во всей работе или в ее главных разделах. Лица, участвовавшие в работе частично, указываются в сносках.

2.3.2. Ученые степени, звания, должность, место работы всех авторов с полным юридическим адресом (на русском и английском языках). Здесь необходимо указать: полное официальное название организации, страну, индекс, город, название улицы, номер дома,

а также контактные телефоны и электронные адреса всех авторов; дать информацию о контактном лице. Обращаем Ваше внимание, что при переводе необходимо указывать официально принятое название организации на английском языке. Все почтовые сведения (кроме наименования улицы, которое должно быть в транслитерированном виде) должны быть также переведены на английский язык, в том числе название города и страны.

Пример: *Institute for Problem in Mechanics, Russian Academy of Sciences (Vernadskogo Avenue, 101, Moscow, 119526, Russian Federation).*

2.3.3. ORCID, Researcher ID, Scopus Author ID.

2.4. Расширенное резюме на русском и английском языках. Необходимо иметь в виду, что авторское резюме на английском языке в русскоязычном издании является для иностранных ученых и специалистов основным и, как правило, единственным источником информации о содержании статьи и об изложенных в ней результатах исследований. Поэтому авторское резюме должно быть:

- информативным (не содержать общих слов);
- содержательным (должно отражать существенные результаты работы; не должно включать материал, который отсутствует в основной части публикации);
- структурированным (т.е. следовать логике описания результатов в публикации);
- грамотным (написанным качественным английским языком, без использования программ автоматизированного перевода);
- объемом не менее 200–250 слов.

Структура резюме должна повторять структуру статьи и включать четко обозначенные подразделы Введение (Introduction), Цели и задачи (Aims and Purposes), Методы (Methods), Результаты (Results), Обсуждение (Discussion), Заключение (выводы) (Conclusions).

Результаты работы следует описывать предельно точно и информативно. При этом должны приводиться основные теоретические и экспериментальные результаты, фактические данные, установленные взаимосвязи и закономерности.

Выводы могут сопровождаться рекомендациями, оценками, предложениями, гипотезами, описанными в работе.

Текст должен быть связным; излагаемые положения должны логично вытекать одно из другого.

Сокращения и условные обозначения, кроме общепотребительных, следует применять в исключительных случаях или давать их расшифровку и определение при первом упоминании в тексте резюме.

В авторское резюме не следует включать схемы, таблицы, иллюстрации, формулы, а также ссылки на публикации, приведенные в списке литературы к статье.

Для повышения эффективности при онлайн-поиске включите в текст аннотации ключевые слова и термины из основного текста и заглавия статьи.

2.5. Ключевые слова на русском и английском языках (не менее 5 слов или коротких словосочетаний). Они указываются через точку с запятой. Недопустимо в качестве ключевых слов использовать термины общего характера (например, проблема, решение и т.п.), не являющиеся специфической характеристикой публикации. Используемые в заголовке слова и термины не нужно повторять в качестве ключевых слов: ключевые слова должны дополнять информацию в заголовке. При переводе ключевых слов на английский язык избегайте по возможности употребления слов «and» (и), «of» (предлог, указывающий на принадлежность), артиклей «a», «the» и т.п.

2.6. Основной текст статьи должен быть набран через 1,5 интервала в формате Word. Формулы должны быть набраны в Microsoft Equation или MathType.

Цитируемый текст из других публикаций следует брать в кавычки. Таблицы, рисунки, методы, численные данные (за исключением общеизвестных величин), опубликованные ранее, должны сопровождаться ссылками.

Если представленные в статье исследования выполнены авторами при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Российского научного фонда, Министерства образования и науки Российской Федерации и т.п., то в конце статьи обязательно следует дать информацию об этом с указанием номера и названия гранта (научного проекта, госконтракта и т.д.).

Сокращения и условные обозначения физических величин в тексте статьи должны соответствовать действующим международным стандартам. Формулы и буквенные обозначения должны быть четкими и ясными. Все буквенные обозначения, входящие в формулы, должны быть расшифрованы с указанием единиц измерения. Размерность всех характеристик должна соответствовать системе СИ. Иллюстрации в электронной версии прилагаются отдельно. Фотографии должны быть сделаны с хорошего негатива контрастной печатью (файлы растровых изображений предоставляются с разрешением не менее 300 dpi, черно-белая штриховая графика — 600 dpi). Файлы векторной графики следует предоставлять в формате той программы, в которой они созданы, либо печатать PDF-файл из этой программы. Все иллюстрации должны иметь сквозную нумерацию. Чертежи и карты в качестве иллюстраций неприемлемы. Ссылки на все рисунки в тексте обязательны.

Таблицы должны быть составлены лаконично и содержать только необходимые сведения; однотипные таблицы следует строить одинаково. Цифровые данные необходимо округлять в соответствии с точностью эксперимента. Сведения в таблицах и на рисунках не должны повторяться. Ссылки на все таблицы в тексте обязательны.

В журнале предусматривается двуязычное представление табличного и графического материала, поэтому необходимо прислать перевод на английский язык:

- для таблицы: ее названия, шапки, боковика, текста во всех строках, сноска и примечаний;
- для рисунка: 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).

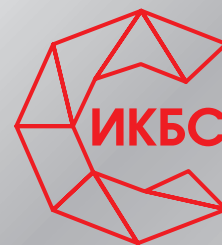
3. Статьи, присланные не в полном объеме, на рассмотрение не принимаются.

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!



ИНСТИТУТ КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Национальный исследовательский
Московский государственный
строительный университет

Научно-
исследовательские
и сертификационные
испытания:

- ♦ железобетонных конструкций
- ♦ противопожарных преград
- ♦ легкобрасываемых конструкций
- ♦ фасадных систем
- ♦ палуб, переборок

Контакты:

Тел.: 8 (495) 109-05-58

e-mail: ikbs@mgsu.ru,
mail@ikbs-mgsu.com

www.ikbs-mgsu.com

Свидетельство о признании испытательной лаборатории РМРС № 16.00385.120 от 28.12.2016 г.
Аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.21AИ09 от 24.06.2014 г.